

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

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

2(29). Т. 1



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

УДК 502+504

*Друкується за рішенням Вченої Ради
Державної екологічної академії післядипломної освіти
та управління (№ 3 от від 18.05.20 р.)
Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 15768-4240Р від 26.10.2009 р.*

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. : ДЕА, 2020. – № 2(29). Т. 1. – 182 с.

Головний редактор:

Бондар О.І., доктор біологічних наук,

Заступник головного редактора:

Нагорнева Н.А.,

Науковий редактор:

Машков О.А., доктор технічних наук,

Відповідальний редактор:

Сікачина В.Г.,

Редакційна колегія:

Азаров С.І., доктор технічних наук,

[Антонов А.В.] доктор технічних 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,

Улицький О.А., доктор геологічних наук,

Фінін Г.С., доктор фіз.-математ. 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

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО	7
Карпушин С.О., Тихий А.А., Кузик О.В., Пантелеєнко В.І., Карпушин А.С. Анаеробний біореактор для виробництва біогазу та органічного субстрату.....	7
Ковров А.С., Куликова Д.В., Кравченко Н.Д. Обоснование комплексной технологии очистки шахтных вод и дымовых газов котельной.....	12
Кулик М.П. Екологічні аспекти використання кисню, водню та продуктів газифікації органічного палива в тепловій енергетиці України.....	19
Луцьова О.В. Прогнозування ступеня екологічної небезпеки за інтегральним показником екологічного впливу.....	24
Матухно О.В., Шматков Г.Г., Белоконь К.В., Сибір А.В. Дослідження екологічної безпеки металургійного виробництва методом оцінки життєвого циклу.....	32
Пташник В.В., Бордун І.М., Мальований М.С., Чумакевич В.О., Борисюк А.К., Біленька О.Б. Структурні, магнітні та адсорбційні властивості феромагнітних біовуглецевих матеріалів.....	38
Сірий О.А., Соломаха А.С., Пакош Д.З. Дослідження процесу розпилення зрідженої суміші пропан-бутану для двигунів внутрішнього згорання.....	48
Тверда О.Я., Репін М.В., Ткачук К.К., Горбачова К.Ю. Впровадження моделі циркулярної або кругової економіки у гірничовидобувній галузі.....	54
Тіщенко М.О., Філін В.М., Іващенко Т.Г. Технологічна ефективність поліакриламідної пілозахисної кірки на золошлаковідвалах.....	58
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	63
Андрющенко Ю.О., Кошелєв О.І., Дядічева О.А., Кошелєв В.О., Попенко В.М., Черничко Р.М. Експертна оцінка сучасного стану орнітофауни та загроз для птахів вздовж проєктованої лінії електропередачі «Якимівка – Молочанськ» у Запорізькій області.....	63
Гетьман В.І. Особливості управління екомережею.....	74
Грицак Л.Р., Нужина Н.В., Гайдаржи М.М., Дробик Н.М. Анатомічні особливості листків високогірних видів <i>Gentiana lutea</i> L., <i>Gentiana punctata</i> L., <i>Gentiana acaulis</i> L. флори Українських Карпат.....	80
Пісоцька В.В. Особливості розміщення гнізд дрозда співочого (<i>Turdus philomelos</i> brehm.) та дрозда чорного (<i>Turdus merula</i> L.) в полезахисних лісосмугах Харківської області.....	86
Трускавецька І.Я. Особливості біології та шкідливості жуків родини короїди (<i>Ipididae</i>) у лісових екосистемах Бучацького лісництва Черкаської області.....	91
Шпак Н.П. Аналіз віталітетної і вікової структури місцезростань береки лікарської (<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz) у лісах НПП «Кармелюкове Поділля» Південно-Подільського Лісостепу України.....	96
ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	101
Климчик О.М. Застосування засобів оперативного спостереження для запобігання пожежам на торфовищах.....	101
Ляшенко О.М., Ложкін Р.С. Розроблення інформаційної технології оперативного реагування на надзвичайні ситуації.....	106
Патрушева Л.І., Венгер Н.О. Оцінка можливості розташування мініелектростанції на дахах багатоповерхових будинків спального району м. Миколаєва.....	113
Русин І.Б., Медведєв О.В., Патлатюк О.Ю. Перспективи отримання біоелектрики в паркових екосистемах міст.....	117
ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ	125
Боброва М.С., Данилків О.М. Дослідження рівня вільнорадикального перекисного окиснення та ступеня антиоксидантного захисту в тканинах <i>Allium sativum</i> L.....	125
Войціцький В.М., Хижняк С.В., Мідик С.В., Лапоша О.А., Полтавченко Т.В. Алгоритм прийняття рішення щодо контрзаходів у разі забруднення екотоксикантами довкілля.....	129
Гончар Г.Ю. Використання нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) для оцінки різноманіття диких бджіл (Hymenoptera, Apoidea).....	133

Гуцул Х.Р., Іваненко І.М. Структура і властивості цинку(II) оксиду: огляд.....	140
Liu Chang, Mamonov Kostiantyn. Mathematical model of territorial development of marine of Ukraine areas under the background of big data.....	146
Поліщук П.В., Волошина Н.О. Стан вивченості еколого-біологічних та генетичних особливостей представників родини Scolytidae.....	150
УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ.....	158
Виговська Г.П., Гільбран С.В. Оцінка техніко-екологічного стану об'єктів інфраструктури щодо поводження із твердими побутовими відходами (ТПВ).....	158
Кірсанова В.В., Биковець Н.П., Чумаченко М.М. Пластикові упаковки на морських суднах у контексті глобальної екологічної проблеми мікропластику.....	164
Мельниченко Г.М., Миленька М.М., Різничук Н.І., Цап'юк Л.М. Структура утворення та стан поводження з відходами в Івано-Франківській області (інформаційно-аналітичний огляд).....	170
КРИТИКА ТА БІБЛІОГРАФІЯ.....	175
Хом'як І.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю., Брень А.Л., Шкилюк Ю.В. Рецензія на монографічне видання «Продромус рослинності України».....	175
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	179

CONTENTS

ECOLOGY AND PRODUCTION	7
Karpushyn S., Tihiy A., Kuzyk O., Panteleienko V., Karpushyn A. Anaerobic bioreactor for production of biogas and organic substrate	7
Kovrov O., Kulikova D., Kravchenko M. Justification of the integrated technology for treatment of mining waters and boiler-room emissions	12
Kulik M. Environmental aspects of using oxygen, hydrogen and organic fuel gasification products in thermal power of Ukraine.	19
Lunova O. The forecasting of the environmental safety based on the integral indicator of ecological impact	24
Matukhno O., Shmatkov G., Belokon K., Sybir A. Study of the environmental safety of metallurgical production by the life cycle assessment method.....	32
Ptashnyk V., Bordun I., Malovanny M., Chumakevych V., Borisyuk A., Bilen'ka O. The structural, magnetic and adsorption properties of ferromagnetic biocarbon materials	38
Solomakha A., Siryi O., Pakosh D. Study of liquid propane-butane mixture atomization for internal combustion engines	48
Tverda O., Repin M., Tkachuk K., Horbachova K. The implementation of the circular economy model in the mining industry.....	54
Tishchenkova M., Filin V., Ivashchenko T. Technological efficiency of polyacrylamide dust protective cases on ash and slag dumps	58
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	63
Andryushchenko Yu., Koshelev O., Diadicheva O., Koshelev V., Popenko V., Chernichko R. Expert estimation of the current state of the avifauna within the area of planned electrical power line “Yakymivka – Molochansk” and its threats for birds (Zaporizhzhya region).....	63
Getman V. About ecological network management	74
Hrytsak L., Nuzhyna N., Gaidarzhly M., Drobyk N. Anatomical leaf features of high-alpine species <i>Gentiana lutea</i> L., <i>Gentiana punctata</i> L., <i>Gentiana acaulis</i> L. from the Ukrainian Carpathians	80
Pisotska V. Features of nesting <i>Turdus philomelos</i> and <i>Turdus merula</i> in forest protection strips of Kharkiv region.....	86
Truskavetska I. Peculiarities of biology and harmfulness of beetles of the Ipidae family in forest ecosystems of the Buchachi forestry of Cherkasy region.....	91
Schpak N. The vitality and age structure analysis of habitat of species <i>Sorbus Torminalis</i> (L.) Crantz in the forests of the NNP «Karmeliukove Podillia» of the south podilskyforest-steppe of Ukraine.....	96
INNOVATIVE ASPECTS OF THE LEVEL INCREASE OF ENVIRONMENTAL SAFETY	101
Klymchyk O. Application of operational observation means for peat fields fire prevention.....	101
Liashenko O., Lozhkin R. Development of information technology for operational response to emergencies.....	106
Patrusheva L., Venher N. Assessment of the possibility of location of mini power plant on the roofs of multistory buildings of the microdistrict Mykolayev city	113
Rusyn I., Medvedev O., Patlatyuk O. Prospects of obtaining bioelectricity in urban parks	117
THEORETICAL ECOLOGY	125
Bobrova M., Danylkiv O. Research levels of free radical oxidation and the degree of antioxidant protection in <i>Allium sativum</i> L. tissues.....	125
Voitsitskiy V., Khyzhnyak S., Midyk S., Laposha O., Poltavchenko T. Algorithm for decision-making regarding countermeasures in case of pollution by ecotoxicants of the environment	129

Honchar H. The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to estimate the diversity of wild bees (Hymenoptera, Apoidea)	133
Hutsul K., Ivanenko I. Structure and properties of zinc (II) oxide: review.....	140
Liu Chang, Mamonov Kostiantyn. Mathematical model of territorial development of marine of Ukraine areas under the background of big data.....	146
Polishchuk P., Voloshyna N. State of studying environmental-biological and genetic features of the bark beetles (Scolytidae family) representatives	150
WASTE MANAGEMENT	158
Vigovska H., Gilbran S. Evaluation of the technical and environmental state of infrastructure facilities for solid municipal waste management (SMW)	158
Kirsanova V., Bykovets N., Chumachenko M. Plastic packaging on maritime vessels in the context of the global ecological problem of microplastics.....	164
Melnichenko G., Milenka M., Riznichuk N., Tsapyuk L. Structure of formation and state of waste management in the Ivano-Frankivsk region (information-analytical review).....	170
CRITICISM AND BIBLIOGRAPHY	175
Khomiak I., Onyshchuk I., Kotsiuba I., Bren A., Shkyliuk Yu. Review of monographic editions “Prodromus of the vegetation of Ukraine”.....	175
AUTHORS’ CREDENTIALS	179

АНАЕРОБНИЙ БІОРЕАКТОР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ОРГАНІЧНОГО СУБСТРАТУ

Карпушин С.О.¹, Тихий А.А.¹, Кузик О.В.¹,
Пантелесенко В.І.², Карпушин А.С.³

¹Центральноукраїнський національний технічний університет
пр. Університетський, 8, 25006, м. Кропивницький

²Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
вул. Чернишевського, 24А, 49000, м. Дніпро

³Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів

karp22.05.1972ksa@gmail.com, a.a.tihiy@gmail.com, maestro_vladim1951@mail.ru,
kuzykov1985@gmail.com, hufchik2015@gmail.com

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов является актуальной экологической проблемой. Перспективным направлением является не только поиск путей удовлетворения энергетических потребностей среди традиционных энергоносителей, а и использование альтернативных источников энергии. Одним из путей успешного решения этой проблемы может быть использование биогаза – продукта анаэробного брожения органических отходов сельского хозяйства как альтернативы природному газу. Применение в сельском хозяйстве, в частности животноводстве (птицеводство, свиноводческие комплексы, комплексы с разведением КРХ, молочная отрасль, переработка сахарной свеклы, производство спирта, ...), современной биотехнологии, параллельно с основной деятельностью, даст возможность создать независимый энергетический комплекс. Важной сырьевой для работы био реактора являются биологические отходы основных производств фермерских хозяйств: навоз коров, свиней, лошадей, кур, ботва картофеля, стебли кукурузы, солома пшеницы, свекла, лузга подсолнечника, силос, свежая трава, отходы моркови, тирса древесины, фекальный осадок, домашние отходы и т.д. При этом возможно обеспечение хозяйства биогазом и экологически чистыми удобрениями в виде мульчи или субстрата. В статье предложено собственную, новую конструкцию анаэробного био реактора для производства биогаза и органического субстрата, а также описаны особенности и принцип его действия. Предложена конструкция анаэробного био реактора адаптирована к климатическим условиям Украины и спроектирована с целью минимизации капитальных вложений под час строительства и эксплуатации. С целью минимизации тепловых потерь значительное внимание уделено энергоэффективной форме ферментатора био реактора, компоновке броуидельных камер, способу централизованного выведения твердого осадка, что перебродив – субстрату. Применено спольную конструкцию газодержателя для всех броуидельных камер. Новым также является применение модифицированного грунтоцемента для устройства корпуса ферментатора био реактора. *Ключевые слова:* биологические отходы, броуидельная камера, биогаз, био реактор, ферментатор, биомасса, субстрат, грунтоцемент.

Anaerobic bioreactor for production of biogas and organic substrate. Karpushyn S., Tihiy A., Kuzik O., Panteleienko V., Karpushyn A.

The rational use of fuel and energy resources is an urgent environmental problem. A promising area is to find ways to meet energy needs not only among traditional energy sources, but also to use alternative energy sources. One way to successfully solution of this problem may be to use biogas, a product of anaerobic fermentation of organic agricultural waste, as an alternative to natural gas. Application in agriculture, in particular animal husbandry (poultry, pig farms, cattle breeding complexes, dairy industry, sugar beet processing, alcohol production, ...), modern biotechnology, in parallel with the main activity, will allow to create its own independent energy complex. The raw material for the bioreactor is the biological waste of the main farm productions: manure of cows, pigs, horses, chickens, potatoes, corn stalks, wheat straw, beets, sunflower husk, silo, fresh grass, carrot waste, sawdust of wood, household waste and garbage. Self-sufficiency of biogas and environmentally friendly fertilizers in form of mulch or substrate is possible. The article proposes its own, new design of anaerobic bioreactor for production of biogas and organic substrate, as well as features and principle of its action. The proposed design of the anaerobic bioreactor is adapted to the climatic conditions of Ukraine and designed for the purpose of minimizing capital investment in construction and operation. In order to minimize heat losses, considerable attention is paid to the energy-saving form of the bioreactor fermenter, the layout of fermentation chambers, the method of centralized removal of the fermented solid precipitate – the substrate. The same gas-holder design is applied to all fermentation chambers. New is also the use of modified soil cement for the arrangement of the corps of the bioreactor. *Key words:* biological waste, fermentation chamber, biogas, bioreactor, fermenter, biomass, substrate, soil cement.

Постановка проблеми. Найвнн в кожному фермерському або одноосібному господарстві великі обсяги органічних відходів [1] доцільно утилізувати з максимальним сумарним ефектом вирішення комплексних завдань: енергетичного, екологічного,

постачання власного господарства добривами, запобігання зараженню ґрунтових вод тощо.

Біологічні відходи сільськогосподарського виробництва, як правило, вивозяться за межі території ферм і складаються з метою натуральної природної

утилізації (перегнівання). Побутове сміття (так звані тверді побутові відходи – ТПВ) вивозяться на звалища ТПВ, де відбувається його гниття, що супроводжується підвищенням температури та в кінцевому підсумку призводить до самозаймання, тління, роздмухування весняними суховіями з виділенням суттєвих обсягів диму, високої ймовірності пожеж. І те, і інше призводить до зараження, окислення ґрунту, робить його непридатним для використання без застосування високовартісних заходів із оздоровлення та реабілітації. Продукти відходів, що розкладаються, проникають у ґрунтові води, приводять до викидів в атмосферу парникових газів і багатьох інших негативних наслідків.

У випадку з побутовими органічними відходами завдання утилізації вирішується за допомогою сортування і наступної переробки. На агропромислових підприємствах або фермерських господарствах ситуація простіша: там сортування практично не потрібне. Відходи можуть зразу поступати на переробку в біореактор.

Актуальність дослідження. В умовах постійного дорожчання енергоносіїв і погіршення екологічної ситуації все більше уваги приділяється альтернативним джерелам енергозабезпечення. Сучасна альтернативна енергетика представлена широким спектром засобів і джерел, проаналізувавши які стосовно кліматичних умов України та Кіровоградської області зокрема, очевидним є найбільша перспективність поширення біогазових технологій і сонячна енергетика.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Пропонована конструкція анаеробного біореактора належить до технології одержання біогазу шляхом анаеробного розкладу різних біологічних відходів (тваринництва, птахівництва, рослинництва, підприємств харчової промисловості, твердих побутових відходів, стічних вод) і може знайти застосування в сільському господарстві, на підприємствах харчової промисловості, міських звалищах ТПВ, станціях очистки стічних вод, підприємствах із виготовлення органічних добрив, наприклад мульчі, субстрату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біогазові реактори в Україні не набули значного поширення у зв'язку з їхньою значною вартістю, примхливістю технології метанового бродіння, значним енергоспоживанням [1–4]. Відхилення температури на 3°C від оптимальної для процесу вже сповільнює метаногенез. Значний вплив на протікання процесів виробництва біогазу має рухливість середовища, відсутність застійних зон, термостабілізація. У холодний період необхідно звести до мінімуму втрати тепла на підігрів субстрату та рівномірно розподілити тепло по всьому об'єму реактора. Практично відсутні засоби автоматизації процесу виробництва біогазу. Але необхідно пам'ятати, що зупинка реактора на годину може призвести до енер-

гетичних проблем у підприємстві, оскільки процес бродіння пов'язаний із життєдіяльністю анаеробних бактерій, і вони відновлюють свою активність після зупинки лише через декілька днів або тижнів. Процес потребує адаптації до умов України і постійного автоматичного моніторингу. Для умов України потрібні дешеві і надійні реактори, що будуть однаково ефективні як у теплу пору року, так і в холодну.

Анаеробний біореактор для виробництва біогазу й органічного субстрату – це пристрій, що являє собою замкнену ємність, куди подають біологічні відходи, витримують їх без доступу повітря за заданої стабільної температури (від +25 до +55°C) і перемішують. У результаті метаногенезу отримують біогаз та екологічно-безпечний органічний субстрат, що випадає як твердий осад, який можна застосовувати як органічне добриво в сільському господарстві. Як матеріал для корпусу біореактора традиційно застосовують бетон, метал, полімери.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Недоліками відомих конструкцій ферментаторів є їхня відносно висока вартість і нетехнологічність влаштування бетонної конструкції складної криволінійної форми, яка б забезпечувала найкращі умови термоізоляції, перемішування, руйнування поверхневої кірки субстрату, забезпечення максимальної площі для виходу біогазу із субстрату, періодичного виймання твердого осаду та технічного обслуговування. Також суттєвим недоліком є недостатня довговічність ферментатора, зумовлена корозійною нестабільністю.

Варіантом вирішення проблеми зі зниження вартості біореактора за умов одночасного забезпечення корозійної стійкості ферментатора є застосування як матеріалу дна і стінок ґрунтоцементу [5].

Передумовами застосування ґрунтоцементу для влаштування корпусу біореактора – ферментатора є [6–8]:

позитивний досвід використання ґрунтоцементу як матеріалу для будівництва шламових відстійників для токсичних відходів;

- висока водонепроникність W12-14;
- низька вартість виготовлення завдяки використанню природного ґрунту з котловану;
- висока міцність на стиск, 2 МПа;
- стійкість до агресивних складників (хімічна стійкість);
- довговічність, термін використання більш ніж 300 років;
- ґрунтоцемент екологічно безпечний;
- морозостійкість у межах М25;
- ґрунтоцемент має здатність до набору міцності з часом.

Новизна. Новими є ідеї, що полягають у вирішенні оптимізаційного завдання шляхом комбінаторики енергоощадної конструкції, форми і місця розташування та матеріалу корпусу анаеробного біореактора

для виробництва біогазу та органічного субстрату. Конструкція корпусу біореактора повинна мати найменшу площу зовнішньої поверхні, що контактує із зовнішнім середовищем (актуально в холодну пору року, мінімізує витрати на роботу теплового насосу для забезпечення необхідної температури процесу бродіння), при цьому форма камер бродіння повинна забезпечувати: якомога кращі умови перемішування; максимальну площу для виходу газу; не мати «глухих» застійних ділянок, де перемішування не відбувається; найкращі умови для руйнування поверхневої кірки; оптимальне, послідовне, без енерговитрат з'єднання камер; можливість застосування спільного для камер газгольдера; можливість автоматичного (без порушення температурного режиму) видалення осаду – органічного субстрату; тощо. До матеріалу ж корпусу біореактора висуваються вимоги герметичності та корозійної стійкості за виконання умов необхідної міцності.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Пропонована конструкція біореактора [5] належить до технології одержання біогазу шляхом анаеробного розкладу різних біологічних відходів (тваринництва, птахівництва, рослинництва, підприємств харчової промисловості, твердих побутових відходів, стічних вод) і може знайти застосування в сільському господарстві, на підприємствах харчової промисловості, міських звалищах ТПВ, станціях очистки стічних вод, підприємствах із виготовлення органічних добрив, наприклад мульчі, субстрату.

Виклад основного матеріалу. Метою пропонованої конструкції біореактора є вдосконалення анаеробного біореактора, ферментатора-газгольдера, в якому шляхом влаштування цільного і монолітного корпусу з ґрунтоцементу підвищується надійність і довговічність роботи біореактора, його герметичність, суттєво знижуються вартість і термін зведення за умов раціонального використання природних ресурсів.

На рис. 1 зображено вид зверху біореакторної установки, що складається із завантажувально-на-

сосного вузла та безпосередньо самого біореактора, де 1 – приймальна ємність для відходів біологічного походження, 2 – насос, 3 – ємність – дозатор. Ємності 1 і 3 утворені стінками і дном із ґрунтоцементу.

Анаеробний біореактор для виробництва біогазу та органічного субстрату складається з корпусу 4 циліндричної в плані форми (див. рис. 1) з трьома внутрішніми вертикальними перегородками 5, що розташовані одна щодо іншої під кутом 120° та утворюють три камери для анаеробного бродіння, відповідно 6, 7 і 8. За межами біореактора розташований збірник зброженої маси 9 утворений стінками і дном із ґрунтоцементу. Корпус циліндричної форми 4, три внутрішні перегородки 5 та спільне дно 10 (рис. 2) виконані в «монолітному» варіанті – як одне ціле з ґрунтоцементу. На поверхні внутрішніх перегородок 5 передбачено теплообмінники 11 з полімерної труби з під'єднанням до теплового насосу (на рис. не показано). В бродильній камері 6 посередництвом траверси 12 встановлено змішувач біомаси, що включає гідродвигун 13, редуктор 14 з вертикально розташованим валом, у нижній частині якого закріплено короткобазовий одновитковий полий шнек 15, а у верхній частині закріплено трапецієвидний каркас із сітками 16 для руйнування поверхневої кірки. В перегородках 5 передбачено отвори для перепускних труб 17. Схема (розгортка камер біореактора) циркуляції біомаси наведена на рис. 3.

Накопичення газу та його початкове тимчасове зберігання відбувається в порожнині газгольдера 18, що утворена газовим ковпаком 19, який щільно та герметично встановлено в пази ґрунтоцементних стінок корпусу 4. У верхній частині ковпака 19, який виготовлений із матеріалу темного кольору для додаткового нагрівання біореактора від сонячних променів, встановлено засоби контролю та автоматичного керування 20, а також вивідну газову трубку 21.

У нижній частині біореактора передбачена залізобетонна труба 22 з встановленим у неї посередництвом підшипникових опор довгобазовим шне-

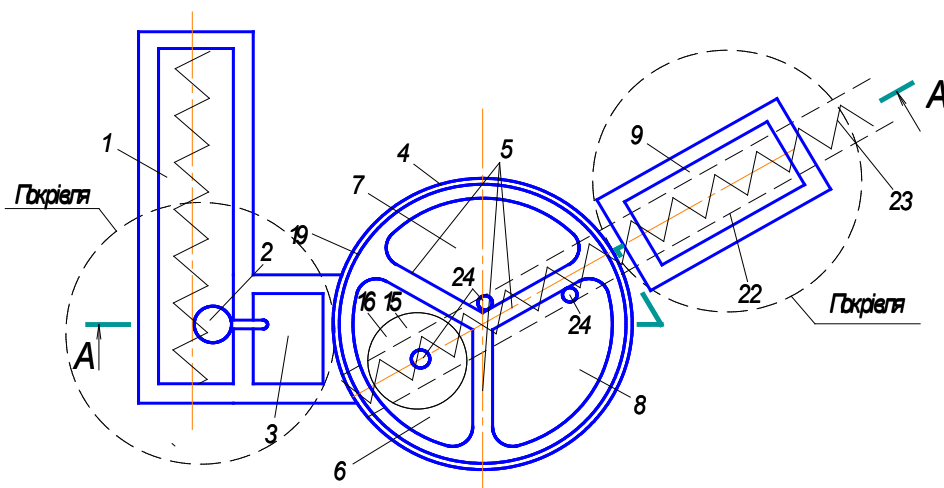


Рис. 1. Біореакторна установка (вид зверху) [5]

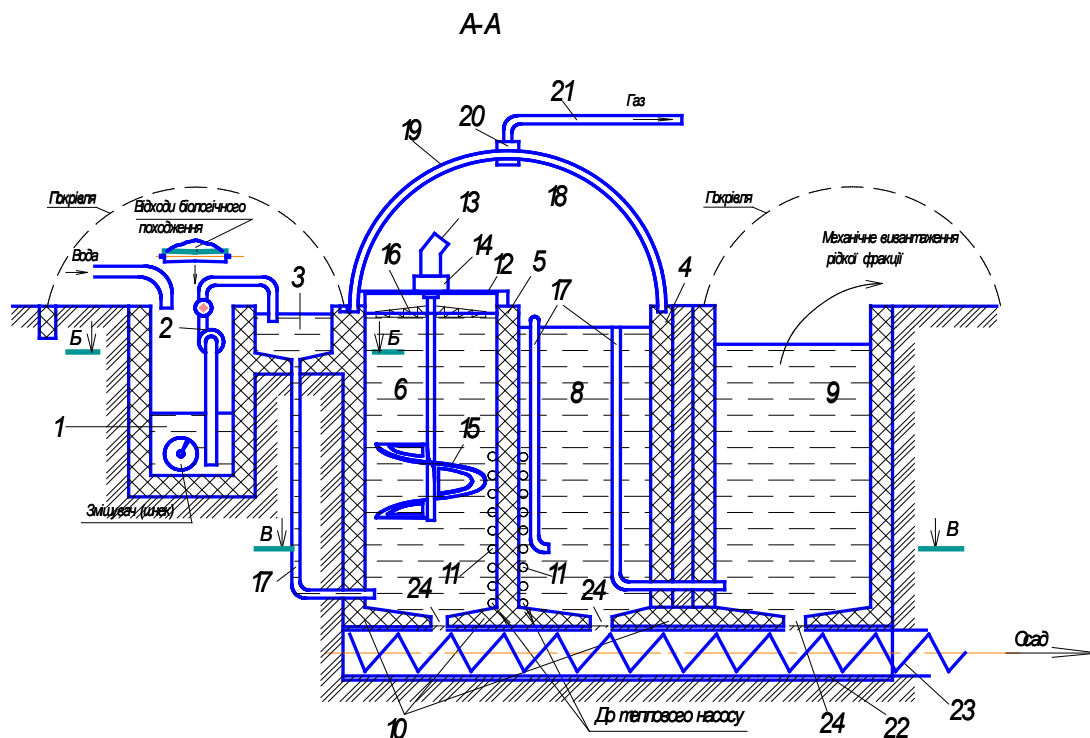


Рис. 2. Розріз А-А біореактора з рис. 1 [5]

ком 23 для виведення осаду (субстрату). При цьому поверхня дна 10 корпусу 4 біореактора в бродильних камерах 6, 7, 8 і збірнику зброженої маси 9 має внутрішні ухили до отворів із встановленими в них гідрозатворотами 24, через які періодично і у визначеній послідовності осад (субстрат) потрапляє у внутрішню порожнину труби 22 зі шнеком 23.

Працює анаеробний біореактор для виробництва біогазу та органічного субстрату таким чином: стрічковим транспортером, трактором, навантажувачем, ... подається вихідна сировина біологіч-

ного походження в ємність 1, туди ж додають воду і перемішують шнековим змішувачем до необхідної консистенції. Після цього насосом 2 подають вихідну біомасу в дозуючу ємність 3 і контролюють необхідну температуру суміші (в межах +25...55°C) і підтримують необхідний рівень біомаси в ємності 3. При цьому надлишкова біомаса (див. рис. 3) через трубопровід 17 потрапляє в нижню частину біореактора в бродильну камеру 6, де підігрівається нагрівачем біомаси 11 та перемішується короткобазовим порожнистим шнеком 15. Відбувається про-

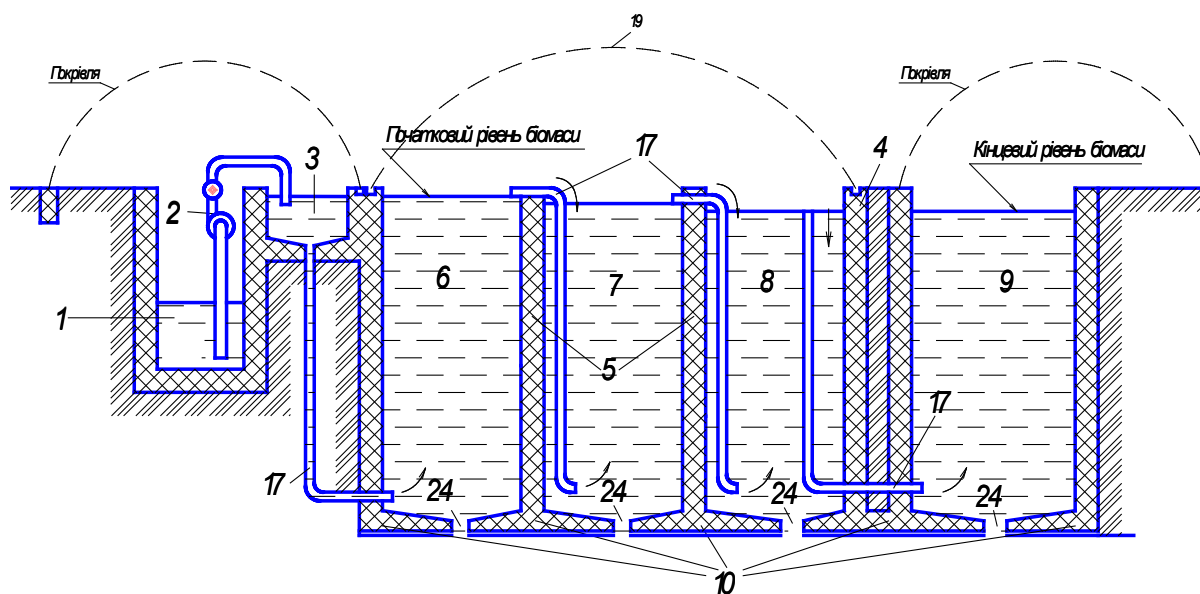


Рис. 3. Схема (розгортка камер біореактора) циркуляції біомаси [5]

цес бродіння. Поверхнева кірка з твердих елементів, що утворюється на поверхні біомаси в камері 6, руйнується трапецієвидними сітками 16, що дає змогу бульбашкам газу без перешкод виходити до порожнини 18 газового ковпака – газгольдера 19.

Частково перебродивши, біомаса, що зайняла положення у верхній частині бродильної камери 6, поступає по перепускній трубі 17 в нижню частину проміжної бродильної камери 7, перемішуючись і підігриваючись від перегородки 5 з підігрівачами 11. Відбувається продовження бродіння біомаси в проміжній камері бродіння 7 і виділення біогазу, який вільно поступає в порожнину 18 газового ковпака – газгольдера 19. У міру заповнення камери 7 біомаса з верхньої частини потрапляє через перепускную трубу 17 між камерою 7 і камерою остаточного зброджування 8 в її нижню частину, перемішуючись і підігриваючись від перегородки 5 з підігрівачами 11. Відбувається кінцеве доброджування біомаси в камері 8 з виділення біогазу в порожнину 18 газового ковпака – газгольдера 19, де газ накопичується, якийсь термін зберігається та за допомогою автоматичних пристроїв 20 відводиться по трубі 21 до місць більш тривалого зберігання, очищення або безпосереднього використання.

З камери остаточного зброджування біомаса посередництвом перепускної труби 17 потрапляє в збірник збродженої маси 9, звідки механічно виймається грейфером, норією тощо.

При цьому процес бродіння та знаходження біомаси в камерах 6, 7, 8 і збірнику збродженої маси 9 супроводжується випаданням осаду (субстрату) з біомаси. Осад накопичується на дні 10 камер 6, 7, 8 і 9 та завдяки внутрішнім ухилам більш концентровано потрапляє в спільні з бетонною трубою 22 отвори з гідрозатворами 24 і відводиться шнеком 23 до місця збирання, пакування.

Періодичність, послідовність, час відкриття гідрозатворів 24 і ввімкнення шнека 23 може відбуватися як у ручному, так і в автоматичному режимах відповідно до програми керування роботою біореактора.

Анаеробний біореактор для виробництва біогазу та органічного субстрату призначений для роботи як безперервно, так і дискретно в будь-яку пору року.

Головні висновки. 1. Представлено нову, енергоефективну і компактну конструкцію анаеробного біореактора, що поєднує в собі ефекти: максимальної площі поверхні для виходу газу; забезпечення умов для механічного перемішування (раціональна форма камер бродіння без глухих кутів); мінімальних енергозатрат на підігрів (мінімальна довжина зовнішнього периметра), можливість централізованого виводу осаду з усіх камер бродіння.

2. Застосування запропонованої конструкції біореактора дасть змогу вирішити низку істотних проблем: раціональне використання природних, зокрема відновлюваних джерел енергії; екологічна утилізація продуктів життєдіяльності; раціональне використання природних ресурсів для будівництва; отримання екологічно чистих добрив для агрокомплексу.

3. Запропоновано та логічно обгрунтовано доцільність застосування ґрунтоцементу для влаштування корпусу ферментатора анаеробного біореактора з виробництва біогазу й органічного субстрату.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані під час проектування ферментаторів біореакторів, гідроізоляційних перепон із ґрунтоцементу для звалищ ТПВ з метою унеможливлення потрапляння отруйних речовин у водоносний горизонт, також перспективним з економічного погляду є застосування ґрунтоцементу для влаштування стінок і дна штучних водойм та як окремих фундаментів для сонячних батарей.

Література

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <http://saee.gov.ua/uk/bioenergy>.
2. Ратушняк Г.С. Энергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : навч. посібник / Джеджула В.В., Анохіна К.В. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2010. 170 с. URL: <http://ratushnyak.vk.vntu.edu.ua/file/Books/f410c4ae983b7bccaf34971045a58dc8.pdf>.
3. Біогазові установки : практичний посібник / Барбара Едер, Хайнц Шульц. 2008.
4. Компактні біогазові установки контейнерного виконання, виробництва Польщі. 2016. URL: http://atagos.com.ua/produkt/kompaktnye_biogazovye_ustanovki_v_kontejnernom_ispolnenii_proizvodstvo_polsha.
5. Пат. 124712 Україна. МПК C02F11/04, C02F3/28. Анаеробний біореактор для виробництва біогазу та органічного субстрату / С.О. Карпушин, В.В. Клименко, А.В. Шиндер; заявник і патентовласник – Центральноукраїнський національний технічний університет. u201709143 заявл. 15.09.2017. Опубл. 25.04.2018. Бюл. № 8.
6. Пат. 71256 Україна, МПК E02B 17/02 (2006.01) E02D 5/22(2006.01). Шламовий амбар для токсичних відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин / М.Л. Зоценко, К.А. Тимофеева; заявник і патентовласник – Полтавський нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. u201114845 заявл. 14.12.2011. Опубл. 10.07.2012. Бюл. № 13.
7. ґрунтоцементные основания и фундаменты / М.М. Вагидов, Н.Л. Зоценко // *Вестник Дагестанского государственного технического университета* : сб. научн. трудов. Технические науки. Махачкала : ДГТУ, 2012. Вып. 26. С. 94–102.
8. Будівельні властивості ґрунтоцементу за наявності у його складі органічних речовин / Ю.Л. Винников, О.І. Ярмолюк // *Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения*. Днепропетровск : ПГАСА, 2010. Вып. 56. С. 97–103.

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД И ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОЙ

Ковров А.С., Куликова Д.В., Кравченко Н.Д.

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»

пр. Д. Яворницкого, 19, 49005, г. Днепр

kovralex1@gmail.com, kulikova.d.v@nmu.one, kiit15.kravchenko@gmail.com

В основу статьи положены материалы экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных условиях в ГП «УкрНИПИИ протехнологии», и результаты промышленных испытаний установки кондиционирования шахтных вод. В результате выполненных расчетов рекомендована технологическая схема очистки шахтных вод ОП «Шахта «Украина» ГП «Селидовуголь», заключающаяся в фильтрации исходной воды, содержащей хлорид- и сульфат-ионы через слой высокоосновного анионита марки АМ в HCO_3^- -форме, обработке фильтрата раствором NaOH , фильтрации полученной суспензии и подкисления фильтрата газовой смесью от котельной, содержащей 3–8% CO_2 . Регенерация насыщенного анионита осуществляется раствором Na_2CO_3 , полученным при поглощении CO_2 раствором NaOH . Согласно выполненным расчетам в результате последовательных операций очистки вода содержит не более 2–5 мг/л ионов кальция и магния и не более 50 мг/л хлорид- и сульфат-ионов, что позволяет использовать очищенную воду для хозяйственных и технологических нужд предприятия. При проектировании промышленной очистки шахтных вод производительностью 350 м³/час рекомендуется установка трех блоков водоочистки с производительностью каждого блока 120 м³/час. В зависимости от способа утилизации образующихся солевых отходов предлагаются два варианта утилизации регенерата сточных вод: выпаривание солей с захоронением сухих солей или альтернативное хранение жидкого регенерата в пруду-испарителе. Внедрение технологической схемы очистки на шахте позволит: значительно снизить сброс недостаточно очищенных шахтных вод в гидрографическую сеть с максимальным извлечением солевых компонентов; осуществлять попутную очистку дымовых газов шахтной котельной от твердых и газообразных компонентов; использовать очищенную воду на технологические нужды предприятия. *Ключевые слова:* очистка шахтных вод, ионный обмен, седиментация, фильтрование, отстойники, дымовые газы котельной.

Обґрунтування комплексної технології очистки шахтних вод і димових газів котельні. Ковров О.С., Кулікова Д.В., Кравченко М.Д.

В основу статті покладено матеріали експериментальних досліджень, проведених у лабораторних умовах в ДП «УкрНДПРІ протехнології», і результати промислових випробувань установки кондиціонування шахтних вод. В результаті виконаних розрахунків рекомендовано технологічну схему очищення шахтних вод ВП «Шахта «Україна» ДП «Селідіввугілля», яка полягає у фільтрації вихідної води, що містить хлорид- і сульфат-іони через шар високолузного аніоніту марки АМ в HCO_3^- формі, обробці фільтрату розчином їдкого натру NaOH , фільтрації отриманої суспензії і підкисленні фільтрату газовою сумішшю від котельні, що містить 3–8% CO_2 . Регенерація насиченого аніоніту здійснюється розчином Na_2CO_3 , утвореним під час поглинання CO_2 розчином NaOH . Згідно з виконаними розрахунками в результаті послідовних операцій очищення вода містить не більше 2–5 мг/л іонів кальцію і магнію та не більше 50 мг/л хлорид- і сульфат-іонів, що дає змогу використовувати очищену воду для господарських і технологічних потреб шахти. Під час проектування схеми промислового очищення шахтних вод потужністю 350 м³/год рекомендовано установку з трьох блоків водоочистки, кожний із середньою продуктивністю 120 м³/год. Залежно від способу утилізації солевих відходів, що утворюються внаслідок очистки, пропонуються два варіанти утилізації регенерату стічних вод: випарювання солевідходів із похованням сухого залишку солей або зберігання рідкого регенерату в ставку-випарнику. Впровадження технологічної схеми очищення на шахті дасть змогу: значно знизити скидання не досить очищених шахтних вод у гідрографічну мережу з максимальним вилученням солевих компонентів; здійснювати попутне очищення димових газів шахтної котельні від твердих і газоподібних речовин; використовувати очищену воду на технологічні потреби підприємства. *Ключові слова:* очистка шахтних вод, іонний обмін, седиментація, фільтрування, відстійники, димові газы котельні.

Justification of the integrated technology for treatment of mining waters and boiler-room emissions. Kovrov O., Kulikova D., Kravchenko M.

The paper is based on the materials of experimental studies conducted in laboratory conditions at the State Enterprise “Ukr R&D Institute for industrial technologies” and the results of industrial installation tests for mine water conditioning. As a result of the calculations, the technological scheme for the treatment of mine water at the coal mine “Ukraine” of the State Enterprise “Selidovugol” is recommended, which consists in filtering the discharged water that contains chloride and sulfate ions through a layer of highly alkaline HCO_3^- -anionite, treating the filtrate with sodium hydroxide solution (NaOH), filtering of obtained suspension and acidifying the filtrate with gas mixture from the boiler-room that contains 3–8% CO_2 . The regeneration of saturated anionite is carried out with a solution of sodium bicarbonate Na_2CO_3 obtained through absorption of CO_2 by solution of NaOH . According to the calculations, as a result of successive cleaning operations, the calcium and magnesium ions in the water do not exceed 2–5 mg/l, chloride and sulfate ions – 50 mg/l respectively, which allows use of purified water for household and technological needs of the enterprise. When designing industrial treatment of mine water with a capacity of 350 m³/h, it is recommended to install three water purification units with a capacity of 120 m³/h for each block. Depending on the method of disposal of the generated salt wastes, two options are proposed for the disposal of wastewater regenerate: evaporation of salt wastes with further disposal of dry salts or

alternative storage of liquid regenerate in an evaporation pond. Implementation of the proposed mine treatment flow chart will allow: significantly reduce the discharge of insufficiently treated mine water into a hydrographic network with maximum extraction of salt components; carry out associated purification of gas and dust emissions from the mine boiler-room from solid and gaseous components; use purified water for technological needs of the enterprise. *Key words*: mine water treatment, ion exchange, sedimentation, filtration, settling tank, boiler-room emissions.

Постановка проблемы. Одной из серьезных проблем горнопромышленного комплекса являются образование и сброс шахтных вод, загрязненных различными веществами минерального и органического происхождения. Шахтные воды Донецкого бассейна характеризуются высокими уровнями минерализации и жесткости, что не зависит от технологии извлечения и переработки горной массы. Сброс таких производственных сточных вод оказывает негативное влияние на поверхностные водные объекты, в результате чего повышается их общая минерализация и изменяется физико-химический состав. Таким образом, возникает необходимость в корректировке минерального состава сбрасываемых шахтных вод для соблюдения требований предельно-допустимого сброса и с целью их вторичного использования.

Актуальность исследования. Учитывая, что высокая минерализация шахтных вод является одной из самых острых экологических проблем горнодобывающей отрасли, ведется научно-экспериментальный поиск эффективных систем очистки шахтных вод. Одними из перспективных способов очистки сточных вод предприятий угольной промышленности являются деминерализация, обессоливание, ультрафильтрация, обратный осмос и другие. Комплексное применение перечисленных технологий позволяет снизить содержание минеральных и солевых компонентов не только до требований сброса в поверхностные водные объекты, но также использовать на технические и хозяйственно-бытовые нужды.

Связь авторских предложений с важными научными и практическими задачами. Проблема снижения техногенного прессинга на гидросферу имеет особую важность в горной промышленности, так как высокоминерализованные воды горных предприятий существенно нарушают устойчивость водных экосистем. Предлагаемая схема очистки шахтных высокоминерализованных вод методами ионного обмена и седиментации позволит максимально извлекать солевые компоненты из шахтных вод, а также очищать дымовые газы промышленной котельной. Внедрение схемы очистки шахтных вод на горном предприятии позволит максимально устранить сверхнормативные сбросы сульфатов, хлоридов и других загрязняющих веществ, а очищенную воду использовать в технологических процессах или передавать вторичным водопользователям на технические нужды.

Анализ последних исследований и публикаций. Влиянию высокоминерализованных шахтных вод на поверхностные водоемы посвящено множество работ. Шахтные воды оказывают существен-

ное влияние на состояние поверхностных водоемов и подземных вод как локально, так и в масштабах регионов, что отражается в разнообразных оценках экологических рисков [1], хотя методология таких подходов не всегда понятна.

В работе [2] проанализированы удельные показатели, характеризующие ассимиляционную емкость водных ресурсов Днепропетровской области. Установлено, что в бассейнах р. Самары и р. Волчьей этот показатель характеризуется как «высокий», что свидетельствует о существенном загрязнении поверхностных водоемов шахтными водами. Из статьи непонятно, как влияет на рассчитанные показатели минеральное или органическое загрязнение рек.

Шахтные воды могут оказывать негативное влияние даже после прекращения горных работ. Так, после закрытия шахты, уровень грунтовых вод поднимается, вызывая загрязнение почвы тяжелыми металлами и минеральными веществами [3].

Особое внимание заслуживает известное явление шахтного кислотного дренажа, связанного с окислением FeS_2 в шахтных водах и отходах, высвобождению Fe^{2+} и H^+ . Химические реакции способствуют снижению pH и выщелачиванию тяжелых металлов с последующим загрязнением поверхностных водоемов [4].

Аналогичные изменения экологического состояния окружающей среды наблюдаются в районах расположения прудов-накопителей шахтных вод, минерализация в которых достигает 15,3 г/л [5].

В связи с актуальностью проблемы шахтных вод предлагаются различные усовершенствованные сооружения очистки, прежде всего механической [6], эффективность которой достигает 96–98%.

Широко применяются вакуумные мембранные технологии с дистилляцией, направленные на удаление частиц и растворенных примесей методом испарения и конденсации, что имитирует природные процессы [7].

Классическими методами обработки высокоминерализованных шахтных вод стали комбинированные процессы прямого и обратного осмоса, эффективность которых зависит от эффективной конфигурации оборудования, химического состава и структуры мембран [8].

В исследовании [9] изучалось отделение урана от других анионов, присутствующих в кислотной шахтной воде, с использованием метода ионного обмена в периодическом и колонном режиме.

Выполненный анализ последних исследований и публикаций свидетельствует о том, что проблема высокоминерализованных шахтных вод является одной из ключевых в спектре природоохранной деятельности горных предприятий.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья. На практике применение вышеупомянутых методов по снижению минерализации шахтных вод является весьма проблематичным по двум причинам. Во-первых, значительные капитальные и эксплуатационные затраты на основные технологические процессы водоочистки и высокая стоимость реагентов. Во-вторых, утилизация солевых продуктов водоочистки является практически неразрешимой проблемой по причине отсутствия специализированных полигонов захоронения минеральных компонентов шахтных вод.

Цель исследования. Учитывая приведенный анализ современных исследований возникает необходимость поиска альтернативных, уникальных и экономически целесообразных инженерных решений в области очистки высокоминерализованных шахтных вод и утилизации солевых осадков.

Цель исследования заключается в обосновании комплексной технологии очистки шахтных вод и дымовых газов котельной методом с использованием метода ионнообменной сорбции.

Новизна исследования заключается в том, что применение технологии комплексной химводоочистки позволит одновременно снизить выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от промышленной котельной, а также содержание сульфатов и хлоридов в очищаемой шахтной воде на 98–99%.

Методологическое значение. Предложенный вариант очистки шахтных вод значительно расширяет границы традиционного использования метода ионного обмена. В ближайшей перспективе применение ионоселективных сорбентов позволит не только очищать сточные воды, но и избирательно извлекать из них ценные компоненты, что даст развитие новым экономически целесообразным технологиям водоочистки.

Изложение основного материала. *Общие сведения о предприятии и объектах планирования.* Отдельное подразделение «Шахта «Украина» ГП «Селидовуголь» (г. Украинск Донецкой области) введено в эксплуатацию в 1963 году с мощностью 1200 тыс. тонн угля в год. Наиболее существенным источником загрязнения атмосферы на шахте является промышленная котельная производительностью 16 Гкал/ч тепла в виде пара с давлением 0,3–0,5 МПа. В котельной установлено 4 котла типа ДКВР-6,5/13. Максимальные расходы угля составляют 8674 кг/ч, 15,6 тыс. т/год. Для очистки отработанных дымовых газов используются батарейные циклоны типа БЦ с эффективностью 80–86% для снижения выбросов твердых частиц пыли. После частичной очистки дымовых газов выбрасываются в атмосферу через кирпичную дымовую трубу высотой 45 м и диаметром устья 1500 мм. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от промышленной котельной шахты «Украина» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Валовые выбросы от шахтной котельной

Наименование загрязняющих веществ	Предельно допустимый выброс		Фактические выбросы загрязняющих веществ	
	г/с	т/год	г/с	т/год
Пыль с SiO ₂ (20-70%)	19,6	56,89	9,4	31,878
Сернистый ангидрид	11,9	356,1	9,7	243
Оксид углерода	11,54	34,25	41,4	49,66
Оксиды азота	5,43	18,11	8,5	23,355

Таблица 2

Качественный состав шахтных вод

Наименование загрязняющих веществ	Концентрация, мг/л			Сброс загрязняющих веществ, т/год	
	ПДК	Фактическая	Проект. показат.	Существ. положение	Проект. показат.
Азот аммонийный	0,5	1,1	0,5	2,560	1,164
БПК _{полн.}	3,0	3,6	3,0	8,377	6,981
Взвешенные вещества	20,0	20,0	10	46,540	23,27
Железо	0,005	0,23	0,005	0,535	0,012
Нефтепродукты	0,05	0,64	0,05	1,489	0,116
Нитраты	40,0	5,6	5,0	13,031	11,635
Нитриты	0,08	0,1	0,01	0,233	0,023
Сульфаты	100	1560	25	1490,0	58,175
Фенолы	0,001	0,001	0,0001	0,002	0,000233
Хлориды	300	465	25	465,0	58,175
ИТОГО:				2027,767	159,551

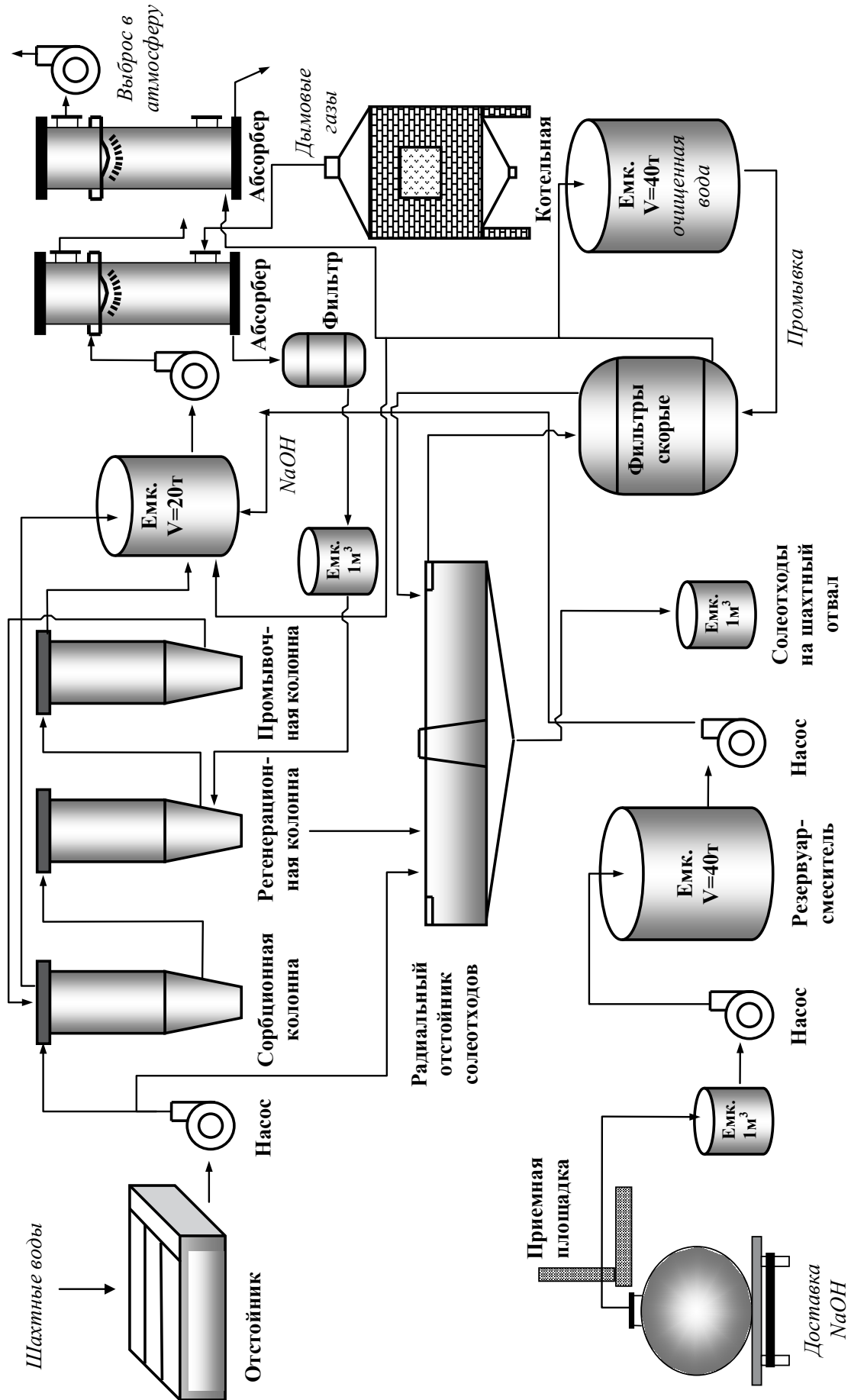


Рис. 1. Технологическая схема очистки шахтных вод и дымовых газов котельной

Анализируя табл. 1, можно отметить, что наиболее существенными факторами негативного влияния на состояние атмосферы являются выбросы твердых веществ пыли и сернистого ангидрида, что обусловлено высокой сернистостью угля. При этом газообразные вещества не улавливаются.

Усредненный объем шахтных вод составляет 3066 тыс. м³/год. С учетом использования шахтной воды на производственные нужды шахты сброс в р. Волчья (бассейн р. Днепр) составляет 2327 тыс. м³/год. В табл. 2 приводится качественный состав шахтных вод ОП «Шахта «Украина» ГП «Селидовуголь».

Качественный состав шахтных вод свидетельствует о сверхнормативных содержаниях хлоридов и сульфатов, высокие концентрации которых обусловлены природным составом подземных вод.

В рамках статьи предлагается комплексное решение экологических проблем шахты посредством внедрения технологии химводоочистки (далее – ХВО) котельной шахты.

Технические решения по очистке газов и шахтных вод. Технологические сооружения ХВО предназначены для очистки шахтных вод до качества, позволяющего использовать очищенную воду для подпитки паровых котлов и бытовых нужд шахты и г. Украинска, полива сельхозугодий и сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения с попутной очисткой дымовых газов от пыли, сернистого ангидрида SO_2 , окислов азота NO_x и диоксида углерода CO_2 .

Технология ХВО шахтной котельной включает следующие здания и сооружения (рис. 1): одноэтажное здание очистки габаритными размерами 42x18 м² с выпарной установкой, лабораторией и вспомогательными помещениями; радиальный отстойник-сгуститель диаметром 25 м; две емкости объемом 40 м³ каждая для приема и хранения 42%-ного раствора едкого натрия; емкость для промывной воды объемом 200 м³; ионообменные и промывные колонны; тарельчатые абсорберы для корректировки *pH* очищаемой воды, а также для приготовления регенерирующего раствора (8%-ного бикарбоната натрия NaH_2CO_3) посредством поглощения углекислого газа CO_2 раствором $NaOH$; насосное оборудование; эстакада трубопроводов от здания очистки к котельной и радиальному сгустителю.

Рассмотрено два варианта утилизации жидких отходов, образующихся в результате очистки методом ионного обмена. Для переработки жидких солевых отходов по первому варианту предусматривается выпарная установка и полигон для захоронения сухих солей. По второму варианту для хранения жидких отходов предусматривается пруд-испаритель емкостью 2500 м³ с периодом эксплуатации 10 лет [10].

Технологическая схема очистки шахтной воды методом ионного обмена.

Шахтная вода из существующего горизонтального трехсекционного отстойника ($V = 700 \text{ м}^3$)

в количестве 120 м³/ч подается насосами на установку ХВО котельной. Технология очистки шахтных вод включает следующие технологические операции.

1. *Сорбция анионов (Cl^- и SO_4^{2-}) в сорбционной напорной колонне (СНК) на анионите марки АМ.* Операция анионообменного извлечения хлорид- и сульфат-ионов осуществляется в квази-непрерывном цикле (с движением порций анионита через зоны регенерации и отмывки в рабочую зону) в аппаратах с восходящим потоком вод и растворов. Основные характеристики ионообменного процесса: емкость анионита – 700 мг-экв/л; скорость фильтрации – 20 м/час; высота слоя – 6 м. Вода из колонны поступает на осаждение катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , а насыщенный анионит – на регенерацию.

2. *Регенерация анионита 8%-ным раствором бикарбоната натрия Na_2CO_3 в противоточной ионообменной колонне (ПИК).* Основные характеристики ионообменного процесса: отношение анионит/раствор = 1:1,5; скорость фильтрации – 2 м/час; высота слоя – 6 м. Регенерат из колонны поступает на выпарную установку (1 вариант) или в пруд-испаритель (2 вариант), а анионит – на отмывку.

3. *Отмывка анионита очищенной водой в колонне ПИК.* Основные характеристики процесса: скорость фильтрации – 10–15 м/час; время отмывки – 20–30 мин. Отмытый анионит возвращается на сорбцию в ионообменную колонну, а промывная вода используется для приготовления регенерирующего раствора бикарбоната натрия NaH_2CO_3 .

4. *Осаждение из воды катионов жесткости Ca^{2+} и Mg^{2+} 42%-ным раствором $NaOH$ в сгустителе с периферическим приводом П-25 с последующим отстаиванием воды.* Прошедшая рабочую зону ионообменной установки вода поступает на операцию подщелачивания до значений *pH* 11,5–11,7, обеспечивающую эффективное образование осадков гидроокиси магния $Mg(OH)_2$ и карбоната кальция $CaCO_3$. Основные характеристики процесса: *pH* процесса – 11,5–11,7; скорость выпадения взвесей – 0,5 мм/с. Твердая фаза после отстаивания суспензии может сбрасываться (7,5 м³/час) либо подвергаться смешению с отработанным регенератом узла сорбции (для повышения значения *pH* образующейся суспензии и, соответственно, фильтрации, подвергающегося операции упаривания). Подщелачивание осуществляется в баке-смесителе, из которого суспензия направляется на операцию отстаивания, а затем и фильтрации. Последние две операции осуществляются, соответственно, в радиальном отстойнике и осветлительном фильтре с кварцевым песком или керамзитом.

5. *Контрольная фильтрация взвесей в скорых фильтрах загруженных керамзитом или антрацитом.* Скорость фильтрации – 10 м/ч. Шлам из сгустителя периодически насосом откачивается на шахтный отвал.

Результаты расчета аппаратов ионного обмена для ХВО котельной

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Значения показателей
1.	<i>Для сорбции анионов:</i>		
	– производительность по очищаемой воде, Q	м ³ /ч	120
	– суммарное содержание ионов Cl^- , SO_4^{2-} , $\sum C_{ан}$	г/м ³	2060
	– рабочая обменная емкость анионита, $a_{раб}$	г-экв/м ³	700
	– скорость фильтрации исходной воды, W_{ϕ}	м/ч	25
2.	<i>Для десорбции анионов:</i>		
	– производительность по регенерирующему раствору, $Q_{рег}$	м ³ /ч	10
	– концентрация регенерирующего р-ра NaH_2CO_3 , C	%	8
	– скорость фильтрации раствора NaH_2CO_3 , W_p	м/ч	3
	– время пребывания анионита в регенерационной колонне, t_p	ч	4
3.	<i>Для отмывки анионита:</i>		
	– производительность по отмывочной воде, $Q_{от}$	м ³ /ч	15-20
	– скорость фильтрации отмывочной воды (при времени подачи в колонну, обеспечивающем объемный расход отмывочной воды), $W_{от}$	м/ч	10-15
	– отношение высоты слоя анионита к диаметру колонны, B	б/р	3,75
	– время пребывания анионита в колонне, $t_{от}$	ч	4

6. *Корректировка pH очищенной воды дымовыми газами котельной в тарельчатом абсорбере.* Отфильтрованная от взвешенных частиц (не более 1–5 мг/л) вода с pH 11,5–11,7 поступает на стадию нейтрализации ее углекислым газом, содержащимся в дымовых газах котельной. Операция осуществляется в распыливающем абсорбере, оборудованном провальными тарелками дырчатого или трубчатого типа. Для предварительной очистки дымовых газов котельной от окислов серы и азота предусматривается размещение абсорбера аналогичного типа и конструкции, где в качестве поглотительной жидкости используется 5–10%-ный раствор $NaOH$. Газовая смесь, выходящая из данного абсорбера, поступает на вход второго абсорбера. В результате реакции CO_2 и $NaOH$ образуется 5–10%-ный раствор NaH_2CO_3 , который поступает в бак для хранения регенерирующего раствора

и применяется для десорбции хлорид- и сульфат-ионов в операции ионообменного извлечения анионов шахтной воды.

Регенерат каждого блока очистной установки в количестве 10 м³/ч подвергается концентрированию на выпарной трехкорпусной установке.

Вода, имеющая pH 7,5-8,0 на выходе из абсорбера, направляется потребителю для подпитки паровых котлов ДКВР 6,5/13 или после смешения с исходной шахтной водой поступает на орошение сельхозугодий.

7. *Обеззараживание воды осуществляется активным хлором.*

Результаты расчета технологии ХВО методом ионного обмена, выполненные согласно действующим нормативам проектирования сооружений очистки производственных сточных вод [11; 12], представлены в табл. 3.

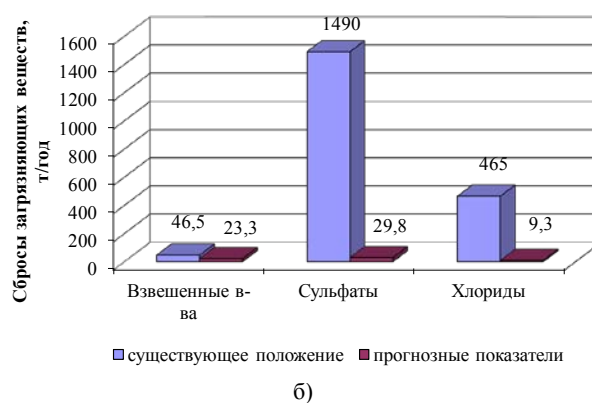
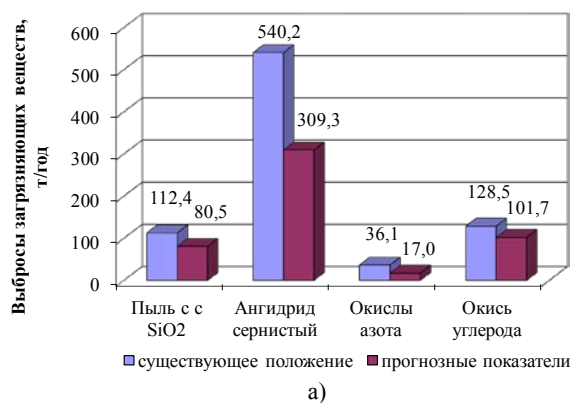


Рис. 2. Прогнозные показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (а) и сбросов шахтных вод (б) в гидрографическую сеть

Учитывая, что на котельной предусматривается мокрая очистка двумя абсорберами с эффективностью очистки 99%, твердая пыль в количестве 56,89 т/год будет улавливаться и вывозиться на породный отвал в виде шлама.

Применение анионообменной установки позволит снизить содержание сульфатов и хлоридов в очищаемой шахтной воде на 98–99% (по проектным показателям суммарное содержание этих ионов не превысит 50 мг/л). Учитывая эффективность ионообменной установки с высокоосновным анионитом марки АМ, сброс сульфатов уменьшится на 1460,2 т/год, хлоридов – на 455,7 т/год.

Прогнозные результаты эффективности применения технологии ХВО для котельной шахты и очистки шахтных вод представлены на рис. 2.

Главные выводы. Осуществление проекта химводоочистки котельной шахты на практике может иметь следующие преимущества:

существенное снижение сброса недостаточно очищенных сточных вод в гидрографическую сеть

с максимально возможным извлечением минеральных компонентов;

возможность использования очищенной воды на технологические нужды предприятия и подпитки паровых котлов городских котельных;

уменьшение использования воды питьевого качества в технологических процессах;

попутная очистка дымовых газов шахтной котельной от газообразных компонентов;

существенное снижение платы за загрязнение окружающей среды.

Перспективы использования результатов исследования. Представленные результаты исследования являются базисом для принятия инженерных решений в области снижения сброса и очистки высокоминерализованных шахтных вод. Внедрение подобных технологий с эффективной утилизацией солевых осадков позволит сократить уровень загрязнения поверхностных водоемов минеральными веществами и повысить экологическую эффективность технологий горного производства.

Литература

1. Gorova A., Pavlychenko A., Borysovs'ka O., Krups'ka L. (2013). The development of methodology for assessment of environmental risk degree in mining regions. *Mining of Mineral Deposits*, CRC Press Taylor & Francis Group. P. 207–209.
2. Kulikova, D., Kovrov, O., Buchavy, Y., Fedotov, V. (2018). GIS-based Assessment of the Assimilative Capacity of Rivers in Dnipropetrovsk Region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. No. 27 (2). P. 274–285. URL: <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111851>.
3. Arefieva O., Nazarkina A., Gruschakova N., Skurikhina J., Kolycheva V. (2019). Impact of mine waters on chemical composition of soil in the Partizansk Coal Basin, Russia. *International Soil and Water Conservation Research*. Vol. 7. Issue 1. P. 57–63. URL: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.01.001>.
4. Jönsson J., Jönsson J., Lövgren L. (2006) Precipitation of secondary Fe(III) minerals from acid mine drainage. *Applied Geochemistry*. Vol. 21. Issue 3. P. 437–445. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.12.008>.
5. Lavryk M.O., Pavlychenko A.V., Tripachova K.V. (2015). Study of character and degree of impact of mine drainage ponds on the environment. *Mining of mineral deposits*. No. 9(4). P. 477–483. URL: <https://doi.org/10.15407/mining09.04.477>.
6. Kolesnyk V., Kulikova D., Kovrov S. (2013). In-stream settling tank for effective mine water clarification, In: *Annual Scientific-Technical Collection "Mining of Mineral Deposits"*. CRC Press / Balkema, Netherlands; Taylor & Francis Group, London, UK. P. 285–289.
7. Sivakumar M., Ramezani-pour M., O'Halloran G. (2013). Mine Water Treatment Using a Vacuum Membrane Distillation System. *APCBEE Procedia*. Vol. 5. P. 157–162. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.05.028>.
8. Thiruvengkatachari R., Su S., Cunnington M. (2020). 14-FO-RO for mining wastewater treatment. *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes Reverse and Forward Osmosis: Principles, Applications, Advances*. P. 325–336. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816777-9.00014-9>.
9. Queiroz Ladeira, A.C., Gonçalves, C.R. (2007). Influence of anionic species on uranium separation from acid mine water using strong base resins. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 148. Issue 3. P. 499–504. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.003>.
10. Основные технические решения по строительству опытно-промышленной установки химводоочистки дамбовых вод Восточного ГОКа: Проект. Арх. № 14183. Желтые Воды: Украинский научно-исследовательский проектный институт протехнологии, 2002.
11. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: Видання офіційне. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 96 с.
12. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод. Москва : Стройиздат, 1985, 335 с.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ КИСНЮ, ВОДНЮ ТА ПРОДУКТІВ ГАЗИФІКАЦІЇ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА В ТЕПЛОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

Кулик М.П.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ

m_p_kulik@ukr.net

Вугільні блоки теплових електростанцій, які є основою теплової енергетики України, характеризуються великими обсягами викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря. А ще одним із недоліків об'єднаної енергетичної системи України є нестача маневрових потужностей, у зв'язку з чим для покриття пікових навантажень використовуються вугільні блоки потужністю 150 і 200 МВт. До переліку шкідливих інгредієнтів, які містяться в димових газах, належать оксид і діоксид вуглецю, ангідриди сірки, оксиди азоту, вугільний пил і зола, а також солі важких металів. Найнебезпечнішою речовиною із вказаних вище за своєю токсичністю є оксиди азоту, їм належить і суттєва частка в екологічних платежах. Показано, що вказаних недоліків вугільних блоків можна позбутися, використовуючи комбіновані парогазові енергетичні установки, в яких робота газової частини забезпечується спалюванням твердого органічного палива, навіть вугілля низької якості. Суттєве зменшення об'єму димових газів, що викидаються в атмосферне повітря, досягається подачею на спалювання меленого вугілля газової суміші (повітря), збагаченої киснем. При цьому відпадає необхідність враховувати коефіцієнт надлишку повітря та зменшуються втрати тепла з відхідними газами. Збагачення здійснюється з використанням мембранних технологій для розділення газових сумішей, азотна фракція подається у міжкорпусний об'єм додаткової топки циклонного типу для формування робочого тіла газової генерації. Завдяки відсутності значної кількості азоту в газовому тракті котельного агрегату зменшується концентрація оксидів азоту в димових газах. Скорочення маси димових газів і концентрації деяких шкідливих компонентів призводить до зниження потужності пиловловлюючих систем і систем очищення димових газів і, відповідно, до зниження цими системами енергоспоживання. До того ж реакція утворення оксидів азоту є ендотермічною, через що підвищується температура факела та прискорюється швидкість реакції горіння, а в цьому випадку можна зменшувати габарити технологічного обладнання, або під час збереження таких габаритів збільшується їхня потужність. Газифікація вугілля, яке містить леткі компоненти, атмосферним повітрям багатим на кисень приводить до появи у продуктах газифікації водню та деяких компонентів синтез-газу. Спалювання такої газової суміші також покращує екологічну ситуацію. *Ключові слова:* парова та газова генерація, мобільність, маневровість, мембранні технології, повітря збагачене киснем, водень, газифікація вугілля, леткі компоненти, екологічні платежі.

Environmental aspects of using oxygen, hydrogen and organic fuel gasification products in thermal power of Ukraine.

Kulik M.

Coal units of thermal power plants, which are the basis of thermal power in Ukraine, are characterized by large volume emissions of harmful substances into the atmospheric air. Another drawback of Ukraine's unified power system is the lack of maneuverability that is why 150MW and 200 MW coal units are used to cover peak loads. The list of hazardous ingredients contained in flue gases includes carbon monoxide and carbon dioxide, sulfur anhydrides, nitrogen oxides, coal dust and ash, and heavy metal salts. Nitrogen oxides are the most dangerous substance of the above mentioned in toxicity and make a significant share in environmental payments. It is shown that these disadvantages of coal units can be eliminated by use of combined steam and gas power plants, where operation of the gas part is ensured by combustion of solid organic fuel, even coal of low quality. A significant reduction in the amount of flue gases released into the atmosphere is achieved by supply of oxygen-enriched gas mixture (air) to the milled coal during burning process. This eliminates the need to take into account a coefficient of excess air and reduces heat loss with flue gases. The enrichment is carried out using membrane technologies for separation of gas mixtures, nitrogen fraction is fed into the interfacial volume of an additional cyclone-type furnace for forming gas generation working fluid. Due to absence of a significant amount of nitrogen in the gas tract of the boiler unit, concentration of nitrogen oxides in flue gases is reduced. The reduction of flue gas mass and concentration of some harmful components decreases load on dust collection and flue gas purification systems, and consequently reduces power consumption of these systems. Additionally, formation of nitrogen oxides is endothermic, which increases torch temperature and accelerates combustion rate, thus it is possible to reduce dimensions of the process equipment, or increase its output with current dimensions. Gasification of coal, containing volatile components, with oxygen-rich atmospheric air, results in the appearance of hydrogen and other components of synthesis gas in gasification products. The combustion of such a gas mixture has positive effect on the environmental situation. *Key words:* Steam and gas generation, mobility, maneuverability, membrane technologies, oxygen-enriched air, hydrogen, coal gasification, volatile components, environmental payments.

Постановка проблеми. Одним із важливих елементів енергетики України є вугільні блоки, які побудовані в 60–70-х роках минулого століття, та на сьогодні більшість із них (80–90%) вичерпала свій технологіч-

ний ресурс [1–4]. Через нестачу маневрових потужностей деякі з них використовуються для покриття пікових навантажень під час споживання електроенергії. До недоліків вказаних блоків відносять досить великі

обсяги викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря. А робота вугільних блоків у непроєктних режимах ще більше погіршує екологічну ситуацію, чому сприяє також і погіршення якості кам'яного вугілля.

Необхідно враховувати і те, що часті зупинки та пуски вугільних блоків підвищують імовірність аварійних ситуацій, а використання вугілля низької якості не тільки погіршує екологічну ситуацію [5] в зоні розташування ТЕС, а й призводить до суттєвого зниження техніко-економічних показників їхньої роботи.

Для вирішення завдання ефективного покриття пікових навантажень доцільно застосовувати комбіновані парогазові енергетичні установки [6; 7]. Проте для роботи газової частини таких установок потрібне дорожче паливо. В Україні є деяка інфраструктура для газової генерації (проєктування, випуск газових турбін), але вказані енергетичні установки для отримання електричної енергії широко не використовуються. Водночас надмірна увага відновлювальним джерелам енергії не здатна вирішити згадані вище проблеми. Парогазові установки можуть працювати і на твердому органічному паливі, навіть на вугіллі низької якості. Але такі комбіновані парогазові енергетичні установки для отримання електроенергії чомусь в Україні широко не використовуються.

Актуальність дослідження та зв'язок авторського доробку з важливими науково-практичними завданнями. Метою роботи є дослідження можливості використання кисню, водню, а також продуктів газифікації кам'яного вугілля для генерації електричної енергії парогазовим методом та оцінка екологічних наслідків і перспектив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спрощений паровий цикл генерування електричної енергії складається з декількох етапів перетворення прихованої хімічної енергії викопного палива,

найчастіше з його видів використовуються кам'яне вугілля, нафта та природний газ.

Принципова блочна схема теплової електричної станції конденсаційного типу [8] наведена на рис. 1.

Алгоритм перетворення теплової енергії палива в електричну за циклом Ренкіна нараховує чотири етапи, кожен з яких має свій певний коефіцієнт корисної дії.

Під час спалювання вугілля в котельних агрегатах в атмосферу поступає величезна кількість токсичних речовин, серед яких – тверді шкідливі компоненти (зокрема, зола), а також димові гази, в яких переважають оксиди вуглецю (CO , CO_2), оксиди азоту (NO_x), сірчистий ангідрид і солі важких металів, потрапляння яких у повітря та ґрунти негативним чином впливає на довкілля.

Крім того, у вказаних газових сумішах можуть міститися продукти неповного згорання у вигляді незгорілих вуглеводнів C_x , H_y , N_z , серед яких своєю токсичністю, яка в сотні разів перевищує токсичність CO , виділяється формальдегід H_2CO .

Загальний коефіцієнт роботи електричної станції за стандартною схемою парової генерації перебуває в діапазоні 45–46%, а ефективність українських ТЕС значно нижча, в найгіршому випадку перебуває на рівні 33–35% через надмірну зношеність основного технологічного обладнання. В цьому плані вже назріла проблема переоснащення теплової енергетики України.

Газовий спосіб генерації електричної енергії реалізується в традиційних газотурбінних установках (далі – ГТУ), в склад яких входять повітряний компресор, камера згорання і газова турбіна, а також допоміжні системи, що забезпечують її роботу. Сукупність ГТУ й електричного генератора називають зазвичай газотурбінним агрегатом. Спрощена принципова схема такої ГТУ, яка показана на рис. 2, запозичена із книги 3 колективної монографії [9].

Атмосферне повітря поступає на вхід компресора, що виконаний у вигляді роторної турбомашини з обертовими та нерухомими лопатками. Відношення тиску за компресором p_b до тиску атмосферного повітря перед ним p_a називають ступенем стискування повітряного компресора і позначають як $\Pi = p_b / p_a$. Ротор компресора приводиться в рух газовою турбіною. Потік стисненого повітря подається в одну або дві і більше камер згорання. При цьому потік стисненого повітря від компресора здебільшого розділяється на два потоки. Перший потік скеровується до пальникових пристроїв, куди також поступає паливо (газове

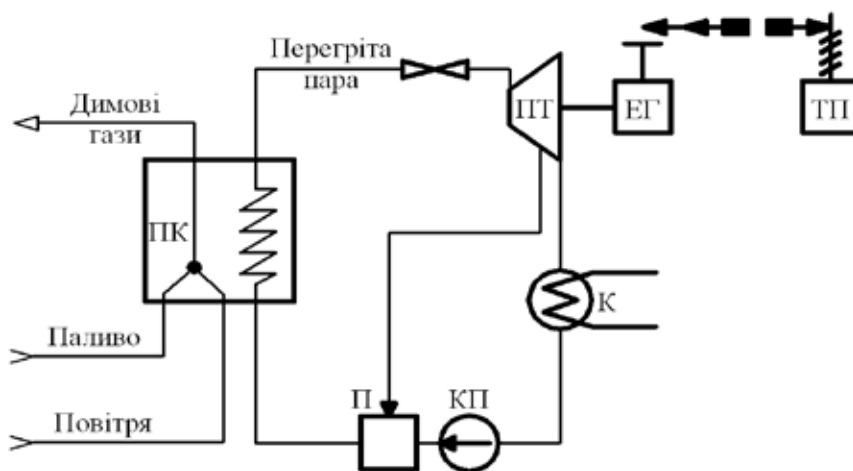


Рис. 1. Принципова блок-схема теплової електричної станції

ПТ – парова турбіна; ЕГ – електрогенератор; ПК – паровий котел;
 ТП – трансформаторна підстанція; К – конденсатор; КП – конденсатна помпа;
 П – підігрівник

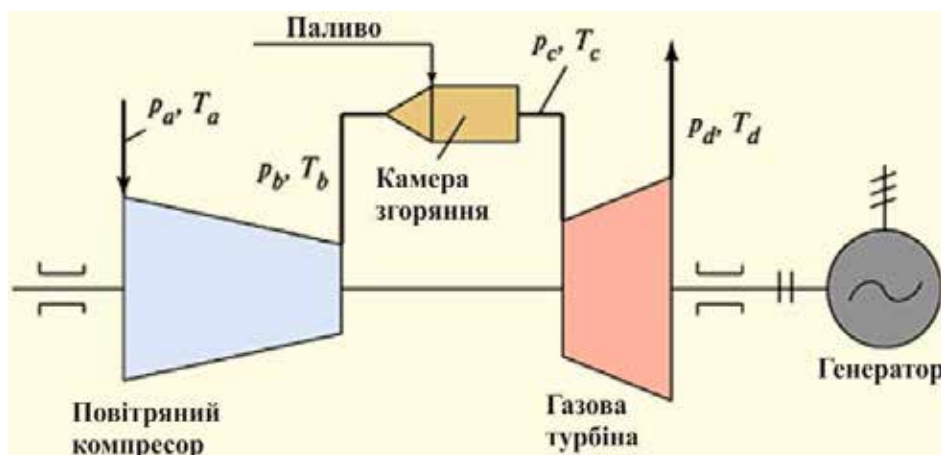
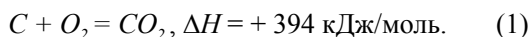


Рис. 2. Принципова схема газотурбінної установки

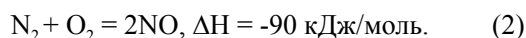
або рідке). Під час спалювання утворюються продукти згоряння високої температури, до них підмішується відносно холодне повітря для отримання робочого газу з допустимою для деталей газової турбіни температурою.

Загальний коефіцієнт корисної дії процесу виробництва електричної енергії за спрощеною схемою газової генерації [7] з використанням ГТУ є значно вищим за ефективність парового методу генерації та є у межах 55–60 %.

Для простої реакції спалювання вуглецевмісного палива, коли завжди проходить процес утворення CO_2 , теплота згорання (ΔH) є відомою:



Знак + у виразі (1) означає, що реакція горіння є екзотермічною, тобто протікає з виділенням тепла, яке надалі використовується більш-менш ефективно. Але під час згорання палива, зокрема, в котельних агрегатах ТЕС і промислових котлах завжди утворюються оксиди азоту, причому ця реакція утворення має ланцюговий механізм [10] і протікає з поглинанням теплоти, зокрема:



Із виразу (2) витікає, що надмірне утворення таких оксидів призводить до непродуктивних втрат теплоти, знижує температуру димових газів і негативно впливає не тільки на екологічні характеристики, але і на техніко-економічні показники процесу виробництва електроенергії.

Що стосується походження оксидів азоту, то широко відомі дослідники [10; 11] вважають за доцільне поділяти їх на паливні та атмосферні. Сировиною для перших є азотисті сполуки компонентів твердого або рідкого чи газоподібного палива, а для других – молекулярний азот атмосферного повітря, що подається в топку котельного агрегату для горіння. Діапазон зміни коефіцієнта надлишку повітря становить 1–1.2, причому для багатоступеневого спалювання він різний для кожного ступеня,

а для першого ступеня [12] він може бути менший від одиниці.

Усунувши із окислювача, який подається в топку котельного агрегату, хоча б частину атмосферного азоту, можна пропорційно зменшити кількість досить небезпечної шкідливої компоненти димових газів (оксидів азоту).

Сучасні технології спалювання твердого органічного палива полягають у багатоступеневому його горінні в одному котельному агрегаті та двохстадійному спалюванні палива в агрегаті з додатковою топкою (циклонним передтопком), причому на кожному ступені чи стадії використовують різне значення коефіцієнта надлишку повітря. Його реальне значення може бути дещо нижчим або вищим за значення коефіцієнта надлишку повітря, яке впливає із стехіометричного рівняння.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відповідно, організувавши багатоступеневе або двох- чи трьохстадійне спалювання твердого помеленого вугілля, суміщаючи його з підвищенням вмісту окислювача в атмосферному повітрі понад звичну ($\approx 21\%$) його частку, можна очікувати підвищення температури в зоні горіння та кількості тепла, яка передається робочому тілу за будь-якого способу генерації електричної енергії (паровий, газовий чи парогазовий). Це сприяє підвищенню ефективності процесів спалювання та зменшенню частки неповністю спаленого палива, яке подається в топку на початковій стадії технологічного процесу спалювання.

Такий перехід до «кисневого спалювання» неминуче призведе до відповідного зменшення масової витрати газової суміші, яка поступає на відповідний ступінь спалювання, та, зокрема, об'єму димових газів і концентрації деяких шкідливих інгредієнтів.

Новизна та загальнонаукове значення. Ще в кінці минулого століття автори [13; 14] запропонували для підвищення екологічності енергетичних установок використовувати мембранні технології, які тоді тільки починали стрімко розвиватися. Нині тех-

нології некріогенного виробництва кисню та азоту на місці споживання забезпечують виділення промислових газів із повітря, причому в цьому плані спостерігається технологічний прогрес [15–18]. Такі технології, зокрема мембранні, вже можуть забезпечити розділення атмосферного повітря за температур, близьких до температури довкілля. При цьому для отримання кисню та азоту використовується суттєва різниця між такими їхніми властивостями, як проникність і селективність.

Виклад основного матеріалу. Збагачення киснем атмосферного повітря (розділення) на базі мембранних технологій дає можливість не тільки інтенсифікувати процес спалювання, а також формувати робоче тіло для газової генерації на основі азотної фракції. Крім того, збагачене киснем повітря сприятиме покращенню техніко-екологічних показників технологічного процесу газифікації органічного палива.

Паралельне з'єднання в комбінованій енергетичній установці парової та газової генерації електроенергії, особливо тоді, коли газова її частина також працює на твердому паливі, забезпечує підвищення загального коефіцієнта корисної дії, розширює діапазон зміни потужності (поліпшує маневрові характеристики), а також дає змогу швидко набирати та скидати потужність енергоблока. Остання властивість характеризується високою мобільністю, тобто енергетична установка не матиме різких змін графіку зміни потужності, а в результаті усталеної роботи котельного агрегату не буде продукуватися надмірна кількість шкідливих речовин.

Передумова новітнього підходу в плані використання вугілля полягає в такому. Переважна більшість вихідного палива – кам'яного вугілля – належить до категорії енергетичного, в якій горюча маса від 30% до 50% складається із летких речовин. За часткової газифікації такого палива утворюються суміш горючих газів, збагачена воднем, а в твердому залишку залишаються вуглець і зола. У такій

ситуації стає очевидним таке рішення, що для отримання теплової енергії необхідно спалювати газову компоненту, а вуглецевий залишок разом із золою необхідно виводити з енергетичного циклу для використання в інших галузях промисловості. Завдяки такій новітній технології без значних інвестицій емісія CO_2 скорочується щонайменше на третину.

Найважливішим фактором, який визначає ефективність застосування поліпшеного окислювача – збагаченого киснем атмосферного повітря, є виключення частки атмосферного азоту з участі в процесі спалювання органічного палива. Таке часткове виключення атмосферного азоту знижує концентрацію утворюваних оксидів азоту, реакція яких, будучи ендотермічною, підвищує температуру факела та температуру газів згорання, а значить – і коефіцієнт корисної дії процесу спалювання.

Зменшення об'єму відхідних газів із врахуванням зниження концентрації утворюваних оксидів азоту взаємно посилюються у величині валових викидів, оскільки такі показники перемножуються.

Головні висновки. Застосовуючи в теплової енергетиці сучасні технології спалювання «чорного» вугілля з використанням поліпшеного окислювача, можна досягти декілька позитивних моментів, як і в плані покращення термодинамічних характеристик ключового процесу в генерації електричної енергії паровим методом. Поєднуючи його з використанням баластного атмосферного азоту як робочого тіла газової генерації, в комбінованій парогазовій енергетичній установці вирішується проблема мобільності та маневровості. А на додачу суттєво покращується екологічність основних об'єктів теплової енергетики.

У перспективі, проводячи газифікацію органічного палива, а особливо кам'яного вугілля низької якості, в середовищі атмосферного повітря, збагаченого киснем, отримуємо газову суміш із відносно високою теплотворною здатністю.

Література

1. Теплова енергетика. Нові виклики часу. / за заг. ред. П. Омеляновського та Й. Мисака. Львів : НВФ «Українські технології», 2009. 659 с.
2. Проблемы развития и модернизации тепловой энергетики Украины / Стогний Б.С., Мацевитый Ю.М., Майстренко А.Ю. // *Проблеми розвитку енергетики. Погляд громадськості*. Київ, 2010. № 7. С. 90–95.
3. Запорожець Ю.М. Теплові електростанції України перед дилемою: або закриття або інтенсивне відновлення. *Наукові праці. Техногенна безпека*. Вип. 198. Т. 210. 2013. С. 31–36.
4. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України / Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Гапонич Л.С. / Київ : «Гнозіс», 2013. 308 с.
5. Екологічні проблеми енергетики. / Є.І. Крижанівський, Г.В. Кошлак // *Нафтогазова енергетика*. 2016. № 1 (25). С. 80–90.
6. Ковецкий В.М., Ковецкая Ю.Ю. Газотурбинные двигатели в энергетике: достижения, особенности, возможности. *Проблеми загальної енергетики*. 2008. № 17. С. 24–30.
7. Патон Б.С., Долинський А.А., Халатов А.А. і ін. Перспективи розвитку вітчизняної парогазової технології. *Вісник НАН України (Київ)*. 2009. № 4. С. 61–69.
8. Андрущенко А.И. Основы термодинамических циклов теплоэнергетических установок. Москва : Высшая школа, 1985. 319 с.
9. Энергетика. История, настоящее и будущее. От огня и воды к электричеству. / Бондаренко В.И., Варламов Г.Б., Вольчин И.А., Карп И.Н., Сигал И.Я. // Научное редактирование Карп И.Н., Ландау Ю.Н. Сигал И.Я. Киев : ООО «Новый друк», 2011. Кн. 3. 263 с.
10. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Ленинград : Недра, 1988. 311 с.

11. Образование двуокиси азота при рассеивании дымовых газов. / И.Я. Сигал, Н.А. Гуревич, Э.П. Домбровская // *Теплоэнергетика*. 1980. № 11. С. 6–8.
12. Об'єкти теплових електричних станцій. Режими роботи та експлуатації. / Й.С. Мисак, Я.Ф. Івасик, П.О. Гут, Н.М. Лашковська // Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2007. 254 с.
13. Перспективы создания экологически чистых электростанций / Д.Н. Гринченко, М.П. Кулик / Тезисы докладов Республиканской н/т конференции «Проблемы и опыт охраны окружающей среды», г. Днепропетровск, 14–16 ноября 1990 г. С. 67.
14. Применение мембранных разделителей воздуха для повышения экологичности энергетических установок / Д.Н. Гринченко, М.П. Кулик / *Тезисы докладов н/т конференции «Современные химические технологии очистки воздушной среды»*. Сентябрь, 1992 г. Саратов. С. 94.
15. Енергоефективні і чисті технології в промисловості. / В.І. Кириченко, В.К. Осокіна, Б.Д. Рісюк, О.Г. Голубов, І.М. Новіков. / *Хімічна промисловість України*. 2009. № 5. С. 22–29.
16. Мембранні технології в хімічній і споріднених галузях промисловості. Перспективи розвитку і впровадження у виробництво. / В.І. Кириченко, В.К. Осокіна, Б.Д. Рісюк, О.Г. Голубов, І.М. Новіков. / *Хімічна промисловість України*. 2010. № 1. С. 31–37.
17. Кириченко В.І. Неокріогенні технології виробництва. 1. Розділення повітря у виробництві азоту на місці споживання. / В.І. Кириченко, В.К. Осокіна, Б.Д. Рісюк, О.Г. Голубов, І.М. Новіков. / *Хімічна промисловість України*. 2008. № 5. С. 50–58.
18. Кириченко В.І. Неокріогенні технології виробництва. 2. Мембранні технології виробництва кисню і перспективи їх розвитку. / В.І. Кириченко, В.К. Осокіна, Б.Д. Рісюк, О.Г. Голубов, І.М. Новіков. / *Хімічна промисловість України*. 2008. № 6. С. 58–68.

ПРОГНОЗУВАННЯ СТУПЕНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМ ПОКАЗНИКОМ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ

Луцьова О.В.

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

У статті охарактеризовано загальну ресурсоемність функціонування техноекосистеми, запропоновано методика вибору природоохоронних технологій за інтегральним показником екологічного впливу та алгоритм виконання розрахунку інтегрального екологічного впливу. Екологічна оцінка природоохоронних заходів здійснюється приведенням показників впливу на основні компоненти природного середовища до єдиного інтегрального показника екологічного впливу. Природоохоронні технології потребують використання матеріальних, енергетичних, природних та трудових ресурсів, для отримання яких є свої техногенні впливи. Проаналізовано стан довкілля в Донецькій та Луганській областях. Виявлено, що військові дії призвели до колосального руйнування промислових підприємств та інфраструктури в більшості міст Донецької та Луганської області: затоплені шахти, зруйновані виробничі потужності промислових підприємств, порушені водо-каналізаційні мережі, очисні споруди, тепло- і електростанції. Об'єктом дослідження є процеси функціонування техноекосистем промислових комплексів вуглевидобувних підприємств. Інтегральний показник екологічного впливу враховує як прями екологічні впливи, які мають місце безпосередньо під час виготовлення одиниці продукції, так і опосередковані, які існують під час виготовлення засобів праці (устаткування, будівель, споруд, транспортних пристроїв), що амортизуються, а також задіяних у соціальній сфері на основному виробництві та в інших галузях промисловості, що обслуговують це виробництво. Об'єктом впливу під час отримання будь-якого речовинного або енергетичного ресурсу є природне середовище. В результаті вилучення з природного середовища будь-якого виду ресурсу порушується різною мірою ґрунт, підземні або поверхневі води, атмосфера, біота, літосфера. Виконання розрахунків за запропонованою методикою дозволяє визначити та звести впливи на окремі компоненти до єдиного показника впливу на навколишнє середовище. Чисельні значення інтегральних показників екологічного впливу корелюють зі ступенем їх важливості чи іншого заходу для стабілізації довкілля. Реалізація наведеної методики дозволяє вирішувати проблеми регіонального природокористування. З її допомогою можна розробити рейтинговий ряд підприємств з позиції доцільності їх функціонування та регіональних інтересів. *Ключові слова:* інтегральний показник, природоохоронні технології, гірничодобувна техноекосистема, компоненти техноекосистеми.

The forecasting of the environmental safety based on the integral indicator of ecological impact. Lunova O.

The study involves a general description of resource intensity of techno-ecosystems. The author also offers an algorithm enabling to calculate the cumulative environmental impact and a new approach allowing selecting a suitable conservation technology based on it. The environmental assessment is made by bringing all the indicators in common cumulative indicator of environmental impact. The conservation technologies demand to use material, energy, environmental resources and labor forces, which in order to be obtained require their own techno influences. In the research, the author made an analysis of environmental state of Donetsk and Lahansk regions. It was found that the military actions led to enormous destruction of industrial facilities and civilian infrastructure: the mines are flooded, lots of producing capabilities of industrial facilities are destroyed, and the sewer networks, treatment facilities and heat and power plants are broken. In this paper, the research subject is functioning processes of industrial techno-ecosystems used at coal mining enterprises. The commutative indicator of environmental impact takes into consideration either direct ecological influences or indirect ones, which occur during the tools producing process (equipment, buildings, engineering constructions, vehicles), which are depreciated. The indicator also encompasses the tools applied in social area, at main production and at subsidiary industries areas. During the process of either material or energetic resources obtaining, the environmental is considered as an impact object. As a result, while any natural resource is extracting from the environment the soil, ground and surface water, atmosphere, biota, lithosphere are destroyed. Using the proposed calculation scheme allows to define the influences and to obtain the cumulative indicator defining the common environmental impact. The numeral values of cumulative indicators correlate with their priorities. The implementation of the proposed method enables solving the problem if regional environmental management. Using it one can develop a list of enterprises in terms of usefulness of their production and regional interests. *Key words:* integral index, environmental technologies, mining techno-ecosystem, components of techno-ecosystems.

Постановка проблеми. Одним із дієвих механізмів оптимізації техноекосистеми є регулювання техногенного впливу на її природні компоненти, яке здійснюється за рахунок упровадження природоохоронних технологій. Під природоохоронними технологіями захисту навколишнього природного середовища розуміють комплекс технологічних, технічних і організаційних заходів, спрямованих на зниження чи повне виключення антропогенного забруднення біосфери.

Основа економіки Донецької та Луганської області становлять насамперед важкі галузі промисловості – гірничодобувна (зокрема вугільна), металургійна, хімічна, машинобудівна.

На території Донецької та Луганської області видобувається близько 90% всього вугілля, видобутого в Україні. Крім того, випускається близько 20–25% металопродукції, яка вироблена в країні, в тому числі труби, листовий і профільний прокат.

Найбільші хімічні комбінати Горлівки, Лисичанська, Донецька були основою хімічної промисловості України. У регіоні розташована велика кількість підприємств військово-промислового комплексу. Висока концентрація важких галузей промисловості зумовила критичну екологічну ситуацію в містах регіону і на території загалом, ще до початку в цьому регіоні військових дій. Сумарний викид забруднюючих речовин в атмосферу перевищує 2000 тис. тонн/рік (Донецька – 1 559,9 тис. тонн, найбільший показник серед усіх областей, Луганська – 472,1 тис. тонн), а сумарне скидання тільки забруднених стічних вод у поверхневі водойми перевищує 66,0 млн м³/рік.

На території Донецької та Луганської області зберігаються відходи сфер виробництва, що віднесені до різних класів небезпеки. Відходи, залежно від фізичних, хімічних і біологічних характеристик, поділяються на чотири класи небезпеки: I-й клас – речовини (відходи) надзвичайно небезпечні; II-й клас – речовини (відходи) високо небезпечні; III-й клас – речовини (відходи) помірно небезпечні; IV-й клас – речовини (відходи) малонебезпечні.

Істотних негативних змін зазнав і ландшафт Донецької та Луганської області, у зв'язку з численними териконами, хвостосховищами відходів збагачення і накопичувачами небезпечних відходів, просіданням поверхні над гірничими виробками, техногенними ярами, утвореними скиданням шахтних вод (безпосередньо на рельєф), явищами підтоплення та зсувами. За офіційними статистичними даними площа задіяних земель у технологічних процесах становить близько 160 тис. га, але за оцінками фахівців вона в рази більша.

Безумовно, військові дії призвели до колосального руйнування промислових підприємств та інфраструктури в більшості міст Донецької та Луганської області: затоплені шахти; зруйновані виробничі потужності промислових підприємств; загрози руйнування піддаються і дамби хвостосховищ накопичувачів промислових відходів; порушені водо-каналізаційні мережі, очисні споруди, тепло- і електростанції.

В економіко-географічному відношенні виділяються чотири основні групи промислових вузлів та промислової агломерації:

– найбільші полігалузеві вузли, що сформувалися історично – Луганський, Маріупольський, Горлівсько-Єнакієвський;

– великі нові моногалузеві вузли – Лисичансько-Рубіжанський, Краматорсько-Слов'янський, Стаханово-Алчевський, Торезо-Сніжнянський, Краснодонський;

– моногалузеві вузли, формування яких продовжується, Краснолиманський, Краснолуцько-Антрацитовий, Свердловсько-Ровеньківський;

– Донецько-Макіївська промислова агломерація.

Актуальність дослідження. Природоохоронні технології потребують використання матеріальних, енергетичних, природних та трудових ресур-

сів, які спричиняють техногенні впливи на довкілля. Можливо, що виробництво цих ресурсів може перевищувати впливи, які ліквідуються за рахунок упровадження природоохоронних технологій. Але це питання не є однозначним і потребує глибшого дослідження. Параметри і показники цих впливів слід розрізняти за ступенем їх інерційності, консервативності, можна уточнювати, виправляти або змінювати в процесі експлуатації шахти. Отже, визначати ступінь обґрунтування будь-якого параметра, рівень ризику під час прийняття рішення та ставлення до ризику [1].

Охорона надр і раціональне використання ресурсів. Охорона надр – комплекс технічних і правових заходів, здійснюваних з метою найповнішого (комплексного) видобування корисних копалин з надр і максимально можливого, економічно доцільного зменшення втрат. Охорона надр здійснюється на всіх стадіях розвідки і промислового освоєння родовища корисних копалин: під час геологорозвідувальних робіт, у період проектування, будівництва, експлуатації та ліквідації гірничовидобувних підприємств і списання забалансових запасів. Конкретні організаційно-технічні заходи повинні визначатися на стадії складання проекту на розробку родовища.

Гірничовидобувні підприємства зобов'язані в процесі гірничо-будівельних і гірничоексплуатаційних робіт здійснювати попереджувальні заходи, що забезпечують збереження земної поверхні та розташованих на ній водойм, лісів та інших природних об'єктів від шкідливого впливу робіт. Сутність раціонального використання природних ресурсів слід оцінювати і розглядати з позицій максимального задоволення потреб у паливі та сировині з урахуванням мінімального ризику і найбільш повного використання всіх компонентів корисної копалини за оптимального співвідношення витрат і отриманого результату без нанесення шкоди довкіллю.

Охорона та рекультивация земної поверхні. Сучасний розвиток і вдосконалення вугільної промисловості неминуче викликають порушення земельних ресурсів, їх зневоднення й забруднення.

Про масштаби негативного впливу підприємств вугільної промисловості на земельні ресурси свідчать такі дані: сьогодні видобуток підземним способом 1 тис. т вугілля супроводжується вилученням 200–400 т породи, а на окремих шахтах Донбасу – понад 80 т, у разі відкритої розробки – понад 4–5 тис. т. Внаслідок цього на поверхні землі утворюються скупчення невикористовуваних гірських порід у вигляді відвалів, більшість яких абсолютно несприятливі для росту і розвитку рослин через високу кислотність і надмірний вміст солей, вільних металів і сірки. Породні відвали докорінно видозмінюють і перетворюють навколишній природний ландшафт на значних територіях.

Будь-які види зрушень підроблених масивів гірських порід порушують навколишнє середовище, поверхню та гідрогеологію підземних вод, склад

і структуру ґрунтів, спричиняють підтоплення, зсуви, обвали, деформацію будівель і споруд, провали земельних масивів тощо. Досвід країн з розвинутою вугледобувною промисловістю свідчить, що під час оцінки наслідків гірничовидобувних робіт акцентувати увагу слід на характері та інтенсивності пошкодження землі.

Вугільні шахти Донбасу – одні з найбільш значних джерел впливу на сході України. Порівняно з ситуацією наприкінці 2014 р. стан шахт значно змінився (табл. 1).

Охорона повітряного басейну. Єдиним критерієм оцінки забруднень атмосфери є гранично допустимі концентрації речовин зовнішнього середовища, а основною фізичною характеристикою домішок атмосфери – їх концентрація (кількість речовини в одиниці об’єму повітря за нормальних умов, зазвичай в мг/м³).

Атмосферні перетворення та взаємодії забруднювачів, а також процеси розбавлення, осідання, адсорбції й абсорбції не запобігають накопиченню в земній атмосфері шкідливих речовин, вплив яких поширюється на великі території. Це викликає необхідність ретельного і дієвого контролю ступеня забруднення повітря для збереження чистоти атмосфери. Зазвичай атмосфера забруднюється газами CH₄, NO₂, CO, CO₂, SO₂, H₂S, пилом і сажею [2].

Джерелами забруднення атмосфери шкідливими газами і пилом у вугільній промисловості є шахтні стволи, вибої розрізів, поверхневі комплекси шахт і розрізів, породні відвали, вугільні склади, сортувально-дробильні та збагачувальні фабрики, кар’єрні дороги, промислові ТЕЦ і комунально-побутові котельні тощо.

Охорона та раціональне використання водних ресурсів. Загальне навантаження на водні ресурси

Таблиця 1

Стан вугільних шахт на сході України

	Січень 2014 р.	Листопад 2017 р. **	Листопад 2018 р. **	Листопад 2019 р. **
Шахти, які експлуатуються	150	104 (29/75)	99 (24/75)	97 (22/75)
У водовідливному режимі	14	17 (1/16)	14 (2/12)	14 (2/12)
В процесі затоплення	36	36 (1/35)	39 (1/38)	39 (1/38)
На стадії ліквідації	100	70 (6/64)	70 (6/64)	70 (6/64)
Зняті з обліку у зв’язку із завершенням ліквідаційних робіт	0	0	5/0	2/0
Всього	227	227 (37/190)	222 (33/189)	220 (31/189)

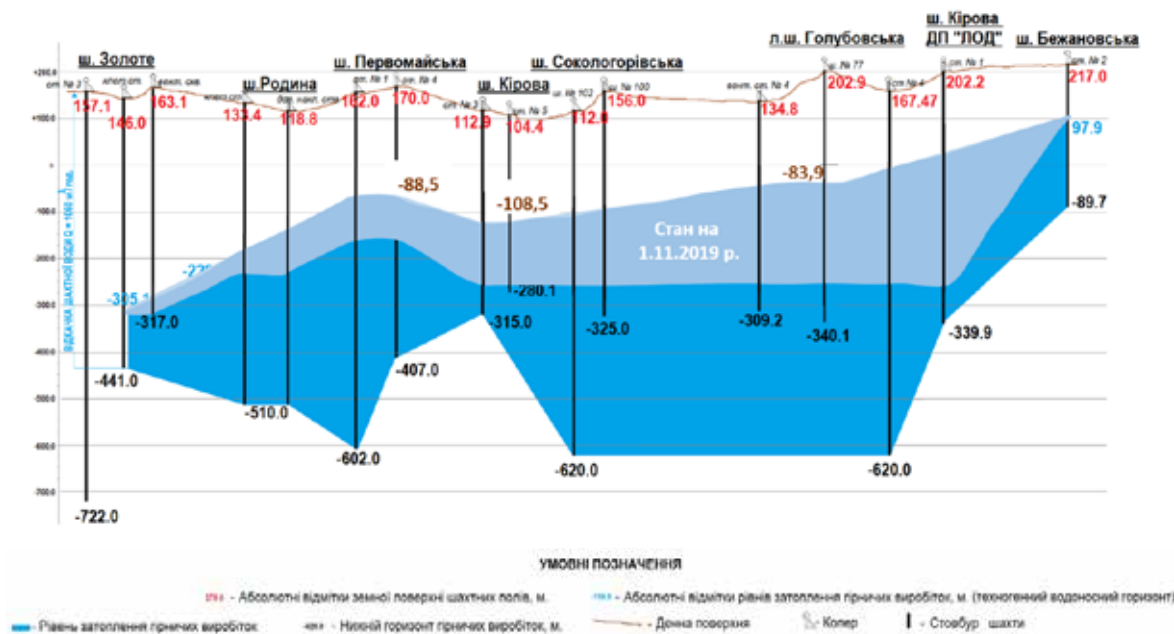


Рис. 1. Рівень затоплення вугледобувних підприємств Луганської області станом на 01.11.2019

останнім часом різко зростає. Процес вичерпання та забруднення поширюється і на підземні води. Інтенсивний забір води протягом останніх десятиліть призвів до того, що на окремих водних територіях рівень ґрунтових та підземних вод знизився більш ніж на 200 м і продовжує знижуватися. У результаті виникла серйозна проблема осідання ґрунту і провалів [3].

Вугільні підприємства споживають для власних потреб порівняно невелику кількість води, але значно впливають на стан поверхневих і підземних вод. Безпосередньо шахтні та кар'єрні води формуються за рахунок ґрунтових, тріщинних і карстових підземних вод, а також дренуючих вод з гідрографічної мережі, інфільтрації атмосферних опадів та технологічних вод основного виробництва. До стічних вод вугледобувного виробництва належать води поверхневого і промислового стоку. Вугільні підприємства можуть забруднювати водойми також відпрацьованими промисловими водами та звичайними каналізаційними стоками. На першій стадії здійснюється механічне очищення, яке призначене для видалення суспензій і дисперсно-колоїдних частинок. Подальше очищення від хімічних речовин здійснюється фізико-хімічними (флотажія, абсорбція, іонообмін, дистиляція, зворотний осмос та ультрафільтрація й інші), хімічними (реагентне очищення), електрохімічними та біологічними методами. Відходи видобутку і збагачення вугілля є небезпечними джерелами забруднення водних ресурсів. Водні й агрохімічні властивості ґрунтів у зоні, прилеглий до відвалів, на відстані 80–130 м від його основи мають тенденцію до погіршення. Зростає мінералізація вод, збільшується вміст заліза й алюмінію.

Альтернативний підхід до вирішення цієї проблеми запропоновано автором [4]. Ґрунтові води в зоні впливу відвалів шахт відрізняються підвищеним вмістом заліза, сульфатів, алюмінію, а також великими значеннями загальної жорсткості. Шахтний водовідлив порушує динаміку підземних вод.

Відкачування вод із шахт і розрізів змінює гідрогеологічний режим цілих районів: на прилеглих територіях зникають водні джерела, пересихають колодязі, повністю осушуються водоносні горизонти. Це вимагає спеціальних методів їх охорони під час розробки родовищ.

Як приклад наведено стан діючої шахти «Золоте» та шахт «Первомайська» і «Голубівська», гідрогеологічно пов'язаних між собою, на яких припинено відкачування шахтних вод. При цьому шахтні води перетікають з шахт «Голубівська», «Первомайська» через виробки шахти «Родіна» на «Золоте», а далі на шахти «Карбоніт» та «Гірська».

Як видно з рис. 1., протягом останніх двох років з 1.11.2017–1.11.2019 рр. абсолютна відмітка затоплення гірничих виробок зросла до: ш. Первомайська – 88,5; ш. Кірова – 108,5; ш. Голубівська – 83,9.

Затоплення гірничих виробок шахти «Золоте» і, як наслідок, припинення відкачування шахтних вод з шахт, що гідрогеологічно пов'язані з нею, може призвести до таких негативних техногенно-екологічних наслідків:

- скиду високомінералізованих забруднених шахтних вод у водоймища і маленькі річки, при цьому вийдуть з ладу колодці індивідуального водокористування та великі водозабори, які забезпечують питною водою весь Первомайсько-Стаханівський регіон;
- зміни фізико-механічних властивостей вміщуючих гірських порід та виникаючі при цьому додаткові їх зрушення, і, як наслідок, утворення на поверхні провалів над пустотами у підземному просторі;
- обрушення гирл стволів, гірничих виробок, що мають вихід на поверхню, та прилеглої земної поверхні, у зв'язку з її просадкою, порушенням гирл гірничих виробок, з можливим підтопленням;
- виникнення неконтрольованого виходу шахтних газів, зокрема метану, на поверхню в районах затоплення гірничих виробок закритих шахт;
- порушення нормального функціонування шахтарських міст і селищ, які на момент закриття шахт були неодноразово підроблені гірничими виробками;
- активізація процесів деформації породи у зв'язку з їх розмоканням, у разі затоплення шахт, що може викликати додаткові пошкодження будівель і споруд.

Виклад основного матеріалу. Сконструємо систему в натуральних ресурсних показниках шляхом укрупнення класифікації ресурсів для використання їх під час розрахунку наскрізної ресурсоємності: сировина, основні і допоміжні матеріали, паливо, енергія усіх видів, амортизація основних фондів, трудові ресурси, інші витрати ресурсів. Структура витрат ресурсів належить до техногенної компоненти природно-техногенної системи будь-якого гірничодобувного підприємства. Витрати природних ресурсів під час функціонування цієї системи включають відчуження земель на розміщення виробничих та інших об'єктів, знищення земель у вироблених просторах кар'єрів, зонах провалів шахт, використання земель за їх прямим призначенням у зонах рекреації і комунального господарства, знищення або ушкодження підземних гідрогеологічних систем, поверхневих систем, порушення цілісності літосфери, порушення біоценозів. Такі витрати природних ресурсів мають місце під час виробництва основних і допоміжних матеріалів, палива, енергії, а також будівельних матеріалів на спорудження будівель, металу на створення машин і устаткування тощо. З урахуванням наведених позицій, можна відтворити процес ресурсоспоживання під час функціонування гірничодобувного підприємства, який характеризуватиметься повною ресурсоємністю [5–12] (рис. 2).

Показник ефективності (ресурсоємність) враховує як ресурси, використовувані безпосередньо під час виготовлення одиниці продукції, так і частину

ресурсів, задіяних на виготовлення засобів праці (устаткування, будівель, споруд, транспортних пристроїв), які амортизуються, а також задіяних у соціальній сфері на основному виробництві та в інших галузях промисловості, що обслуговують це виробництво. Проте джерелом будь-якого речового або енергетичного ресурсу є природне середовище – екотоп. У результаті вилучення з природного середовища будь-якого виду ресурсу різною мірою порушуються ґрунт, підземні або поверхневі води, атмосфера, біота, літосфера.

Отже, критерієм оцінки ефективності господарської діяльності людини може бути наскрізна повна ресурсоемність конкретного виду діяльності, яка приведена до природних ресурсів або, точніше, до антропо-екологічних ресурсів. Скорочено наведений термін нами позначається як «інтегральна екологічна

ресурсоемність», що враховує витрати ресурсів як прямі, так і опосередковані (у вигляді устаткування, будівель і споруд, соціальної інфраструктури).

Встановленню інтегральної екологічної ресурсоемності передують перелік задіяних у процесі технологічного освоєння природних ресурсів, які класифікуються за характером використання (відчужувані, ушкоджені, знищені) і за типом компоненти природного середовища (землі, підземні і поверхневі води, атмосферне повітря, біотичні системи, людські ресурси). Тобто задіяні в процесі освоєння природні ресурси можна представляти у вигляді матриці, побудованої за одним показником, – інтегральним показником впливу.

Таке приведення здійснюється на основі науково обґрунтованого методологічного принципу, що базується на глибокому аналізі природного середовища

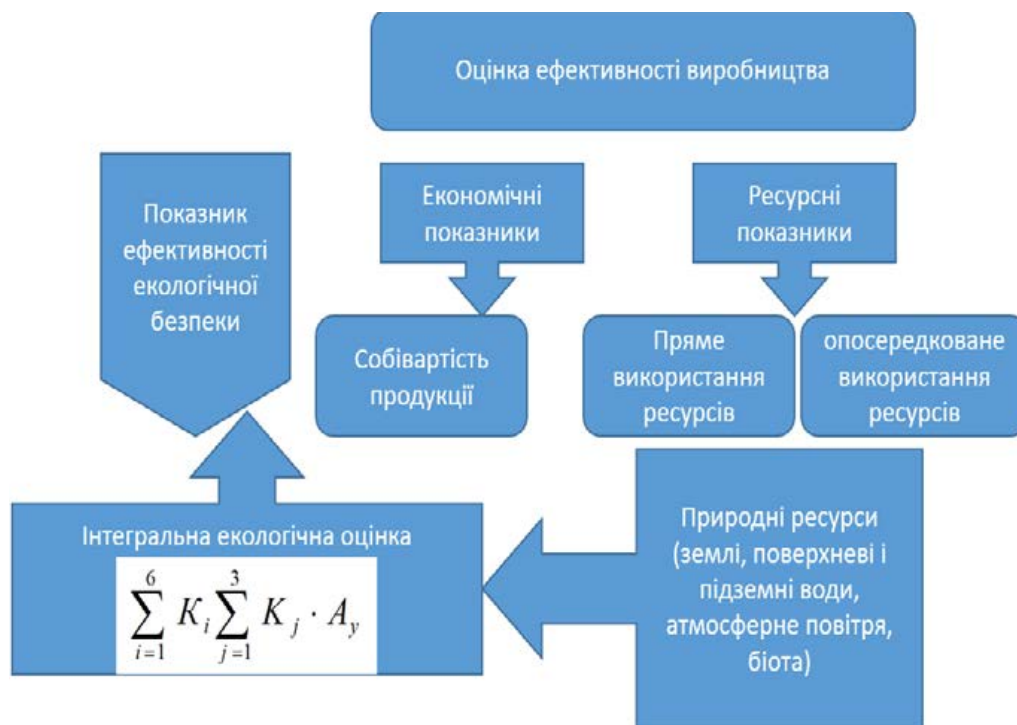


Рис. 2. Схема екологічної оцінки ефективності промислових технологій

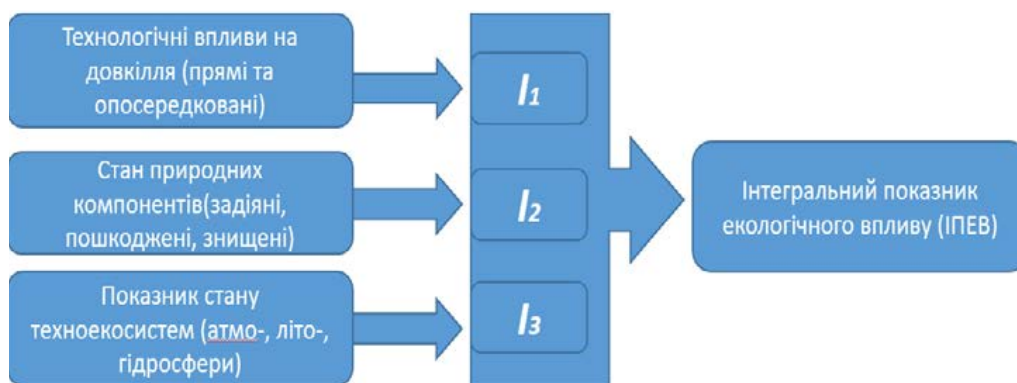


Рис. 3. Схема розрахунку інтегрального показника екологічного впливу

території. У процесі технологічної діяльності певним чином деформується природне регіональне середовище, змінюються способи його функціонування, перебудовуються внутрішні зв'язки. Ці перебудови не повинні порушувати здатність природних систем території до їх стійкого існування. Роль кожної з компонент природного середовища в забезпеченні її стійкості різна. Методологічною основою встановлення «ваги» природних компонент прийнято метод, що синтезує два способи оцінки: експертної оцінки і математичного моделювання.

Під час реалізації задачі екологічної оцінки функціонування промислових підприємств доцільно перейти від урахування обсягів споживання ресурсів природного середовища до визначення розміру впливів виробництва на компоненти природного середовища, що є носіями цих ресурсів.

Принципи визначення кількісних параметрів впливу на природні системи наведено на рис. 3.

Наведена на рис. 3 структура технологічних впливів належить до техногенної компоненти природно-техногенної системи, яким є будь-яке промислове підприємство. Технологічні впливи характеризують використання природних ресурсів під час функціонування цієї системи, включають відчуження земель не за їх природним призначенням, а на розміщення виробничих та інших об'єктів, фіксують знищення земель у вироблених просторах кар'єрів, зонах провалів шахт, використання земель за їх прямим призначенням у зонах рекреації і комунальному господарстві, знищення або ушкодження підземних гідрогеологічних систем, поверхневих систем, порушення цілісності літосфери, порушення біоценозів. Таке використання природних ресурсів має також місце під час виробництва основних і допоміжних матеріалів, палива, енергії, а також будівельних матеріалів на спорудження будівель, використання металу на створення машин і устаткування тощо. Отже, за схемою можна відтворити процес технологічного впливу на природне середовище під час функціонування гірничодобувного підприємства, який характеризуватиметься інтегральним показником екологічного впливу (ШЕВ).

Методика розрахунку інтегрального показника екологічного впливу технологій на довкілля. Інтегральний показник екологічного впливу враховує як прямі екологічні впливи, які мають місце безпосередньо під час виготовлення одиниці продукції, так і опосередковані впливи, які існують під час виготовлення засобів праці (устаткування, будівель, споруд, транспортних пристроїв), що амортизуються, а також задіяних у соціальній сфері на основному виробництві та інших галузях промисловості, обслуговуючих це виробництво.

Об'єктом впливу під час отримання речовинного або енергетичного ресурсу є природне середовище. В результаті вилучення з природного середовища будь-якого виду ресурсу порушується різною мірою

грунт, підземні або поверхневі води, атмосфера, біота, літосфера. У зв'язку з цим критерієм ефективності природоохоронного заходу є показник інтегрального впливу на довкілля, що враховує як прямі, так і опосередковані впливи (рис. 2).

Під час встановлення інтегрального екологічного впливу у процесі технологічного освоєння природних ресурсів їх необхідно класифікувати за характером використання – відчужувані, ушкоджені, знищені.

Принципи визначення коефіцієнтів приведення.

За показник ШЕВ на компоненти навколишнього природного середовища було прийнято:

для земельних ресурсів – техногенний вплив, за якого природний ресурс повністю вилучається з використання;

для водних ресурсів – відкачування та скиди вод високої мінералізації;

для атмосферного повітря – викиди з високою концентрацією забруднюючих речовин.

За початковий показник відліку прийнято значення фонових показників (ГДК, ПДВ, ПДС), які відповідають прийнятним екологічним нормам.

Коефіцієнти інтегрального впливу визначені за формулами:

$$K^A = \frac{B_A}{B_A}, K^Z = \frac{B_Z}{B_A}, K^W = \frac{B_W}{B_A}, \quad (1)$$

де $K_{(Z,W,A)}$ – коефіцієнти ШЕВ; $B_{(Z,W,A)}$ – витрати на реабілітацію та очищення земельних, водних ресурсів та атмосферного повітря.

Методологія комплексної оцінки вимагає застосування єдиного підходу під час зведення компонентів з різним станом порушення природної компоненти.

Алгоритм виконання розрахунку інтегрального екологічного впливу. Виконання екологічної оцінки природоохоронних заходів здійснюється приведенням показників впливу на основні компоненти природного середовища до єдиного інтегрального показника екологічного впливу (ШЕВ).

Алгоритм інтегрального оцінювання природоохоронного заходу складається з наступних кроків:

1. Аналіз заходу.
2. Комплексна оцінка прямих впливів на компоненти довкілля.

Встановлення величини зменшення викидів в атмосферу за інгредієнтами через коефіцієнт приведення для конкретних обсягів викидів:

- пил;
- оксид вуглецю – CO;
- оксиди азоту – NO_x;
- діоксид сірки – SO₂.

Переведення прямих викидів (NO_x, SO₂ та пилу) до СО-еквіваленту через коефіцієнт здійснюється за формулами:

$$A_{CO-екв.} = A_{NO_x} \times K_{np.}^{NO_x} + A_{SO_2} \times K_{np.}^{SO_2} + A_{пил} \times K_{np.}^{пил} + A^{CO} \times 1; \quad (2)$$

$$K_{np.}^{NO_x} = \left(\frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{NO_x}} \right); K_{np.}^{SO_2} = \left(\frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{SO_2}} \right); K_{np.}^{пил} = \left(\frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{пил}} \right). \quad (3)$$

3. Визначення опосередкованих впливів.

4. Розрахунок параметрів опосередкованого впливу за компонентами.

5. Приведення параметрів прямого впливу до інтегрального показника екологічного впливу (ШПЕВ).

6. Приведення параметрів опосередкованого впливу до інтегрального показника екологічного впливу (ШПЕВ).

Отже, виконання розрахунків за запропонованою методикою дозволяє визначити та звести впливи на окремі компоненти до єдиного показника впливу на навколишнє середовище. Чисельні значення інтегральних показників екологічного впливу (ШПЕВ) корелюють зі ступенем їх важливості чи іншого заходу для стабілізації довкілля.

Як приклад, у роботі наведено розрахунок для промислових комплексів вуглевидобувних підприємств Мінекоенерго. Припустимо, що деякий промисловий комплекс вуглевидобувного підприємства (ПКВП) функціонує в гармонії з НПС. Це означає, що його викиди ніяк не псують атмосферне повітря: його скиди перебувають у межах рибогосподарських нормативів, землі перебувають у стані, який відповідає дотехногенним параметрам, а його діяльність дає робочі місця та наповнює бюджети. Таке ПКВП можна вважати екологічно чистим.

Під час оцінки будь-якого іншого конкретного ПКВП чи іншого підприємства необхідно визначити умовну «відстань», яка його відділяє від екологічно чистого. За міру такої «відстані» приймаємо величину вартісних витрат, які необхідно було б понести цьому підприємству на природоохоронні заходи для досягнення такого ж екологічно безпечного стану.

На основі аналізу статистичних даних та експертних оцінок приймаємо величини вартісних витрат, які необхідно понести при здійсненні повної реабілітації ПКВП, та обґрунтовано визначити коефіцієнти приведення компонентів довкілля до ШПЕВ.

Так, витрати для повного очищення викидів в атмосферу становлять 15 ум. од./т ($B_A=15$ ум.од./т), витрати для повного очищення скидів в гідросферу та їх доведення до рибогосподарської якості – 255 ум.од./тис. м³ ($B_W=255$ ум.од./м³), для реабілітації одного гектара знищених і непридатних до використання земель літосфери необхідно витратити близько 75 тис. умовних вартісних одиниць ($B_Z=75$ ум.од./га).

Враховуючи, що одним із обновних завдань упровадження природоохоронних заходів є збереження клімату, як базовий показник для визначення коефіцієнтів приведення (K^A , K^Z , K^W) прийнято вартісний показник очищення атмосферного повітря (CO_2 -еквівалент забруднення):

$$K^A = \frac{B_A}{B_A}, K^Z = \frac{B_Z}{B_A}, K^W = \frac{B_W}{B_A}. \quad (4)$$

Результати розрахунку коефіцієнтів приведення до ШПЕВ наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Коефіцієнти базового показника ШПЕВ

Вплив на довкілля	$K^{(Z,W,A)}$
Порушення літосфери	5,0 $CO_{2-екв.}/га$
Скиди у гідросферу	17,0 $CO_{2-екв.}/тис. м^3$
Викиди в атмосферу	1,0 $CO_{2-екв.}/т$

Сумарна оцінка виконання природоохоронних заходів вуглевидобувних підприємств в одиницях інтегрального показника впливу становить:

$$I_{ШПЕВ} = \frac{\sum I_{ШПЕВ} \times 100}{\sum I_{ШПЕВ}^{max}} = \frac{1606181 \times 100}{5004680} = 32\%. \quad (5)$$

Отже, у разі виконання підприємством намічених ним завдань проблема гармонізації природокористування в межах його діяльності буде виконана лише на 32%. Тому цей варіант природоохоронних заходів слід визнати недостатнім. Необхідно або запланувати нові, більш дієві природоохоронні заходи, або визнати рівень вимог з боку державних органів нерезально завищеними.

Головні висновки. Визначено закономірність впливу промислових комплексів вуглевидобувних підприємств в атмо-, гідро- та літосферу, що дало змогу спрогнозувати ступінь їх екологічної небезпеки за інтегральним показником екологічного впливу: для земельних ресурсів – 5 $CO_{2-екв.}/га$, водних ресурсів – 17 $CO_{2-екв.}/тис. м^3$, атмосферного повітря – 1 $CO_{2-екв.}/т$.

Реалізація наведеної методології дозволяє вирішувати проблеми регіонального природокористування. З її допомогою можна розробити рейтинговий ряд підприємств з позиції доцільності їх функціонування з урахуванням регіональних інтересів. Для цього потрібно за схемою (рис. 2), врахувати розмір відрахувань підприємств у регіональний бюджет та величину техногенного збитку в одиницях інтегрального показника впливу.

Література

1. Керування ризиками в гірничодобувній діяльності: Г.Г. Півняк, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський. Донецьк : НГУ, 2015. 288 с.
2. Статистичний збірник «Довкілля України». Київ, 2017. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
3. Ермаков В.Н. Развитие процессов подтопления земной поверхности под влиянием закрывающихся шахт / [В.Н. Ермаков, А.П. Семенов, Р.А. Улицкий, Е.П. Котелевец, А.В. Таракало]. *Уголь Украины*. 2001. № 6, С. 12–14.
4. Лунева О.В., Костенко В.К., Матлак Е.С. Альтернативный подход к решению проблемы деминерализации шахтных вод. *Вісті гірничого інституту*. № 2. 2010. С. 179–186.
5. Шапар А.Г., Скрипник О.О., Копач П.І., Луньова О.В. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка наукових основ збалансованого функціонування складних техноекосистем та шляхи його досягнення» № ДР 0107U011874 (протокол № 24 від 23.12.2015 р)/ ІППЕ НАН України, м. Дніпропетровськ, 2015 р. 130 с.

6. Копач П.І., Романенко В.Н., Данько Т.Т., Горобець Н.В., Тараканова Н.П., Макарова А.Ю. Методологія комплексної оцінки природоохоронних заходів. *Екологія природокористування*. 2015. Вип. 19.
7. Луцьова О.В. Методологія вибору технологічних рішень оптимізації функціонування технооекосистем. *Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. праць*. Дніпро, 2018. вип. 141. с. 42–48.
8. Єрмаков В.Н., Луцьова О.В., Аверин Д.Г. Основні ознаки складних технооекосистем та їх збалансованість. *Вісті Донецького гірничого інституту*. № 2(39). Покровськ. 2019, с. 150–156.
9. Луцьова О.В. Моделювання сценаріїв розвитку технооекосистем. *Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. праць*. Дніпро, 2019. Вип. 141. С. 42–48.
10. Mäler K.G. Sustainable development and resilience in ecosystems / *Environmental and resource economics*. 2008. Vol. 39, № 1. P. 17–24.
11. Mori A.S. Ecosystem management based on natural disturbances: hierarchical context and non-equilibrium paradigm. *Journal of Applied Ecology*. 2011. Vol. 48, № 2. P. 280–292.
12. Loreau M. Biodiversity and ecosystem functioning. Synthesis and Perspectives / M. Loreau, S. Naeem, P. Inchausti. Oxford : University Press, 2002. 294 p.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТОДОМ ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Матухно О.В.¹, Шматков Г.Г.², Бєлоконь К.В.³, Сибір А.В.¹

¹Національна металургійна академія України
пр. Гагаріна, 4, 49005, м. Дніпро
helen.matukhno@gmail.com, artem.sybir@gmail.com;

²Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
вул. Чернишевського, 24А, 49600, м. Дніпро
shmatkov7@gmail.com;

³Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя
kv.belokon@gmail.com

Метою роботи є проведення екологічного аналізу виробництва металургійної продукції, визначення основних екологічних впливів протягом життєвого циклу виробів згідно з ДСТУ ISO 14040:2013. Основою дослідження є оцінка життєвого циклу виробництва металургійної продукції, що охоплює етапи від виробництва чавуну до перетворення металевих виробів у відходи споживання. Набуло подальшого розвитку питання застосування методу оцінки життєвого циклу для оцінювання екологічних показників виробничих процесів. З'ясовано, що метод оцінки життєвого циклу дає змогу розглянути виробництво металургійної продукції як багатофакторну систему. Запропоновано структуру повного виробничого ланцюга системи «виробництво металургійної продукції» та схему життєвого циклу одиничного процесу виробництва металевого прокату. Виконано інвентаризаційний аналіз та оцінювання впливів – етапи оцінки життєвого циклу. Зроблено аналіз вхідних і вихідних потоків етапу «виробництво» в життєвому циклі металевого прокату. Інформація, отримана в процесі дослідження оцінки життєвого циклу, може бути використана у процесах екологічного керування та прийняття рішень на металургійних підприємствах. За результатами оцінювання життєвого циклу складено матрицю вибору типових екокритеріїв для металургійної продукції, яка дає змогу проаналізувати недоліки наявної системи екологічного менеджменту на виробництві, порівняти альтернативні варіанти використання матеріальних та енергетичних ресурсів. Результати оцінювання життєвого циклу можуть бути застосовані для поліпшення екологічних показників виробництва продукції на різних стадіях, впровадження екомаркування, складання екологічних заяв або розроблення екологічних декларацій щодо продукції. Автори розглядають це дослідження як початок системної роботи з оцінювання екологічної безпеки металургійних процесів і початок розроблення методології оцінювання життєвого циклу металургійної продукції. Важливим питанням є розроблення методики кількісного оцінювання рівня екологічної безпеки або небезпеки виробів за результатами оцінки їхнього повного життєвого циклу. *Ключові слова:* екологічна безпека, металургійне виробництво, оцінка життєвого циклу, вхідні та вихідні потоки, екологічні показники.

Study of the environmental safety of metallurgical production by the life cycle assessment method. Matukhno O., Shmatkov G., Belokon K., Sybir A.

The purpose of the work is an ecological analysis of metallurgical production, determination of the main environmental impacts during the product life cycle according to DSTU ISO 14040: 2013. The basis of the study is to evaluate the life cycle of metallurgical products production from pig iron production to consumption waste. The life cycle assessment method has been applied to assess the environmental performance of production processes. It is determined that the method of life cycle assessment allows considering of the production of metallurgical products as a multifactorial system. The structure of the complete production chain of the metallurgical production system and the scheme of the life cycle of the metal rolling production process are proposed. Inventory analysis and environmental impact assessment were performed. The analysis of incoming and outgoing flows of the stage of “production” in the life cycle of metal rolling. The information obtained should be used in environmental management processes at metallurgical enterprises. According to the results of the life cycle assessment, a matrix of selection of typical ecological criteria for metallurgical products has been drawn up. The matrix allows to analyze the shortcomings of the existing system of environmental management in production and to compare alternative options for the use of material and energy resources. The results of the life cycle assessment should be used to improve environmental performance, eco-labeling and environmental declarations. The authors consider this research as the beginning of systematic work on the environmental safety assessment of metallurgical processes and the beginning of the development of methodology for the life cycle assessment of metallurgical products. An important issue is the development of a methodology for quantifying the level of environmental safety or the danger of products based on the evaluation of their complete life cycle. *Key words:* environmental safety, metallurgical production, life cycle assessment, input and output flows, environmental performance.

Постановка проблеми. Серед напрямів реалізації концепції сталого розвитку особливе місце посідає концепція екологічної безпеки. Екологічна безпека, як відомо, є складником національної безпеки [1]. В Україні питання оцінювання екологічної

безпеки перебуває на стадії розроблення. Нині відсутні офіційно затверджені методики визначення рівнів і показників екологічної безпеки. Оцінювання зазвичай відбувається за допомогою експертних оцінок, критеріально-експертного зважування. Тому

виникає необхідність підвищення екологічної безпеки промислового сектору та визначення негативних впливів, пов'язаних із процесами виробництва, виникає потреба в дослідженнях, що сприяють кращому розумінню цих впливів і їхньої спрямованості.

Актуальність дослідження. Питання оцінювання екологічної безпеки металургійного виробництва є актуальним для України як для країни, яка входить до першої 20-ки країн-виробників металургійної продукції у рейтингу Worldsteel [2].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями щодо підвищення екобезпеки металургійних підприємств полягає в постановці питання з розроблення теоретично обґрунтованого методичного інструментарію дослідження виробничих процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінка життєвого циклу (ОЖЦ або LCA – Life-Cycle Assessment) є методом дослідження екологічного керування поряд з оцінюванням ризиків, екологічної ефективності, екологічним аудитом або оцінюванням впливу на довкілля. Згідно з ДСТУ ISO 14040:2013 «оцінку життєвого циклу спрямовано на аспекти довкілля та можливі впливи на довкілля (наприклад, використання ресурсів і екологічні наслідки викидів) протягом усього життєвого циклу продукції від придбання сировини через виробництво, використання, оброблення, перероблення в кінці строку використання до остаточного видалення (тобто «від колиски до могили»)» [3].

Аналіз публікацій із питань застосування ОЖЦ в екологічних дослідженнях показав, що найбільшу увагу приділено застосуванню методу для управління відходами [4; 5]. На думку низки науковців [6–11], оцінка життєвого циклу, яка широко використовується в практиці оцінки впливу на довкілля планованої діяльності в країнах Західної Європи і Америки, може стати основою методології оцінювання рівнів екологічної безпеки виробничих процесів.

При цьому питанню оцінювання життєвого циклу продукції металургійних підприємств надано не досить уваги. Останнім часом підприємства своїми силами або із залученням фахівців з екологічного та енергетичного аудитів, виконують ОЖЦ з метою поліпшення екологічних показників і пошуку шляхів ресурсо- й енергозбереження, зменшення відходоутворення. При цьому у нормативній та науково-технічній літературі не досить систематизована інформація щодо матеріальних та енергетичних вхідних і вихідних потоків, які виникають на всіх стадіях життєвого циклу металургійної продукції. Єдиного методу проведення досліджень ОЖЦ немає. Згідно з ДСТУ ISO 14040:2013 [3], за практичного застосування ОЖЦ організаціям слід проявляти гнучкість, зумовлену особливостями виробництва і вимогами користувачів. Тому є необхідність розроблення методологічних основ ОЖЦ продукції металургійного виробництва.

Новизна. Виконано аналіз вхідних і вихідних потоків етапу «виробництво» в життєвому циклі металевого прокату. Набуло подальшого розвитку питання застосування методу ОЖЦ для оцінювання екологічних показників виробничих процесів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати екологічного оцінювання продуктів металургійного виробництва за допомогою ОЖЦ можуть бути застосовані під час розроблення заходів для забезпечення сталого розвитку металургійних підприємств, для розроблення заходів з екологічного керування на виробництві та для підтримки конкурентоспроможності продукції підприємств на світовому ринку.

Виклад основного матеріалу. Мета статті – дослідження життєвого циклу продукції металургійного підприємства на етапі «виробництво». Методи досліджень: аналіз, синтез, узагальнення, метод експертних оцінок, метод ОЖЦ. Об'єктом дослідження є екологічна безпека металургійного виробництва. Предмет дослідження – метод оцінки життєвого циклу як інструмент екологічного аналізу.

Метод оцінки життєвого циклу полягає у якісній і кількісній оцінках потоків матеріалів і енергії під час здійснення виробничої діяльності та в оцінюванні потенційного впливу цих потоків на навколишнє середовище. Практична мета оцінки життєвого впливу – підвищити екологічну безпеку виробничих процесів та оцінити можливості з мінімізації несприятливих впливів на довкілля.

Життєвий цикл будь-якої продукції складається з низки етапів, на кожному з яких споживаються матеріальні та енергетичні ресурси і утворюються відходи, що несуть небезпеку для довкілля та здоров'я людини.

Оскільки головний принцип ОЖЦ – «від колиски до могили», то аналізу під час досліджень має підпадати увесь ланцюг – від видобутку сировини та виробництва готової продукції до її вжитку та остаточної утилізації. На рисунку 1 наведено виробничий ланцюг для виробів металургійних підприємств.

Як було зазначено вище, в Україні найбільша увага надається останньому етапу життєвого циклу продукції – утилізації. Автори мають на меті розглянути і проаналізувати екологічну безпеку другої стадії життєвого циклу – виробництва. Розглянемо матеріальні потоки технологічного процесу виробництва металургійної продукції (рис. 2).

Як визначено в стандарті ДСТУ ISO 14040:2013, вибір вхідних та вихідних потоків, моделювання системи мають узгоджуватися з метою дослідження, а система повинна бути змодельована так, щоб вхідні та вихідні потоки в її межах були елементарними [3]. Тому деталізуємо останній етап рисунку 2 – виробництво металевого прокату (рис. 3) [12].

Аналіз життєвого циклу дає змогу провести оцінювання вхідних і вихідних матеріально-енергетичних потоків кожної ланки виробничого ланцюга.

Результати аналізу нададуть можливість керувати потоками з метою підвищення екологічної безпеки та зменшення негативного впливу на довкілля.

Авторами роботи під час виконання оцінювання відповідності продукції металургійного комбінату «Х» екологічним вимогам під час оцінювання жит-

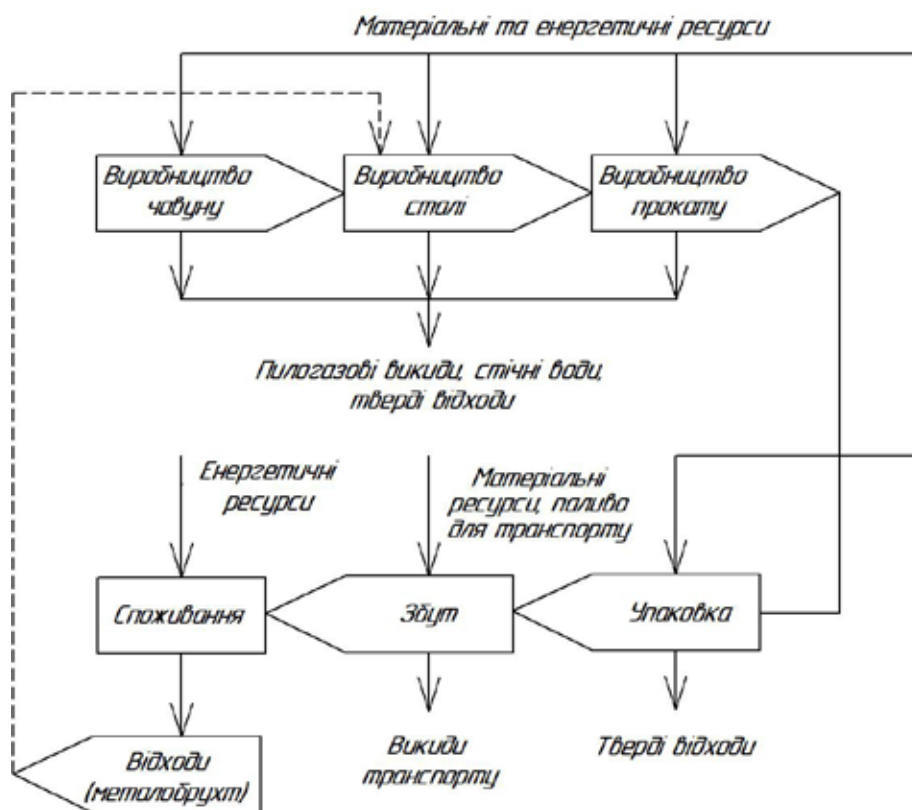


Рис. 1. Виробничий ланцюг металургійної продукції

Таблиця 1

Матриця вибору типових екокритеріїв для металургійної продукції (довгомірний прокат) (за ДСТУ ISO 14024:2018 [13])

Стадії життєвого циклу	Екопоказники входів/виходів						
	Енергія		Ресурси		Скиди / викиди / відходи		
	відновл.	невідновл.	відновл.	невідновл.	вода ²	повітря ³	грунти ⁴
Видобуток та збагачення руди	-	+	-	+	+	+	+
Виробництво агломерату	-	+	-	+	+	*	+
Виробництво коксу	-	+	-	+	+	*	+
Виробництво вапна	+ ¹	+	-	+	+	*	+
Виробництво чавуну	-	+	-	+	+	*	+
Виробництво сталі	-	+	-	+	+	*	+
Виробництво довгомірного прокату	-	+	-	+	+	*	+

Примітки: ¹ – на підприємстві застосовуються альтернативні джерела енергії, а саме – спалювання пелет із насіння соняшника під час виробництва вапна; ² – на підприємстві застосовується замкнутий водозворотний цикл. Кількість скидних вод перебуває у межах затверджених нормативних показників; ³ – викиди в повітря є у межах, затверджених існуючими державними нормативами. Вловлені під час очистки викидів пил і газів застосовуються у виробничому процесі; ⁴ – усі види відходів, що утворюються на виробництві, використовуються як вторинна сировина або передаються на подальшу утилізацію спеціальним установам. * – підвищене теплове навантаження.

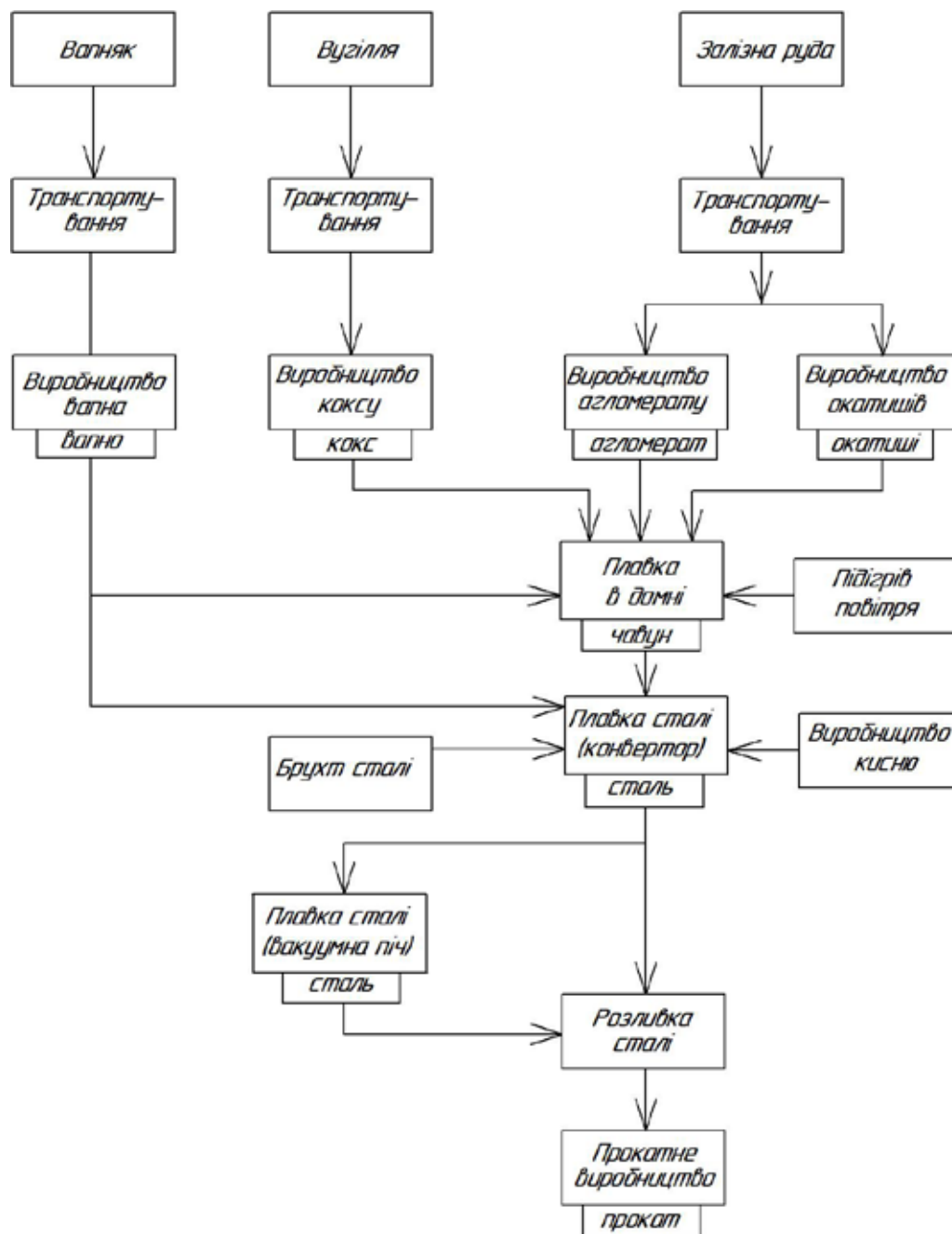


Рис. 2. Матеріальні потоки та процеси виробництва металургійної продукції

тевого циклу розроблено матрицю вибору типових екологічних критеріїв. У нижченаведеній таблиці 1 запропоновано приклад заповнення матриці для оцінювання життєвого циклу виробництва довгомір-ного прокату комбінату «Х» (таблиця 1).

З наведених даних (таблиця 1) видно, що металургійний комбінат «Х» майже не використовує відновлювальні джерела енергії, а виробництво є дуже ресурсоемним. Особливості основних технологічних процесів у металургії на теперішній час унеможливають використання відновлювальних ресурсів, за винятком рекупераційних теплових процесів. Екологічні показники впливу комбінату «Х» на атмосферне повітря, поверхневі

води та ґрунти відповідають чинним нормативним вимогам, але можуть бути покращені, наприклад, шляхом зниження теплового навантаження на навколишнє середовище за допомогою сучасних технологій утилізації теплової енергії, що виділяється під час виробництва.

Окремо треба зауважити відсутність нормативних обмежень щодо температурного впливу металургійних (та інших) виробництв на навколишнє середовище.

Результати теплового забруднення біосфери стають усе наочнішими і виражаються в зміні клімату. Металургійні процеси вносять вагомий вклад у порушення теплового балансу екосистем завдяки

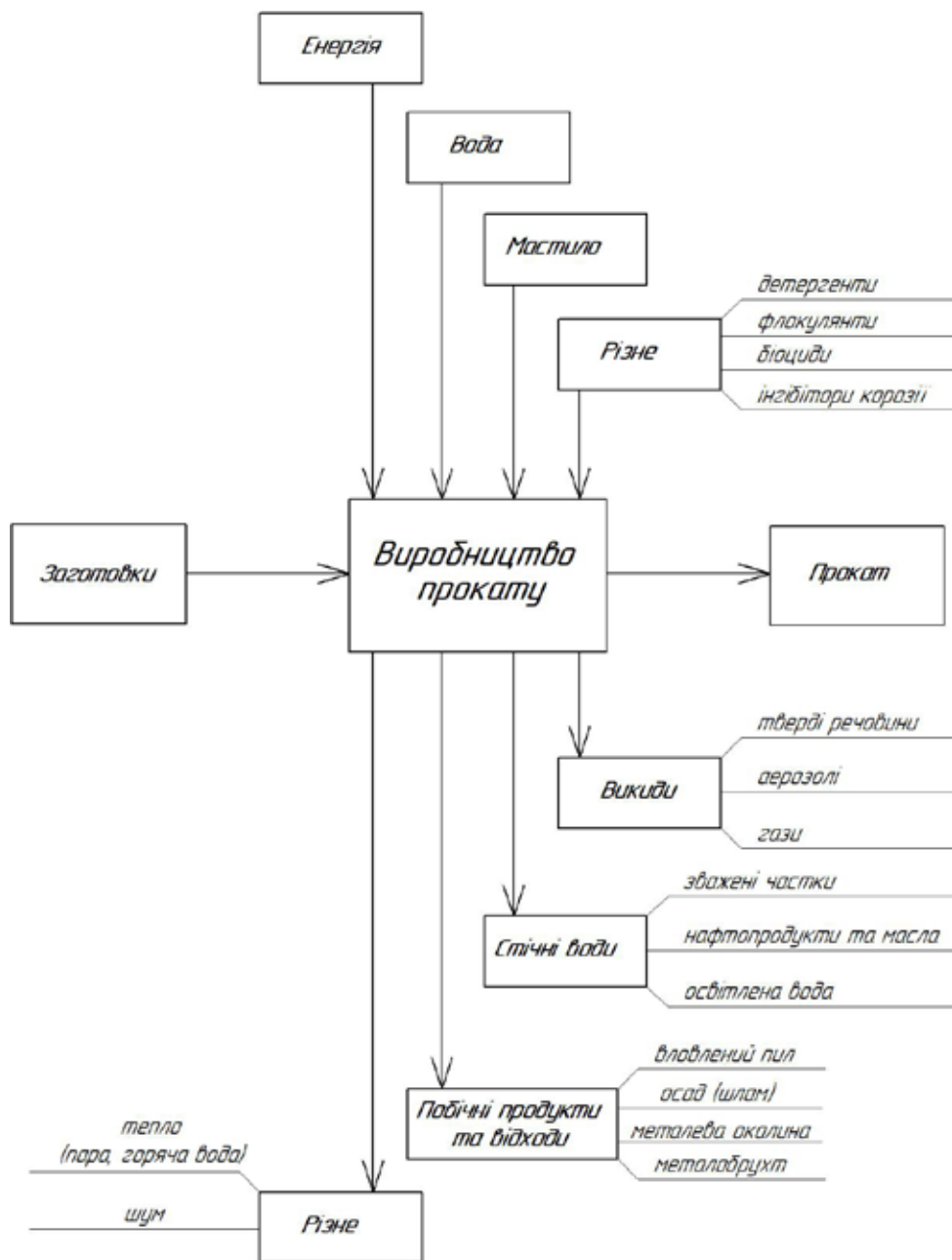


Рис. 3. Схема одиничного процесу виробництва металевого прокату

тепловим втратам, а питання якнайповнішого використання тепла, яке виділяється у металургійних процесах, стає все більш актуальним з еколого-економічного погляду. Отже, настав час формування нормативних вимог щодо обмеження теплових викидів різних виробництв, зокрема металургійних.

Отже, запропонована матриця дає змогу:

- проаналізувати недоліки наявної системи екологічного менеджменту на виробництві;
- порівняти альтернативні варіанти використання матеріальних та енергетичних ресурсів.

Результати оцінювання життєвого циклу можуть бути застосовані для поліпшення екологічних показників виробництва продукції на різних стадіях виробництва.

Висновки. На базі ДСТУ ISO 14040:2013 розроблено схему життєвого циклу металургійної продукції та схему одиничного процесу виробництва металевого прокату.

З'ясовано, що метод ОЖЦ дає можливість розглянути виробництво металургійної продукції як багатofакторну систему та визначити напрями роботи для поліпшення екологічних показників виробництва.

На базі ДСТУ ISO 14024:2018 розроблено матрицю вибору типових екологічних критеріїв для металургійної продукції. Запропоновано приклад заповнення матриці та аналіз результатів оцінювання.

У подальшій роботі слід розробити методику кількісного оцінювання рівня екологічної безпеки або небезпеки виробів за результатами ОЖЦ.

Література

1. Про Стратегію національної безпеки України : Указ Президента України від 26 травня 2015 р. № 287/2015. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/287/2015> (дата звернення: 21.04.2020).
2. World Steel Association : вебсайт. URL: <https://www.worldsteel.org> (дата звернення: 21.04.2020).
3. ДСТУ ISO 14040:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO14040:2006). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=70997 (дата звернення: 21.04.2020).
4. Фролов С.М., Білопільська О.О. Перспективи використання методу оцінки життєвого циклу в системі управлінні відходами в Україні. *Ефективна економіка*. 2013. № 2. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=179> (дата звернення 21.04.2020).
5. Маковецька Ю.М. Оцінювання життєвого циклу продукції як інструмент впливу на мінімізацію відходів. *Ефективна економіка*. 2012. № 11. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1529> (дата звернення: 21.04.2020).
6. Яцишин Т.М. Оцінка життєвого циклу як інструмент екоефективності нафтогазовидобувних об'єктів. *Розвідка та розробка нафтогазових і газових родовищ*. 2019. № 3 (72). С. 83–92.
7. Стремберг Л.М. Информационная технология анализа жизненного цикла и оценки экологической безопасности строительных объектов : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 11.00.11 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». Москва : МГСУ, 2000. 173 с.
8. Берзіна С.В., Яреськовська І.І. та ін. Системи екологічного управління: сучасні тенденції та міжнародні стандарти : посібник. Київ : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 134 с.
9. Ярема В.І., Лендел О.Д., Мишко К.І. Використання інструментів екологічного маркетингу в реалізації концепції сталого розвитку регіону. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2011. № 4. Т. 1. С. 222–232.
10. Pietro A. Renzulli, Bruno Notarnicola, Giuseppe Tassielli, Gabriella Arcese and Rosa Di Capua. *Life Cycle Assessment of Steel Produced in an Italian Integrated Steel Mill. Sustainability*. 2016. № 8 (719). URL: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>. DOI:10.3390/su8080719 (дата звернення: 21.04.2020).
11. Vishal Y. Bhise, Ajay Kashikar. Life Cycle Assesment in a Cold Rolling Mill Manufacturing Industry in India – A Review. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. 2014. Vol. 4. P. 24–29. URL: <https://www.slideshare.net/IJMER/ijmer-41022429> (дата звернення: 21.04.2020).
12. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Ferrous Metals Processing Industry. DRAFT 1 (March 2019). URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/FMP_D1_web.pdf (дата звернення: 21.04.2020).
13. ДСТУ ISO 14024:2018 Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу І. Принципи та процедури (ISO 14024:2018, IDT)). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80757 (дата звернення: 21.04.2020).

СТРУКТУРНІ, МАГНІТНІ ТА АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРОМАГНІТНИХ БІОВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Пташник В.В.¹, Бордун І.М.^{2,3}, Мальований М.С.³,
Чумакевич В.О.³, Борисюк А.К.³, Біленька О.Б.³

¹Львівський національний аграрний університет
вул. В. Великого, 1, 80381, м. Дубляни, Львівська область

²Політехніка Ченстоховська

Ал. Армії Крайової, 17, 42-200, Ченстохова, Польща

³Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Ст. Бандери, 12, 79013, Львів

ptashnykproject@gmail.com, ihor.bordun@pcz.pl, myroslav.s.malovanyy@lpnu.ua,

chumakevich@ukr.net, akborys@ukr.net, olga.b.bilenka@lpnu.ua

У роботі проведено синтез феромагнітних вуглецевих сорбентів на основі біосировини – бурякового жому та стебел кукурудзи. Синтез здійснено за одно- та двостадійною методикою з використанням як активуючого агента FeCl_3 . Рентгенодифракційними методами показано збільшення відстані між графеновими шарами у біовуглецах, синтезованих за двостадійною методикою, порівняно з біовуглецами, синтезованими без активатора. У зразку біовуглецю, синтезованого за одностадійною методикою з бурякового жому, спостерігається незначне зменшення міжграфенової відстані, а на дифрактограмі зразка, синтезованого за одностадійною методикою з стебел кукурудзи, спостерігається широкий максимум складного профілю, що вказує на структурну неоднорідність аморфної фази. У всіх феромагнітних зразках ідентифіковано фазу магнетиту Fe_3O_4 . Досліджено ізотерми адсорбції метиленового синього. Встановлено, що усі ізотерми належать до II типу ізотерм адсорбції. Показано, що біовуглеці, отримані за двостадійною методикою синтезу, володіють суттєво кращими адсорбційними властивостями порівняно з іншими синтезованими біовуглецами. Аналіз ізотерм проведено на основі моделі Ленгмюра. Розраховано граничну кількість поглинутого барвника і константу Ленгмюра для кожного біовуглецю. У результаті магнітних вимірювань отримано петлі гістерезису для досліджуваних феромагнітних біовуглеців. На основі отриманих даних обчислено коерцитивну силу H_c і питому намагніченість насичення σ_s . Для вимірювань значень коерцитивної сили оцінено середні розміри носіїв магнітного моменту, котрі склали для зразків, синтезованих за двостадійною методикою, 30 нм для зразка із бурякового жому і 5 нм для зразка із стебел кукурудзи, і для зразків, синтезованих за одностадійною методикою, 50 нм для зразків із жому і 14 нм для зразків із кукурудзи. *Ключові слова:* біовуглець, феромагнітний сорбент, рентгеновська дифракція, адсорбційні властивості, магнітний гістерезис.

The structural, magnetic and adsorption properties of ferromagnetic biocarbon materials. Ptashnyk V., Bordun I., Malovanyy M., Chumakevych V., Borisyuk A., Bilen'ka O.

The synthesis of ferromagnetic carbon sorbents based on bio-raw materials – beet pulp and corn stalks was performed. The synthesis was realized by one- and two-step methods using FeCl_3 as the activating agent. X-ray diffraction methods was shown an increase in the distance between graphene layers in biocarbons synthesized by a two-step technique compared to biocarbons synthesized without an activator. In the sample of biocarbon synthesized by the one-step method from beet pulp, there is a slight decrease in inter-graphene distance, and on the diffraction pattern of the sample synthesized by the one-stage method from corn stalks, a wide maximum of complex profile is observed, indicating that the structure is amorphous. In all ferromagnetic samples, the magnetite phase Fe_3O_4 was identified. The adsorption isotherms of methylene blue were investigated. It was established that all isotherms belong to type II adsorption isotherms. Biocarbons obtained by the two-step synthesis method have been shown to have significantly better adsorption properties than other synthesized biocarbons. The analysis of isotherms was based on the Langmuir model. The maximum amount of absorbed dye and the Langmuir constant for each biocarbon were calculated. As a result of the magnetic measurements, the hysteresis loops for the ferromagnetic biocarbons studied were obtained. Based on the obtained data, the coercive force H_c and the specific saturation magnetization σ_s were calculated. For the measured values of coercive force the average sizes of magnetic moment carriers were estimated. They were for the samples synthesized by the two-step method 30 nm for the beet pulp sample and 5 nm for the corn stalks sample, and for the samples synthesized by the one-step method, 50 nm for the beet sample and 14 nm for the corn sample. *Key words:* biocarbon, ferromagnetic sorbent, X-ray diffraction, adsorption properties, magnetic hysteresis.

Постановка проблеми. Активоване вугілля (АВ) – це вуглецевий матеріал, який характеризується великою питомою площею поверхні, високою пористістю, доброю фізико-хімічною стійкістю і відмінною реакційною здатністю поверхні. Завдяки цим рисам АВ широко використовується як функціональний матеріал для різних застосувань, пов'язаних із екологічною безпекою людини та навколишнього середовища, у енергетиці, переробній та хімічній

промисловості [1–3]. Загальноживаною сировиною для виробництва АВ є деревина, вугілля, нафтові відходи, торф та полімери. Уся ця сировина є порівняно дорогою, а більшість її запасів, крім того, належить до невідновлювальних природних ресурсів. Тому багато дослідників роблять акцент на синтезі АВ із використанням дешевих та доступних альтернативних прекурсорів, насамперед відходів сільськогосподарського виробництва (кісточки плодів, лушпиння

горіхів, рису, кукурудзяна солома тощо) і твердих відходів (мул, харчові відходи, садові відходи тощо), оскільки відновлювальні ресурси біомаси придатні для виробництва біовуглеців, а сам процес синтезу біовуглецю реалізують за допомогою різних термохімічних процесів в умовах обмеженого доступу кисню і за відносно низьких температур [4–9]. Синтезований таким чином активований біовуглець може бути новим економічно ефективним та екологічно чистим вуглецевим матеріалом, придатним до використання у багатьох сферах.

Сучасні промислові адсорбенти найчастіше використовують у двох видах: гранульованому і порошковому. Гранульованими адсорбентами зручно наповнювати адсорбційні колони, при цьому немає потреби відділяти адсорбент від розчину. Але великі розміри частинок спричиняють низькі кінетичні характеристики такого адсорбента, а сам процес грануляції не лише негативно впливає на адсорбційні властивості, а ще й збільшує вартість самого адсорбента. У зв'язку з цим перспективнішими виглядають порошкові адсорбенти. Але у цьому разі виникає проблема відділення самого адсорбента від розчину. Через малі розміри частинок і густину, що співмірна з густиною води, порошковий адсорбент важко відділити відстоюванням. У таких випадках використовують процес фільтрування, який, однак, є досить повільним. Одним з варіантів виходу з такої ситуації є синтез магніточутливих адсорбентів, які можна відділити за допомогою магнітного сепаратора від розчину, зберігаючи при цьому усі корисні характеристики порошкових адсорбентів [10–12].

Відомо, що Україна має добре розвинену цукрову галузь, є експортером цього продукту. Однак цукрове виробництво – це складне матеріало- та енергоємне виробництво, у якому обсяги сировини та допоміжних речовин у декілька разів перевищують вихід готової продукції [13]. Так, у середньому на випуск 1 т цукру-піску витрачається 8–10 т цукрового буряка, біля 25–35 м³ води, 0,6 т вапняного каменю, 0,53 т умовного палива. Отже, цукрове виробництво є великим джерелом вторинних сировинних ресурсів і відходів, оскільки за середнього виходу цукру 10–12% до маси переробленого буряка утворюється біля 83% свіжого бурякового жому. Жом містить пектинові речовини, целюлозу, сахарозу, азотисті сполуки тощо. 35–40% його використовують на корм худобі, 30% жому висушують, а решта часто скисає в заводських сховищах, втрачаючи при цьому велику частину кормової цінності і утворюючи ще одні відходи – жомокислу воду [13]. Основними напрямками утилізації жому на цей час є використання його як активної речовини під час отримання біогазу, одержання з жому пектинового концентрату, пектинового клею і харчових волокон, як паливо для ТЕЦ цукрового заводу [14]. Однак ці заходи не дозволяють повністю вирішити проблему переробки бурякового жому.

З іншого боку, і рослинництво України щорічно генерує великі обсяги різноманітних відходів та залишків. Частина з них використовується на внутрішні потреби сільського господарства (органічне добриво, підстилка та корм худобі), частина йде на інші виробництва, однак основна маса залишається незадіяною і підлягає утилізації найчастіше шляхом спалювання, що несе загрозу довкіллю. Аналіз результатів наукових та статистичних досліджень показує, що однією з основних зернових культур України є кукурудза. Валовий збір кукурудзи у 2018 році становив 25,52 млн т, при цьому утворилося 935,878 тис. т відходів лише сухих стебел кукурудзи [15]. Обсяги таких відходів у 2019 році зросли, оскільки за даними [15] у цьому році валовий збір кукурудзи становив 29,16 млн т.

На основі вищенаведених фактів сформульовано основну мету роботи, яка полягала у синтезі біовуглеців з висушеного бурякового жому, а також стебел кукурудзи, які б володіли магнітними властивостями, та аналізі можливих шляхів покращення параметрів такого вугілля.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методика приготування зразків. Як вихідну сировину для отримання адсорбентів використано буряковий жом і стебла кукурудзи. Сировину промивали у дистильованій воді кімнатної температури до візуально чистого зливу. Висушували у сушильній шафі в атмосфері повітря за температури 100...110°C до постійної маси. Частину сировини піддавали безпосередньо піролізу, суміщеному з фізичною активацією продукту шляхом нагрівання у трубчастому реакторі з нержавіючої сталі в середовищі проточного аргону за температури 800°C. Активація забезпечувалась подачею водного аерозолу в аргоні від ультразвукового генератора аерозолу в реактор під час карбонізації. Газоподібні продукти реакції відводились струменем аргону через гідрозатвор. Надлишковий тиск аргону в реакторі утримували на рівні близько 1 кПа, витрату регулювали в межах від 2 л/хв до 10 л/хв. Таким способом отримували вугілля, яке позначатимемо далі у тексті АВЖ0 (на основі бурякового жому) і АВК0 (на основі стебел кукурудзи).

Іншу частину сировини піддавали pre-модифікації з використанням Хлориду Феруму FeCl₃ марки осч. Співвідношення вихідна сировина – FeCl₃ було взято на основі аналізу роботи [16], де на 1 г сировини брали 1,5 г Хлориду Феруму. Синтез АВ проводили за температури 700°C і витримці при ній впродовж 90 хв з парогазовою активацією з допомогою ультразвукового генератора аерозолу за вищевказаними режимами. Отримане таким способом вугілля позначатимемо АВЖМ1 і АВКМ1.

Хімічна активація природної сировини є важливим методом контрольованої зміни властивостей отриманого з неї АВ. У роботах з КОН модифікації, наприклад [17; 18], показано ефективність двостадійної карбонізації-активації вугілля. Ця ідея

також була використана для отримання АВ з модифікатором – Хлоридом Феруму FeCl_3 . На першому етапі синтезу відбувалася карбонізація бурякового жому чи стебел кукурудзи в інертній атмосфері (аргон) при 400°C впродовж 90 хв. Карбоніат замочували у водному розчині Хлориду Феруму (орієнтовно 10 г безводної солі на 100 мл води), витримували 24 години, а потім висушували у сушильній шафі при температурі 100°C . При цьому співвідношення вихідна сировина – Хлорид Феруму витримувалося, як і у попередньому випадку одностадійного синтезу феромагнітного АВ, тобто було враховано зменшення маси карбоніату впродовж першого етапу синтезу. На наступному етапі модифікований FeCl_3 карбоніат активували у інертній атмосфері при 700°C також впродовж 90 хв з подачею в реактор водного аерозолу з аргонном. Результат синтезу цим способом дає нам вугілля, яке позначимо АВЖМ2 і АВКМ2.

Отримане такими методами синтезу АВ промивали тричі шляхом кип'ятіння у дистильованій воді впродовж 30 хв у посудині зі зворотнім холодильником. Далі АВ висушували до сталої маси при 100°C . Для подальших експериментальних досліджень АВ подрібнювали механічним способом шляхом перетирання у фарфоровій ступці.

Методика експериментального дослідження.

Для отримання зображень синтезованого вугілля був використаний скануючий електронний мікроскоп з камерою низького вакууму та системою енергодисперсійного мікроаналізу РЕММА-102-02. Цей мікроскоп призначений для безпосереднього дослідження рельєфу поверхні різних матеріалів у твердій фазі і визначення їх елементного складу методом рентгенівського мікроаналізу за енергіями квантів характеристичного рентгенівського випромінювання в режимі низького і високого вакууму.

Рентгенодифракційні криві вуглецевих матеріалів отримані за допомогою дифрактометра ДРОН-3 в Cu K_α -випромінюванні ($\lambda = 0,1542$ нм), монохроматизованому відбиванням від площини (002) монокристалу пірографіту. Дифрактограми вимірювали в режимі неперервного сканування детектора з швидкістю 2 град/хв у діапазоні кутів дифракції $2\theta = 5 \div 120^\circ$. Обробку дифракційних спектрів (згладжування, віднімання фону, визначення положень та півширин максимумів, розклад складних максимумів на окремі компоненти) проводили за допомогою пакету програм DHN_PDS.

Дослідження адсорбції метиленового синього проведено за методикою, описаною у [19], з використанням однопроменевого спектрофотометра СФ-46 з вбудованою мікропроцесорною системою, межі абсолютної похибки під час вимірювання коефіцієнтів пропускання, за допомогою якої в спектральному діапазоні 400–750 нм становлять не більше 0,5%. Для вимірювань використано кювети з довжиною оптичного ходу 10 мм. Під час вивчення

адсорбційних властивостей вугільних матеріалів доводиться мати справу із суспензією, де в ролі дисперсного середовища виступає розчин барвника, а в ролі твердої дисперсної фази – частинки вугілля. Для зменшення негативного впливу частинок, які є додатковими розсіювальними центрами, на кінцеве визначення концентрації барвника було проведено додаткове розділення такої неоднорідної системи за допомогою центрифугування протягом 10 хв в центрифугі ОПн-8 в режимі 8 000 об/хв.

Магнітні вимірювання проводили за допомогою вібраційного магнітометра [20]. Калібрування магнітометра здійснювали методом порівняння. Як еталон використовували чистий непористий нікель з густиною $\rho = 8,9$ г/см³. Реєстрували криві перемагнічування досліджуваних зразків у магнітних полях від -300 кА/м до $+300$ кА/м. Обчислювали кількість магнітної фази в отриманих продуктах за даними вимірювання питомої намагніченості насичення. Під час вимірювань у магнітних полях недостатньої напруженості вимірювана величина намагніченості не є однозначною функцією кількості феромагнітної фази в зразку, вона залежить також від структури фази (дисперсності, напружень тощо). Тому кількісні вимірювання намагніченості насичення для фазового аналізу слід виконувати в сильних полях, достатніх для повного насичення. Проблема вимірювання намагніченості насичення ще більше ускладнюється, коли йдеться про визначення властивостей феромагнітних часточок в немагнітній матриці. У цьому разі істотним є вплив розмагнічувального фактора часточок, і тільки застосування сильних полів дозволяє отримати надійні результати. Тому питомої намагніченості насичення вимірювали в магнітному полі напруженістю 800 кА/м, рекомендованою в [21].

Виклад основного матеріалу. СЕМ зображення отриманого вугілля з бурякового жому наведено на рис. 1.а – рис. 1.в. Як видно з них, отримане АВ здебільшого складається з карбонової основи, однак є і включення інших фаз за рахунок наявності домішок у вихідній сировині. Більшість включень на рис. 1.а на основі рентгенівського мікроаналізу в основному ідентифіковані як фази SiO_2 і CaCO_3 . Для рис. 1.б і рис. 1.в ці включення мають більш складну будову. СЕМ зображення АВКМ2 до перетирання наведено на рис. 1.г. З нього видно, що отримане вугілля має типовий вигляд для біовуглецю з кукурудзи, а отже, доданий активатор не спричиняє суттєвих зовнішніх змін частинок вугілля.

Проведений аналіз сумарного вмісту домішок (крім Оксигену) як у карбонової основи, так і у включеннях, показав, що для вугілля АВЖ0 він становить близько 8%, для вугілля АВЖМ1 – 11,2%, а для вугілля АВЖМ2 – 8,1%. Для вугілля АВК0 сумарний вміст домішок 14,2%, для вугілля АВКМ1 – 15,98%, а для вугілля АВКМ2 – 15,4%. Розподіл основних елементів у синтезованих біовуглецях наведено у табл. 1. З нього видно, що вміст таких елементів, як Si, Mg,

Таблиця 1

Розподіл хімічних елементів у синтезованих біовуглецях на основі бурякового жому і кукурудзи

Хімічний елемент	Вид біовуглецю					
	АВЖ0	АВЖМ1	АВЖМ2	АВК0	АВКМ1	АВКМ2
Mg	0,69	0,19	0,08	0,64	0,42	0,35
Si	1,48	0,16	0,34	5,95	4,52	4,39
P	0,37	0,27	0,32	2,87	2,51	2,58
S	0,43	0,42	0,32	0,46	0,38	0,44
Cl	0	3,18	1,86	0,18	2,3	1,42
K	1,03	0,24	0	2,37	1,8	1,5
Ca	3,57	2,96	0,56	1,49	1,2	0,88
Fe	0	3,49	3,99	0,2	2,8	3,8

K і Ca, у процесі синтезу зменшується, причому три останні елементи під час синтезу за двостадійною методикою видаляються найбільше. Також дані у табл. 1 показують, що під час двостадійного синтезу вміст іонів Феруму у АВЖМ2 і АВКМ2 є дещо більшим, ніж у біовуглеці АВЖМ1 і АВКМ1 відповідно, хоча сумарний вміст домішок у обох випадках є меншим.

Рентгенівські дифрактограми досліджуваних зразків біовуглеців на основі бурякового жому наведено на рис. 2. На дифрактограмі вихідного зразка АВЖ0 (рис. 2.а) в околі кута дифракції $2\theta \approx 28,8^\circ$ спостерігається широкий дифузний максимум, що відповідає розсіянню від графітоподібної аморфної вуглецевої фази з відстанню між графеновими шарами

$d_{(002)} \approx 3,60 \text{ \AA}$. На дифузному гало спостерігається чітко виражений вузький максимум при $2\theta \approx 30,8^\circ$, що відповідає відбиванню від площин (002) полікристалічного графіту. Також слід відмітити присутність додаткового дифузного максимуму, локалізованого в ділянці кутів дифракції $2\theta \approx 10 \div 20^\circ$, ймовірно викликаний формуванням аморфної вуглецевої фази з ближнім атомним упорядкуванням, відмінним від графітоподібної аморфної фази. Також на дифрактограмі спостерігається цілий ряд дрібних піків кристалічних фаз, які, найімовірніше, пов'язані з домішковими елементами, присутніми у вихідній сировині.

Розглянемо зміни структурно-фазового стану біовуглеців після хіміко-термічної обробки. Так, у зразку АВЖМ2 положення максимуму графіто-

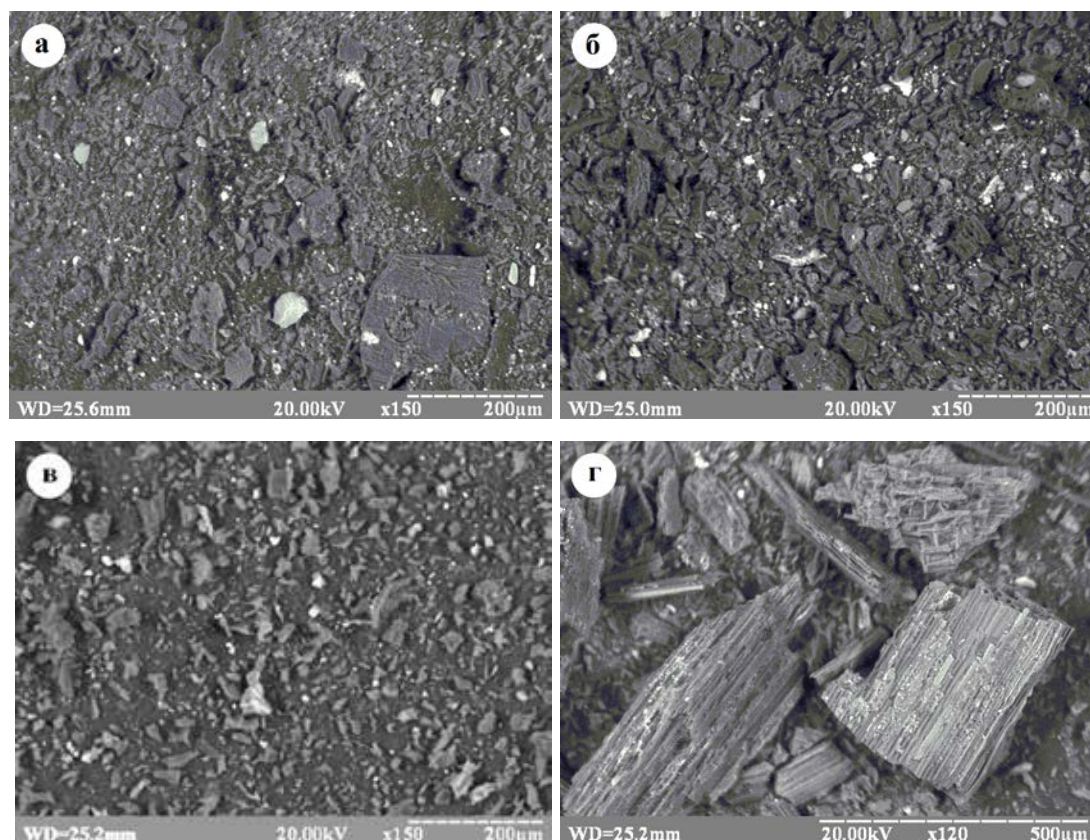


Рис. 1. СЕМ зображення вугілля АВЖ0 (а), АВЖМ1 (б), АВЖМ2 (в) і АВКМ2 (г)

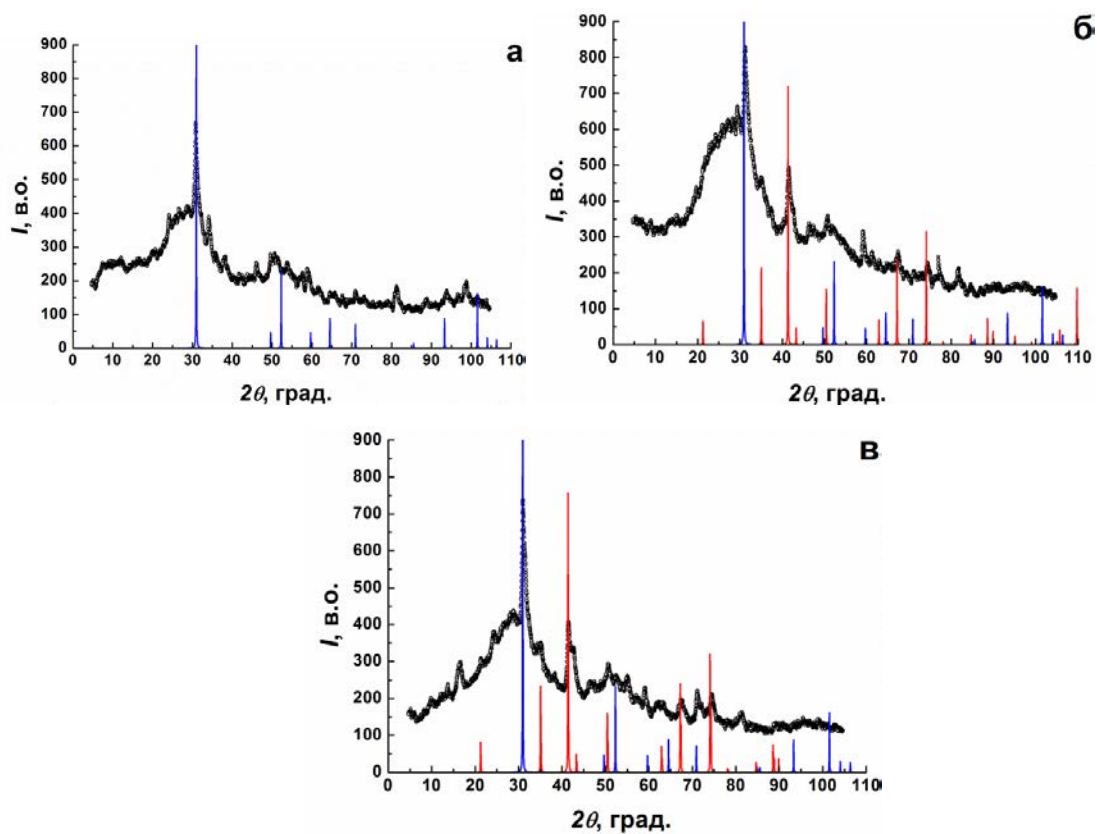


Рис. 2. Дифрактограми вихідного АВЖ0 (а) та оброблених зразків АВЖМ1 (б) та АВЖМ2 (в), сині лінії – піки полікристалічного графіту, червоні – магнетит Fe_3O_4

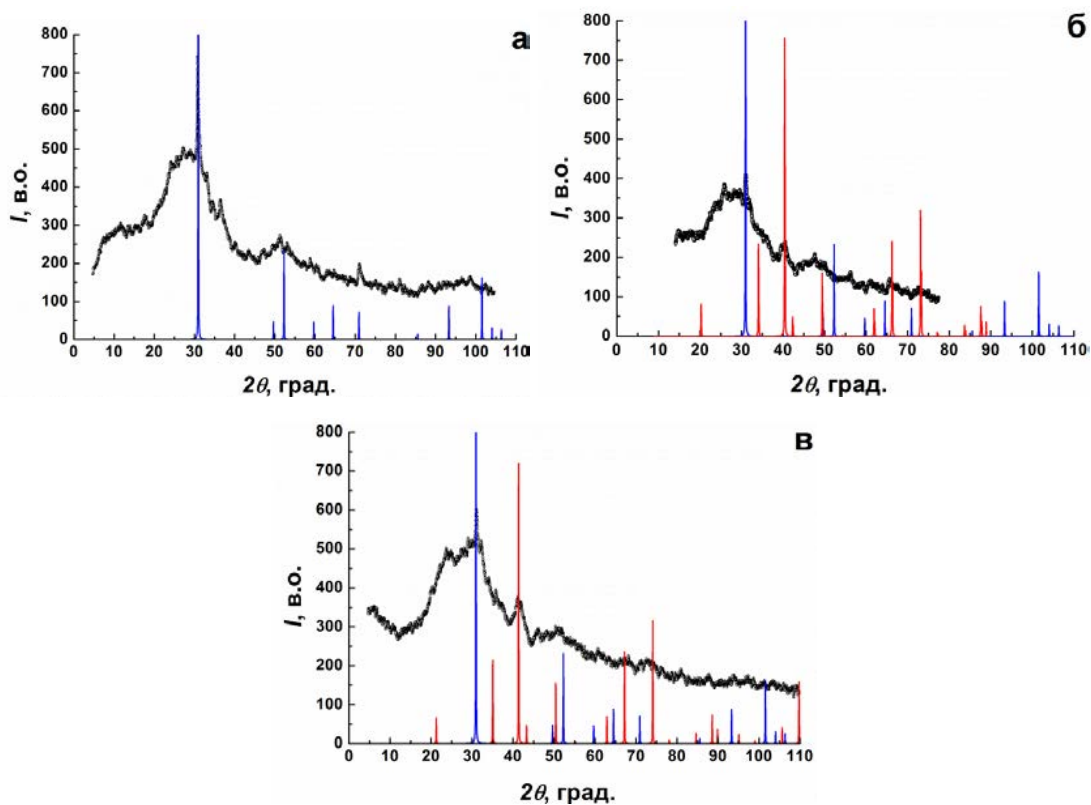


Рис. 3. Дифрактограми вихідного АВК0 (а) та оброблених зразків АВКМ1 (б) та АВКМ2 (в), сині лінії – піки полікристалічного графіту, червоні – магнетит Fe_3O_4

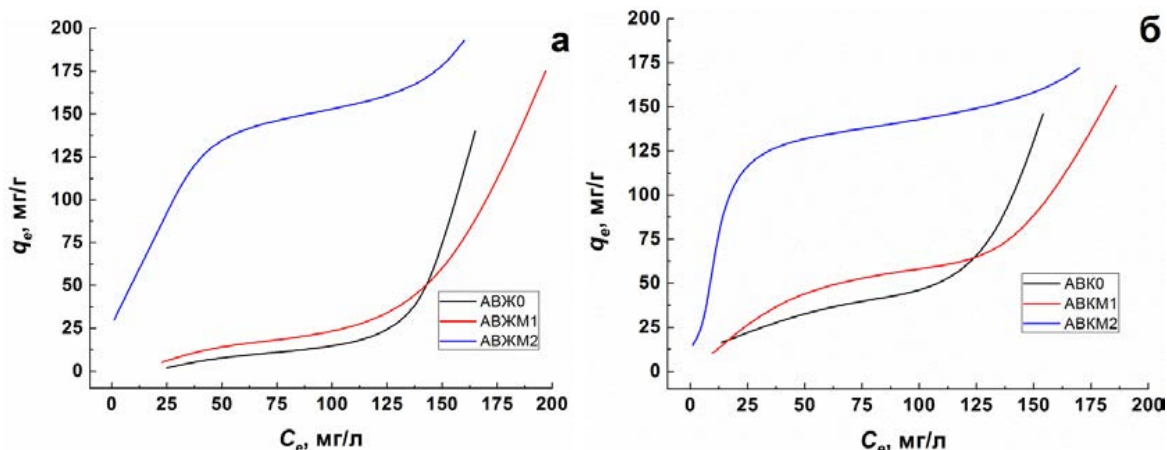


Рис. 4. Ізотерми адсорбції метиленового синього феромагнітними біовуглецьями на основі жому (а) та кукурудзи (б)

подібної фази дещо зміщується в бік менших кутів розсіяння, що відповідає збільшенню відстані між графеновими шарами до $d_{(002)} \approx 3,70$ Å. Натомість у зразку АВЖМ1 спостерігається незначне зменшення міжграфенової відстані до $d_{(002)} \approx 3,55$ Å. Окрім того, в зразках АВЖМ1 та АВЖМ2 спостерігається поява ряду додаткових піків, ідентифікованих як фаза оксиду заліза Fe_3O_4 (магнетит).

На дифрактограмі вихідного зразка АВК0 (рис. 3.а) в околі кута дифракції $2\theta \approx 28,0^\circ$ спостерігається широкий дифузний максимум, що відповідає розсіянню від графітоподібної аморфної вуглецевої фази з відстанню між графеновими шарами $d_{(002)} \approx 3,70$ Å, що значно перевищує міжплощинну відстань $d_{(002)} \approx 3,35$ Å в полікристалічному графіті. На дифузному гало спостерігається чітко виражений вузький максимум при $2\theta \approx 30,8^\circ$, що відповідає відбиванню від площин (002) полікристалічного графіту. Слід відмітити присутність додаткового дифузного максимуму, локалізованого в ділянці кутів дифракції $2\theta \approx 10 \div 20^\circ$. Присутність цього максимуму може свідчити про формування аморфної вуглецевої фази з ближнім атомним упорядкуванням, відмінним від графітоподібної аморфної фази. Окрім того, на дифрактограмі спостерігається цілий ряд неідентифікованих піків кристалічних фаз сполук, які є присутніми у вихідній сировині.

На дифрактограмі зразка АВКМ1 (рис. 3.б) спостерігається широкий максимум складного профілю, що може вказувати на структурну неоднорідність аморфної фази. Положення центра ваги максимуму відповідає міжшаровій відстані $d_{(002)} \approx 3,80$ Å, характерної для аморфного вуглецю. На дифрактограмі спостерігається цілий спектр слабо розділених максимумів від кристалічних фаз. Найбільш інтенсивні лінії спостерігаються на фоні головного максимуму і відповідають графіту ($26,5^\circ$, $3,36$ Å) та кристалічному SiO_2 ($21,44^\circ$, $4,14$ Å). У зразку ідентифікується фаза магнетиту Fe_3O_4 , однак додаткові піки вказують на присутність інших фаз, що спричинює аномально

високий коефіцієнт поглинання рентгенівських променів $K \approx 40$.

Розглянемо зміни структурно-фазового стану зразка АВКМ2, отриманого після двостадійного синтезу. Як видно з дифрактограми, наведеної на рис. 3.в, в околі малих кутів дифракції ($< 10^\circ$) спостерігається ріст фонового розсіяння порівняно з вихідним зразком. Отриманий результат може бути зумовленим формуванням мікропористої структури зразка після обробки. Положення максимуму графітоподібної аморфної фази дещо зміщується в бік менших кутів розсіяння, що відповідає збільшенню відстані між графеновими шарами до $d_{(002)} \approx 3,75$ Å. Окрім того, спостерігається зменшення інтенсивності лінії (002) графіту та поява ряду додаткових піків, ідентифікованих як фаза оксиду заліза Fe_3O_4 (магнетит).

Отже, рентгеноструктурні дослідження показали впровадження у структуру біовуглецю, синтезованого як за одностадійною, так і за двостадійною методикою, оксиду заліза – магнетиту, що володіє феромагнітними властивостями. Також із отриманих даних можна очікувати більш розвиненої мікропористої структури біовуглеців після двоетапного синтезу, що мало б покращити їхні адсорбційні властивості.

Величину адсорбції метиленового синього розраховували за різницею концентрацій до і після контакту його розчину з вугільним адсорбентом. Знаючи початкову концентрацію C_0 , рівноважну залишкову концентрацію розчину C , об'єм розчину V і масу адсорбенту m , можна розрахувати кількість адсорбату. Величину адсорбції розраховували за формулою [22]:

$$q_e = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{m}, \quad (1)$$

де q_e – кількість адсорбату на вугіллі під час рівноваги, в одиницях мг/г;

C_0 – початкова концентрація вихідного розчину, мг/л;

C – залишкова концентрація рівноважного розчину, мг/л;

V – об'єм водного розчину, л;

m – кількість вуглецю, який було використано, мг.

На основі отриманих величин адсорбції були побудовані залежності $q_e = f(C)$, тобто ізотерми адсорбції, які наведено на рис. 4.

Ізотерми адсорбції мають велике значення для опису того, як адсорбати будуть взаємодіяти з вуглецем і мають вагомe значення щодо оптимізації використання вуглецю як адсорбента. З рис. 4 видно, що біовуглеці АВЖМ2 і АВКМ2 володіють суттєво кращими адсорбційними властивостями порівняно з іншими. Аналізуючи форму ізотерм на рис. 4, можна сказати, що усі ізотерми належать до II типу ізотерм адсорбції, що говорить про наявність у аналізованих біовуглеців поряд з мікропорами також певної кількості мезо- і макропор.

Аналіз ізотерм було проведено на основі моделі Ленгмюра [22]. Побудувавши ізотерми адсорбції в координатах $1/q_e = f(1/C)$, визначено граничну кількість поглинутого барвника q_m пористою структурою вугілля і константу Ленгмюра K . Значення розрахованих параметрів наведено у табл. 2. У ній же вказано і коефіцієнт кореляції для моделі Ленгмюра r^2 . Оскільки він для усіх випадків є близьким до одиниці, то це показує, що модель Ленгмюра є застосовною для цих адсорбентів і адсорбата.

Таблиця 2

Параметри адсорбції метиленового синього феромагнітними біовуглецями за моделлю Ленгмюра

Зразок	q_m , мг/г	K , л/ммоль	r^2
АВЖ0	25,7	0,12	0,993
АВЖМ1	30,1	1,44	0,98
АВЖМ2	169,3	3,61	0,988
АВК0	67,4	0,59	0,98
АВКМ1	73,5	1,90	0,99
АВКМ2	159	3,86	0,978

Дані табл. 2 підтверджують, що біовуглеці АВКМ2 і АВЖМ2 володіють найбільшою адсорбційною ємністю серед досліджених видів вугілля. Різниця у адсорбційних ємностях може бути зумовлена не лише різницею пористої структури, вона також може бути пов'язана із різним вмістом сумарної кількості поверхневих кисневмісних груп. Цей факт відбивається як на швидкості адсорбції, так і на величині поглинутого барвника, оскільки у водному розчині метиленовий синій має додатній заряд і три основні аміногрупи, які повинні притягуватися кисневмісними поверхневими групами на поверхні активованого вугілля [23].

Процес адсорбції, що описується моделлю Ленгмюра, можна виразити у символах [24]:

$$C^* + A \leftrightarrow C^*(A), \quad (2)$$

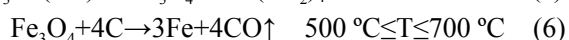
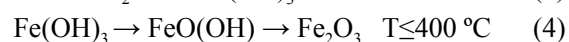
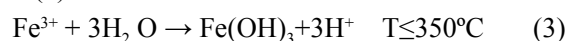
де A – молекула адсорбата в рідкій фазі;

C^* – наявні адсорбційні центри;

$C^*(A)$ – центри, зайняті адсорбатом.

Константа Ленгмюра K є константою рівноваги процесу (2). З табл. 2 видно, що ця константа збільшується зі збільшенням адсорбційної здатності вугілля. Це означає, що у вугіллі АВЖМ2 і АВКМ2 є суттєво менша частка великих пор, а переважають мікропори [24].

За даними рентгеноструктурного аналізу, магнітні властивості синтезованих біовуглеців зумовлені присутністю в їх структурі магнетиту Fe_3O_4 . У процесі карбонізації сировини в присутності солей заліза відбуваються процеси, котрі призводять до формування оксидів заліза і розвитку пористості [25; 26]. Насамперед Fe^{3+} гідролізується до $Fe(OH)_3$ при $350^\circ C$ (3). Під час подальшого нагрівання в інертній атмосфері відбувається зневоднення і перетворення гідроксиду на гематит Fe_2O_3 при $400^\circ C$ (4). За більш високих температур (від $500^\circ C$ до $700^\circ C$) гематит Fe_2O_3 відновлюється до магнетиту Fe_3O_4 аморфним вуглецем і газом CO (5). Підбором інтенсивності струменю аргону можна забезпечити неперервне відведення продуктів реакції CO і CO_2 у міру їх утворення. Магнетит Fe_3O_4 може бути додатково відновлений аморфним вуглецем з утворенням металічного Fe (6).



У ряді робіт [27; 28] повідомлялось, що $FeCl_3$ сприяє розвитку пор у вуглецевмісних матеріалах. На жаль, механізм активації $FeCl_3$ вивчений недостатньо. З іншого боку, дві реакції відновлення, наведені в рівняннях (5) і (6) вище, можуть сприяти розвитку пор у зразках магнітних сорбентів за рахунок перетворення C в CO і видалення вуглецю у вигляді CO , в результаті чого залишаються певні порожнини всередині структури матеріалу.

Магнітними вимірюваннями встановлено, що синтезовані зразки феромагнітного біовуглецю володіють магнітним гістерезисом. Ці залежності наведено на рис. 5.

За п'ятьма гістерезису обчислені коерцитивна сила (H_c) і питома намагніченість насичення (σ_s) – табл. 3.

За результатами вимірювання питомої намагніченості насичення біовуглеців можна визначити вміст в них частинок носіїв магнітного моменту – магнетиту. Для обчислення необхідно знати величину питомої намагніченості насичення частинок магнетиту. Питома намагніченість насичення масивного магнетиту складає $92 \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ [29].

Необхідну для обчислення величину питомої намагніченості насичення частинок магнетиту обирали з урахуванням явища зменшення намагніченості малих частинок зі зменшенням їх розміру

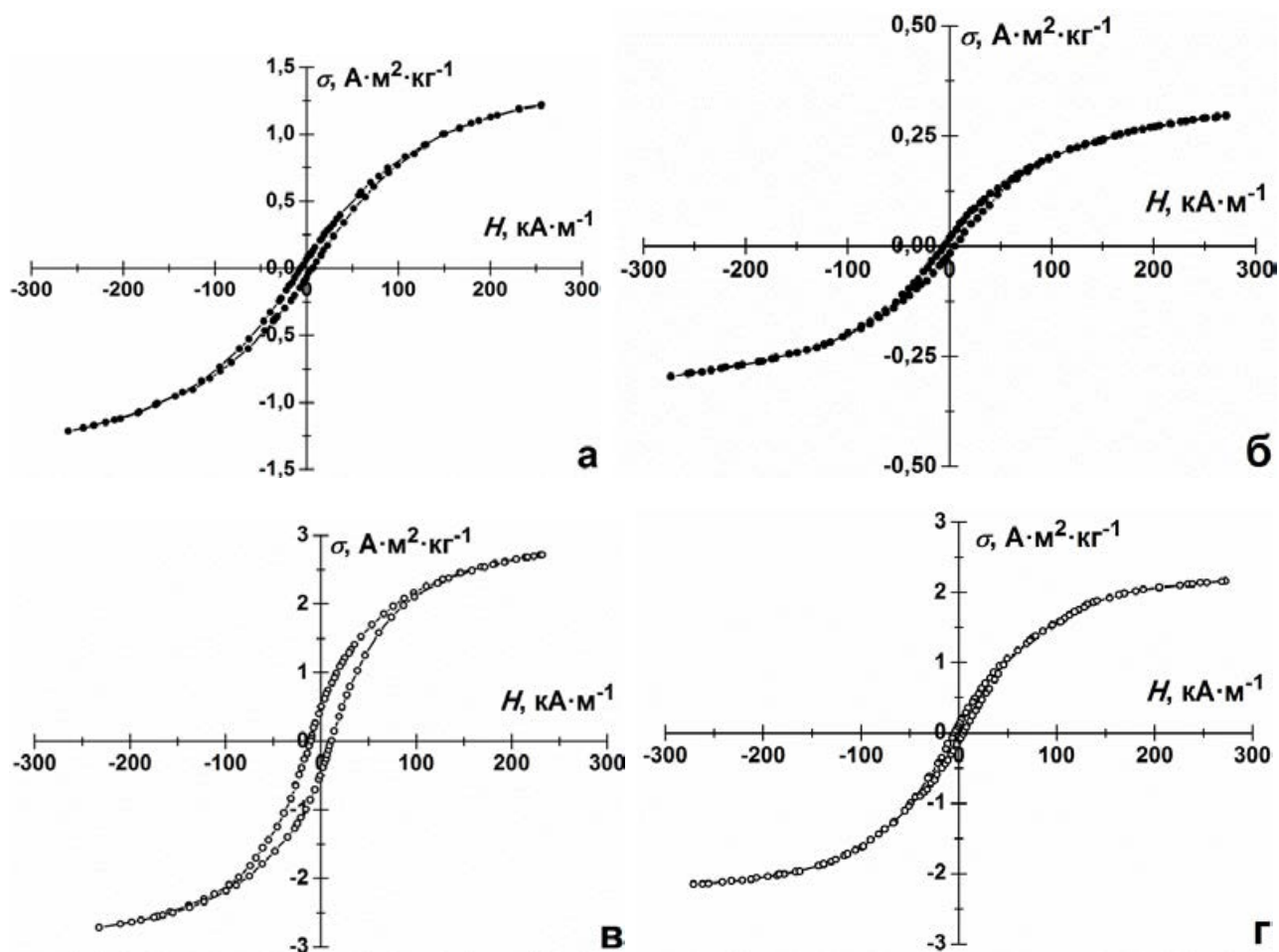


Рис. 5. Петлі гістерезису магнітного моменту біовуглеців АВКМ1 (а), АВКМ2 (б), АВЖМ1 (в) та АВЖМ2 (г)

Таблиця 3

Магнітні характеристики синтезованих біовуглеців

Зразок	$\sigma_s, \text{A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	$H_c, \text{kA/m}$	Вміст Fe_3O_4 , мас.%
АВКМ1	1,4	6,5	1,6
АВКМ2	0,43	5	0,5
АВЖМ1	3,0	11	3,8
АВЖМ2	2,4	4,5	3

[30]. За даними залежності коерцитивної сили від діаметру частинок в дисперсіях Fe_3O_4 [31, 32] для вимірних значень коерцитивної сили, розмір носіїв магнітного моменту склав від 30 нм для зразка АВЖМ2 до 50 нм для АВЖМ1, а для АВКМ1 – 14 нм і для АВКМ2 – 5 нм. Приймаючи з виснаведених джерел, що вказаним розмірам частинок відповідає середнє значення питомої намагніченості насичення $80 \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, було визначено вміст магнетиту (табл. 3). Розраховані таким способом значення є меншими за отримані з даних енергодисперсійного рентгенівського мікроаналізу. Така ситуація може бути зумовлена тим, що рентгенівський мікроаналіз дає інформацію про приповерхневі шари речовини, оскільки бомбардування об'єкту відбувається електронним пучком. У результаті, крім гальмівного

неперервного рентгенівського спектру, отримуємо спектр характеристичного випромінювання, лінії якого відповідають наявним у речовині хімічним елементам. Однак проникнення електронного пучка у частинку є незначним, порядку мікрометрів чи навіть менше. Тому за нерівномірного розподілу елементів у частинці з глибиною результати об'ємного дослідження (магнітні) та приповерхневого (рентгенівський мікроаналіз) можуть відрізнятися. З порівняння результатів, представлених табл. 1 та табл. 3, можна зробити висновок, що у біовуглецях АВКМ1, АВКМ2 і АВЖМ2 магнітна фракція знаходиться більше у приповерхневих шарах, а у АВЖМ1 вона розподілена за глибиною більш рівномірно.

Висновки. Таким чином, проведені дослідження синтезованих біовуглеців дозволили встановити таке:

1. У зразках біовуглеців, синтезованих за двостадійною методикою, на основі рентгенодифракційних досліджень показано збільшення відстані між графеновими шарами до $d_{(002)} \approx 3,70 \text{ \AA}$ у АВЖМ2 і до $d_{(002)} \approx 3,75 \text{ \AA}$ у зразку АВКМ2 порівняно з вихідними видами вугілля АВЖ0 і АВК0 відповідно. Натомість у зразку АВЖМ1, синтезованому за одностадійною методикою, спостерігається незначне зменшення міжграфенової відстані до $d_{(002)} \approx 3,55 \text{ \AA}$, а на дифрактограмі зразка АВКМ1 спостерігається широкий максимум складного профілю, що вказує на структурну неоднорідність аморфної фази. Окрім того, у всіх зразках, синтезованих з використанням FeCl_3 , спостерігається поява ряду додаткових піків, ідентифікованих, як фаза оксиду заліза Fe_3O_4 (магнетит).

2. Дослідження ізотерм адсорбції метиленового синього показало, що біовуглеці, синтезовані за двостадійною методикою, володіють суттєво кращими адсорбційними властивостями порівняно як з вихідним вугіллям, так і з синтезованим за одностадій-

ною методикою. Аналізуючи форму ізотерм, можна сказати, що усі ізотерми належать до II типу ізотерм адсорбції, що говорить про наявність у аналізованих біовуглеців поряд з мікропорами також певної кількості мезо- і макропор. Константа Ленгмюра K , яка є константою рівноваги процесу адсорбції, збільшується зі збільшенням адсорбційної здатності вугілля. Це означає, що у вугіллі АВЖМ2 і АВКМ2 переважають мікропори, і є суттєво меншою частка великих пор порівняно з іншими видами досліджених біовуглеців.

3. У результаті магнітних вимірювань отримано петлі гістерезису для феромагнітних біовуглеців. На основі цих даних обчислено коерцитивну силу H_c і питому намагніченість насичення σ_s . Врахувавши залежність коерцитивної сили від діаметру частинок в дисперсіях Fe_3O_4 , для вимірних значень коерцитивної сили встановлені середні розміри носіїв магнітного моменту, котрі склали 30 нм для зразка АВЖМ2, 50 нм для АВЖМ1, 14 нм для АВКМ1 і 5 нм для зразка АВКМ2.

Література

1. Delgado L. F., Charles P., Glucina K., Morlay C. The removal of endocrine disrupting compounds, pharmaceutically activated compounds and cyanobacterial toxins during drinking water preparation using activated carbon: A review. *Sci. Total Environ.* 2012. Vol. 435–436, P. 509–525.
2. Sevilla M., Mokaya R. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage. *Energy Environ. Sci.* 2014. Vol. 7, № 4. P. 1250–1280.
3. Shafeeyan M., Daud W. M. A. W., Houshmand A., Shamiri A. A review on surface modification of activated carbon for carbon dioxide adsorption. *J. Anal. App. Pyrol.* 2010. Vol. 89, № 2. P. 143–151.
4. Yahya M. A., Al-Qodah Z., Zahariah Ngah C. W., Agricultural bio-waste as potential precursors for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2015. Vol. 46. P. 218–235.
5. Tan X. F., Liu S. B., Liu Y. G., Gu Y. L., Zeng G. M., Hu X. J., Wang H., Liu S. H., Jiang L. H. Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: Multiple applications in environmental protection and energy storage. *Bioresource Technology.* 2017. Vol. 227. P. 359–372.
6. Gonzalez-Garcia P. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2018. Vol. 82. P. 1393–1414.
7. Kadirvelu K., Kavipriya M., Karthika C., Radhika M., Vennilamani N., Pattabhi S. Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for removal of dyes and metal ions from aqueous solutions. *Bioresource Technology.* 2003. Vol. 87, № 1. P. 129–132.
8. Ioannidou O., Zabaniotou A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2007. Vol. 11. P. 1966–2005.
9. Adekunle Moshood Abioye, Farid Nasir Ani, Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2015. Vol. 52. P. 1282–1293.
10. Kim B. C., Lee J., Um W., Kim J. Magnetic mesoporous materials for removal of environmental wastes. *Journal of Hazardous Materials.* 2011. Vol. 192, № 3. P. 1140–1147.
11. Wang T., Liang L., Wang R., Jiang Y., Lin K., Sun J. Magnetic mesoporous carbon for efficient removal of organic pollutants. *Adsorption.* 2012. Vol. 18, № 5–6. P. 439–444.
12. Архилин М.А., Богданович Н.И. Адсорбционные и магнитные свойства магнитовосприимчивых адсорбентов, полученных на основе гидролизного лигнина. *Лесной журнал.* 2016. № 2. 131–140.
13. Бугаенко И. Ф., Тужилкин В. И. Общая технология отрасли. Научные основы технологии сахара. Ч. 1 : учебник. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2007. 512 с.
14. Спічак В.В., Вратський А.М. Сучасні напрямки використання та утилізації бурякового жому. *Вісник цукровиків України.* 2012. Т. 69, №2. С. 13–15.
15. Обсяг виробництва, урожайність та зібрана площа сільськогосподарських культур за їх видами: Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 01.01.2020).
16. Theydan S., Ahmed M., Optimization of preparation conditions for activated carbons from date stones using response surface methodology. *Powder Technology.* 2012. Vol. 224. P. 101–108.
17. Vervikishko D. E., Yanilkin I. V., Dobelev G. V., Volperts A., Atamanyuk I. N., Sametov A. A., Shkol'nikov E. I. Activated carbon for supercapacitor electrodes with an aqueous electrolyte. *High temperature.* 2015. Vol. 53, № 5. P.758–764.
18. Dobelev G., Dizhbite T., Gil M. V., Volperts A., Centeno T. A. Production of nanoporous carbons from wood processing wastes and their use in supercapacitors and CO_2 capture. *Biomass and Bioenergy.* 2012. Vol. 46. P. 145–154.

19. Bestani B., Benderdouche N., Bestaali B., Belhakem M., Addou A. Methylene blue and iodine adsorption onto an activated desert plant. *Bioresource technology*. 2008. Vol. 99, №17. P. 8441–8444.
20. Кондир А. І., Борисюк А. К., Паздрій І. П., Швачко С. Г. Застосування вібраційного магнітометра для фазового аналізу спеціальних сталей та сплавів. *Вібрації в техніці і технологіях*. 2004. Т. 34, № 2. С. 41–43.
21. Апаев Б. А. Фазовый магнитный анализ сплавов. Москва : Metallurgy, 1973. 280 с.
22. Lowell S., Shields J. E. Powder surface area and porosity. London : Chapman & Hall, 1998. 252 p.
23. Паховчишин С. В., Черныш И. Г., Гриценко В. Ф. Некоторые ограничения применения индикаторного метода при изучении поверхности частиц графита. *Коллоидн. Журн.* 1991. Т. 53, № 2. С. 284–289.
24. Hsieh C.-T., Teng H. Influence of mesopore volume and adsorbate size on adsorption capacities of activated carbons in aqueous solutions. // *Carbon*. 2000. Vol. 38. P. 863–869.
25. Liu W.-J., Tian K., He Y.-R., Jiang H., Yu H.-Q., High-Yield Harvest of Nanofibers/Mesoporous Carbon Composite by Pyrolysis of Waste Biomass and Its Application for High Durability Electrochemical Energy Storage. *Environmental Science & Technology*. 2014. Vol. 48, № 23. P. 13951–13959.
26. Zhu X., Qian F., Liu Y., Matera D., Wu G., Zhang S., Chen J. Controllable synthesis of magnetic carbon composites with high porosity and strong acid resistance from hydrochar for efficient removal of organic pollutants: An overlooked influence. *Carbon*. 2016. Vol. 99. P. 338–347.
27. Theydan S.K., Ahmed M. J. Adsorption of methylene blue onto biomass-based activated carbon by FeCl₃ activation: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2012. Vol. 97. P. 116–122.
28. Oliveira L., Pereira E., Guimaraes I., Vallone A., Pereira M., Mesquita J., Sapag K. Preparation of activated carbons from coffee husks utilizing FeCl₃ and ZnCl₂ as activating agents. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 165, № 1–3. P. 87–94.
29. Coey J.M.D. Magnetism and Magnetic Materials. Cambridge : University Press, 2010. 625 p.
30. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю., Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства. *Успехи химии*. 2005. Т. 74, № 6. С. 539–574.
31. Yang H., Ogawa T., Hasegawa D., Takahashi M. Synthesis and magnetic properties of monodisperse magnetite nanocubes. *Journal of Applied Physics*. 2008. Vol. 103, № 7. P. 07D526-1–07D526-3.
32. Goya G. F., Berquó T. S., Fonseca F. C., Morales M. P. Static and dynamic magnetic properties of spherical magnetite nanoparticles. *Journal of Applied Physics*. 2003. Vol. 94, № 5. P. 3520–3528.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЕННЯ ЗРІДЖЕНОЇ СУМІШІ ПРОПАН-БУТАНУ ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Сірий О.А., Соломаха А.С., Пакош Д.З.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

вул. Політехнічна, 6, 03056, м. Київ

oasiryi@gmail.com, as_solomaha@ukr.net, pprbs90@gmail.com

Робота присвячена вирішенню проблем вдосконалення системи живлення зрідженим газом з метою проведення конвертації двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) автомобільного транспорту та стаціонарних установок середньої потужності, що працюють за газовим або комбінованим циклом. У роботі виконано експериментальне дослідження еволюції струменя зрідженого газу із застосуванням поетапного розгляду процесу, починаючи з адіабатного скипання в соплі і закінчуючи утворенням крапель на його виході. Результати є необхідними для отримання раціональних геометричних та режимних параметрів для системи розпилення, а також забезпечення її ефективності. Отримано необхідну параметричну базу щодо уточнення математичної моделі нестационарного процесу випаровування крапель із урахуванням випаровування перегрітої рідини в рухомому потоці повітря, оскільки моделювання розглядається перспективним інструментом дослідження параметрів проміжку часу температурної релаксації одиночної краплі зрідженого газу, а також аналітичного розрахунку діаметру краплі в кінці процесу охолодження, що залежить від довжини ділянки випаровування та початкових параметрів повітря. Основні результати роботи отримані експериментально. Дослідження проводились за таких умов: температура впорскування 15 ... 50 °С; тиск перед форсункою 8–10 бар; розпилення палива реалізовувалося у потік повітря, що набігає, зі швидкістю 5 ... 40 м/с за значення тиску 101 кПа. Вимірювання температурного поля факелу розпилю фіксується за допомогою тепловізійного блоку та системи термомпар на осі факела. Встановлено кореляцію між основними режимними характеристиками та параметрами факелу розпилю пальної суміші. Експериментально доведено, що застосування системи живлення з впорскуванням зрідженого пропану дозволяє без конструктивних змін двигуна покращити наповнення його циліндрів на 4 ... 5%, що призведе до зростання потужності двигуна. Визначено, що впорскування газу в рідкому стані (LPG) дозволяє підвищити точність дозування, покращити процес сумішоутворення та спалювання. *Ключові слова:* двигун внутрішнього згорання, зріджений газ, факел розпилю палива, температура факелу, миттєве закипання, кут розкриття струменя.

Study of liquid propane-butane mixture atomization for internal combustion engines. Solomakha A., Siryi O., Pakosh D.

The paper is devoted to solving the problems of improving the system of liquefied gas supply for the purpose of conversion of internal combustion engines of road transport and fixed installations of medium power that works on gas or combined cycle. The experimental study of the evolution of the liquefied gas jet using a stepwise consideration of the process: adiabatic boiling in the nozzle, formation of droplets at its outlet. The results are necessary to obtain rational geometric and mode parameters for the spraying system and to ensure its efficiency. The necessary parametric basis for refinement of the mathematical model of the non-stationary process of evaporation of droplets with consideration of evaporation of superheated fluid in the moving air flow is obtained. Thereby modeling is considered as a promising tool for studying the parameters of the time period of temperature relaxation of a single liquid drop, depends on the length of the evaporation area and the initial air parameters. The main results of the work were obtained experimentally. The studies were conducted under the following conditions: injection temperature 15 ... 50 °C; pressure before the nozzle 8-10 bar; fuel spraying was implemented into the flowing air at a speed of 5 ... 40 m/s at a pressure of 101 kPa. The measurement of the temperature field of the spray torch is fixed by means of a thermal imaging unit and a thermocouple system on the torch axis. The correlation between the main mode characteristics and the parameters of the torch of the spray mixture of the mixture was established. It is experimentally proved that the use of a system of injection with liquefied propane allows to improve the filling of its cylinders by 4 ... 5%, without structural changes of the engine, which will lead to an increase in engine power. Liquid gas injection (LPG) has been found to improve dosing accuracy, improve blending and combustion processes. *Key words:* internal combustion engine, liquefied gas, flash boiling, emission characteristics fuel spray torch, torch temperature, instant boiling, jet opening angle.

Актуальність роботи. Відомо, що автомобільний транспорт є одним із основних забруднювачів довкілля. Одним з варіантів зниження шкідливого екологічного навантаження на навколишнє середовище розглядається застосування у якості автомобільного палива зрідженого вуглеводневого газу (LPG). Крім того, зріджені гази також придатні до застосування для двигунів з безпосереднім впорскування бензину (GDI). Слід зазначити, що LPG – це більш дешеве та чисте паливо порівняно з бензином

та дизелем за рівнем викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище [1]. До переваг застосування LPG у ДВЗ слід віднести те, що його можна адаптувати без значних конструктивних змін двигуна.

За статистикою споживання зрідженого газу в Україні зросло до 11,1% у 2019 році порівняно з 2018 роком, склавши різницю у 2,03 млн тонн. Основна причина – коливання ціни на бензин. Таким чином, підвищення використання зрідженого газу за останній рік склало 42,2% [2].

Порівняно з бензином LPG має підвищену температуру спалювання. Крім того, зріджений вуглеводневий газ розпилюється у камері згоряння (колекторі) шляхом миттєвого закипання. Миттєве закипання суміші відбувається під час фазового переходу, при цьому її тиск миттєво знижується нижче тиску насичення за цих умов. Порція розпиленого газу проходить послідовність фізичних процесів: зародження центрів утворення бульбашок, їх зростання, утворення двофазного потоку та його розпилення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значного поширення набули форсунки для двигунів GDI з декількома отворами завдяки більш ефективному розпилю факелу рідини та можливістю більш ефективно керувати цим процесом. Але за певних умов, особливо під час закипання, окремі струмені об'єднуються в один [3]. Для цього типу форсунок цей ефект суттєво змінює процес підготовки паливної суміші та спричиняє негативні наслідки, особливо під час взаємодії струменю палива зі стінкою циліндру [4–7], що спричиняє активний процес утворення сажі [8] та детонаційних явищ у двигуні [9].

Порушення процесу розпилення помітно змінює структуру струменя під час миттєвого закипання. Вплив збільшення температури палива значно зменшує кут розкриття конуса розпилю струменя [10]. Слід зазначити, що глибина проникнення струменя збільшується, але разом з тим відбувається змочування стінки поршня, що призводить до утворення ізольованої рідкої плівки. Наслідком цього є затягування процесу випаровування палива, що призводить до збільшення викидів сажі [11]. Слід зазначити, що роботи щодо більш детального дослідження процесу розпилю перегрітого струменя досі залишаються у активній розробці [12].

У роботі [13] встановлено кореляцію між радіальним розширенням струменю та ступенем перегріву, рівнем нуклеації і хімічного потенціалу фазового переходу ($\Delta\mu$). Упродовж 20 калібрів $20d_0$ уздовж осі встановлена кореляція поступово слабшає і завершується по закінченню фази миттєвого закипання.

Одне з останніх досліджень [14] підтвердило той факт, що наслідками з'єднання розділеного струменя є: зменшення конуса кута розпилення палива; більша глибина проникнення палива та інтенсифікація пароутворення. Покращення процесу розпилення може досягатись у разі використання рідин з більшою в'язкістю. Час впорскування палива спричиняє процес зволоження стінок поршня, що негативно впливає на процес займання паливної суміші.

Безрозмірний ступінь перегріву P_a/P_s , який являє собою відношення тиску навколишнього середовища (P_a) до тиску насичених парів палива (P_s), запропонований автором [15], є універсальним параметром з погляду опису загальної геометрії струменів під час процесу миттєвого закипання. Встановлено, що сусідні струмені починають взаємодіяти, коли відношення P_a/P_s знаходиться в інтервалі від 0,3 до

1,0, при цьому зменшується глибина проникнення палива та збільшується кут розкриття факелу розпилю. З іншого боку, за умов P_a/P_s нижче, ніж 0,3, відбувається з'єднання струменів на осі факелу розпилю, що також збільшує далекобійність факелу та його кут розкриття.

На протигагу роботі [15], у роботі [16] показано, що безрозмірне співвідношення P_a/P_s не є настільки універсальним параметром під час дослідження струменя розпилю, особливо при використанні різних видів палива. Показано помітну різницю у глибині проникнення струменя між важким паливом, що вводиться у високо розріджений простір, та легким паливом, особливо коли різниця у температурі точок кипіння палив значна.

У роботі Mojtabi досліджено вплив кута розпилю струменів та ефекти їх взаємодії [17]. Показано, що зі збільшенням кута розпилю поодиноких струменів зменшується далекобійність факелу розпилю палива. У роботах [18; 19] показано, що взаємодія струменів та їх злиття може бути попереджене більш високим тиском палива. Автор [20] вважає, що процес випаровування палива спричиняє злиття факелу розпилю, коли парова фаза переноситься у середину області низького тиску, що виникає між щільно розташованими струменями.

Згідно з Wu [21; 22] визначальною причиною розпаду струменя у форсунці з одним отвором є процес випаровування, який впливає на рух струменю вже на початковому етапі формування факелу розпилю всередині каналу. Основною ж причиною розпаду струменя у форсунці з декількома отворами є різниця тиску, яка спричиняє круговий рух газу.

У роботі Li [23] досліджували падіння температури та зростання тиску по довжині факелу розпилю, які призводять до конденсації пари, що в кінцевому рахунку спричиняє їх об'єднання.

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження процесу розпилю зрідженого газу та розробка рекомендацій для системи живлення зрідженим газом, яка забезпечує ефективний процес сумішоутворення для стаціонарних та середньої потужності транспортних двигунів відповідно до сучасних екологічних стандартів. Експериментальне дослідження розвитку струменя зрідженого газу необхідне для отримання раціональних геометричних та режимних параметрів розпилю палива з ціллю підвищення ефективності системи. Дослідження має базуватись на поетапному огляді процесу, починаючи з адиабатичного кипіння в соплі і закінчуючи утворенням крапель на його виході. Дані експериментальних досліджень також необхідні для уточнення математичної моделі нестационарного процесу випаровування крапель та подальшого дослідження процесу розпилю LPG у перегрітому стані. Враховується процес випаровування перегрітої рідини в рухомому потоці повітря. Суміш пропан-бутану (табл.1) була використана як експериментальне зрідженого палива.

Склад газу вуглеводневого зрідженого

№ п/п	Показник	Одиниця вим.	Фактичне знач.
1.	Октанове число за моторним методом (MON)	-	94,8
2.	Вміст пропану	%	43,2
3.	Вміст пропилену	%	1,7
4.	Вміст бутану	%	53,1
5.	Вміст бутилену	%	0,3
6.	Загальний вміст дієнів, мольний (включаючи 1,3-бутадиєн)	%	менш 0,1
7.	Загальний вміст сірки (після одорування)	мг/кг	11
8.	Залишок після випарювання	мг/кг	16

Виклад основного матеріалу. Схема лабораторної установки показана на рис. 1.

Паливо, зріджена суміш пропан-бутану зберігається у ємності 1 під надлишковим тиском до 15 атмосфер. Паливним насосом 2 рідка фаза подається паливною магістраллю до електромагнітної форсунки 13, яка дозує необхідний заряд палива у потік повітря, що набігає. На зворотному шляху паливо повертається у бак через мультиклапан 17. Тиск у прямій магістралі та у баку фіксується манометрами 14. Електродвигун 2 та зворотний клапан 16 живляться від блоку напругою 12 В. Дослідна ділянка обладнана можливістю вимірювання температур розпилення факелу 18, тепловізійної 5 та відео і фотозйомки 7. Для дослідження дисперсності розпилу зрідженого газу у факел вносився

механічний уловлювач з мірними зразками, покритими сажекеросиновою сумішшю, за допомогою якої відбувалася фіксація розміру крапель розпиленого рідкого палива до моменту його повного випарювання. Форсунка 13 керується універсальним двоканальним приладом 8 (який слугує реле часу). На форсунку подається сигнал 12 В з можливістю точного вибору часу її спрацювання та періоду між сигналами з точністю до 1 мс. Повітряний тракт обладнано вентилятором з частотним регулюванням подачі 10. Витрата визначається за перепадом тиску на звужуючому пристрої рідинними манометрами 11 та електронним дифманометром 9. Додатково швидкість набігаючого потоку повітря у зоні мірної ділянки контролювалася електронним термоанемометром Tenmars TM-4001.

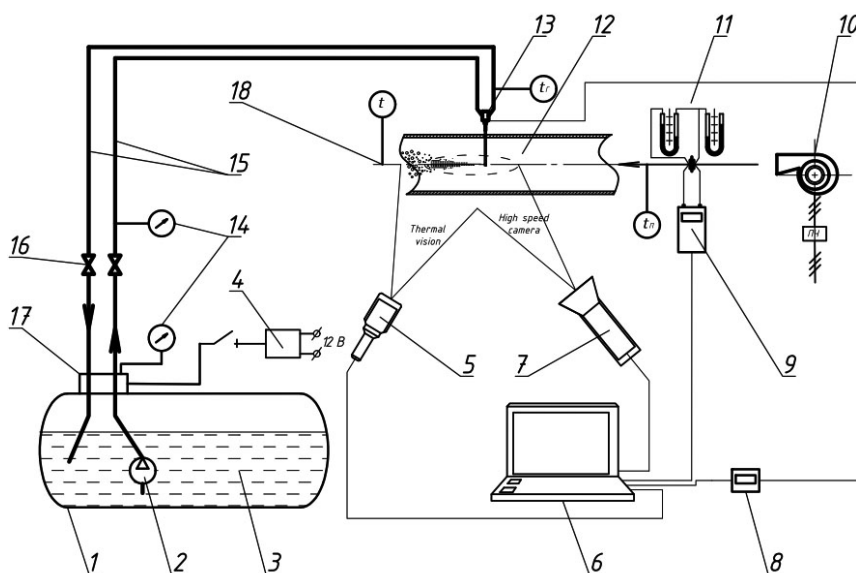


Рис. 1. Схема експериментального стенду

1 – балон для зрідженого газу; 2 – занурений паливний насос; 3 – зріджений газ; 4 – блок живлення паливного насосу; 5 – пристрій для проведення тепловізійного контролю; 6 – компактний комп'ютер; 7 – відеокамера для швидкісної зйомки; 8 – пристрій керування паливною форсункою; 9 – цифровий дифманометр; 10 – вентилятор з пристроєм частотного регулювання обертів вентилятора; 11 – манометри рідинні наклонного типу; 12 – дослідна ділянка; 13 – форсунка; 14 – контроль тиску у системі; 15 – пряма і зворотня паливна магістраль; 16 – зворотний клапан, 17 – мультиклапан, 18 – ділянка вимірювання температури факелу розпилу

Під час дослідження температурного стану факелу розпилення застосовувалися хромель-копелеві термодатчики, розміщення яких реалізовано за схемою рис. 2.

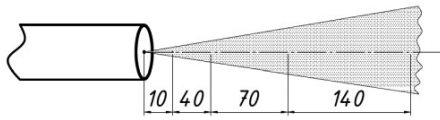


Рис. 2. Схема вимірювання температур в факелі розпилення

Експериментальним шляхом отримано розподілення температури по осі факелу розпиленого зрідженого газу, сигнал з термодатчиків фіксувався у часі, характерний вигляд температурного розподілу якого представлено на рис. 3. Як видно, температура в середині струменя має значення на початковій ділянці свого розвитку нижче -40°C , що відповідає температурі фазового переходу пропану за атмосферного тиску. По мірі віддалення затопленого струменя від форсунки температура підвищується і на відстані 140 мм досягає значення близько 0°C .

Важливим практичним застосуванням результатів приведених досліджень є оцінка ступеню охолодження пального заряду шляхом дроселювання палива.

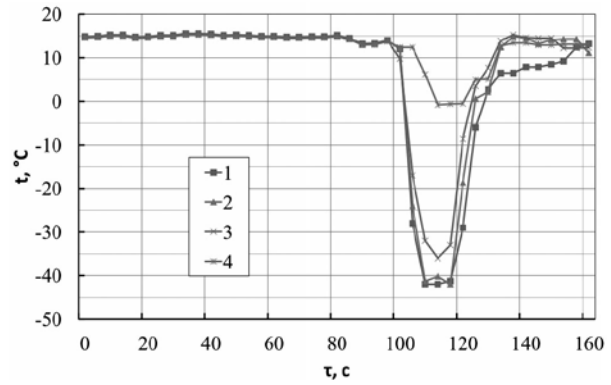
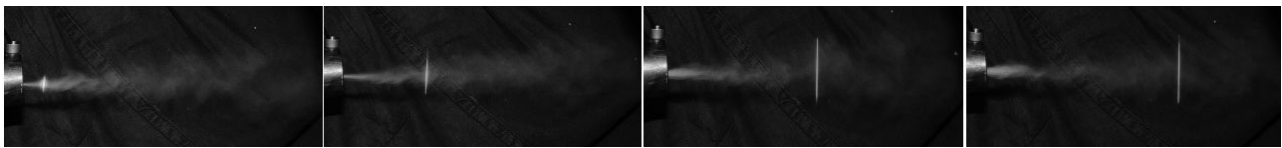


Рис. 3. Розподіл температури по осі затопленого факелу розпилення, 1 - $x=10$ мм, 2 - $x=40$ мм, 3 - $x=70$ мм, 4 - $x=140$ мм

Зниження температури заряду суттєво впливає на коефіцієнт наповнення. Так, охолодження суміші на 20 градусів дозволяє збільшити наповнення циліндру орієнтовно на 5% [24; 25]. Таким чином, процес впорскування зрідженого пропану дозволяє покращити енергетичні показники двигуна без суттєвих конструктивних змін.

Визначення радіального розширення факелу розпилення палива досліджувалося в умовах розвитку процесу під дією потоку повітря, що набігає (рис. 4). При цьому застосовувався наступний перелік обладнання: витратомірні пристрої, датчики температури, лазерне

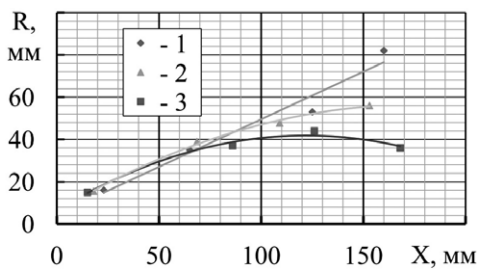


а)

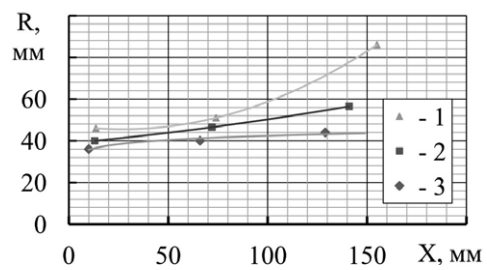


б)

Рис. 4. Візуалізація процесу розвитку паливної суміші лазерним променем при:
а) введенні зрідженого пропан-бутану безпосередньо у колектор, б) затопленого струменя у потоці, що набігає; швидкість повітря $W_a=31,56$ м/с



а)



б)

Рис. 5. Залежність ширини розкриття затопленого (а) струменя та під час введення суміші у колектор (б) по довжині за зміни швидкості потоку повітря, що набігає: 1 - 5 м/с, 2 - 38 м/с, 3 - 50 м/с

підсвічування струменю, обладнання для цифрової фотозйомки. Швидкість потоку повітря з подаючого колектору оцінювалася за допомогою витратомірної діафрагми, коефіцієнт якої становить $K = 0,0157$.

– Швидкість потоку набігаючого повітря визначалась за перепадом тиску на діафрагмі, при цьому додатково фіксувалось значення статичного тиску. Для розрахунку густини повітря вимірювався барометричний тиск, відносна вологість і температура під час вимірювань. Швидкість потоку повітря контролювалася додатково термоанемометром. Різниця показань вимірювань не перевищувала 7%.

За результатами обробки отриманих результатів було виконано графічне зображення розвитку струменя та отримано залежність його радіального розкриття від швидкості повітря та способу введення палива в потік повітря (рис. 4).

Спільною рисою розвитку ширини фронту розпилу для обох випадків є те, що початкова ділянка є геометрично схожою в межах 0...70 мм (рис. 5).

Подальший розвиток струменю чітко визначається швидкістю повітря таким чином: чим більша швидкість потоку, тим менший кут розкриття паливного струменя. За мінімальних швидкостей, діаметр

фронту розпилювання у 2 рази переважав діаметр повітряного колектору, а за максимальних швидкостей – приблизно дорівнював йому.

Головні висновки. Проведене експериментальне та аналітичне дослідження дозволяє розрахувати ступінь охолодження вхідного повітря під час впорскування зрідженого газу у впускний колектор ДВЗ та отримати всі геометричні параметри факелу розпилення, що є необхідним складником під час розробки та переобладнанні цих систем живлення;

– геометричні та фізичні параметри процесу розпилення є базою для розробки математичної моделі процесу миттєвого скипання розпиленої рідкої фази зрідженого газу;

– експериментально доведено, що застосування системи живлення з впорскуванням зрідженого пропан-бутану дозволяє без конструктивних змін двигуна покращити наповнення його циліндрів на 4...5%, що призведе до зростання потужності двигуна за умови забезпечення екологічних показників щодо викидів сажі та твердих частинок;

– результати дослідження можуть бути використані у галузі конструювання стаціонарних двигунів та двигунів внутрішнього згорання.

Література

1. Соломаха А.С., Сірий О.А., Петренко В.Г., Голик А.В., Чирка Т.В. Екологічні аспекти використання зрідженого газу у двигунах внутрішнього згорання. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018. №5. Том 29(68). Ч. 3. С. 62–67.
2. Бізнес Цензор, Споживання ЗВГ в Україні підвищилось на 11.1% у 2019, Січень 2020: URL: https://biz.censor.net.ua/news/3169199/potreblenie_sjijennogo_gaza_v_ukraine_v_2019_godu_uvelichilos_na_111 (дата звернення: 20.01.2020).
3. Zeng W. et al. Atomization and vaporization for flash-boiling multi-hole sprays with alcohol fuels. *Fuel*. 2012. No. 95 (1). P. 287–297.
4. Guo H.J. et al. Effect of flash boiling on microscopic and macroscopic spray characteristics in optical GDI engine. *Fuel*. 2017. No. 190. P. 79–89.
5. Wang Z.M., et al. Microscopic level study on the spray impingement process and characteristics, *Appl. Energy*. 2017. No. 197. P. 114–123.
6. Wang Z.M., et al. Microscopic and macroscopic characterization of spray impingement under flash boiling conditions with the application of split injection strategy. *Fuel*. 2018. No. 212. P. 315–325.
7. Wang Z.M., et al. Influence of deposit on spray behavior under flash boiling condition with the application of closely coupled split injection strategy. *Fuel*. 2017. No. 190. P. 67–78.
8. Wang B.Y., et al. Modelling soot formation from wall films in a gasoline direct injection engine using a detailed population balance model. *Appl. Energy*. 2016. No. 163. P. 154–166.
9. Wang Z., Liu H., Reitz R.D. Knocking combustion in spark-ignition engines. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2017. No. 61, P. 78–112.
10. Guo H., Ma X., Li Y., Liang S., Wang Z., Xu H., Wang J. Effect of flash boiling on microscopic and macroscopic spray characteristics in optical GDI engine. *Fuel*. 2017. No. 190. P. 79–89.
11. Schulz F., Beyrau F. The influence of flash-boiling on spray-targeting and fuel film formation. *Fuel*. 2017. No. 208. P. 587–594.
12. Wu S., Yang S., Wooldridge M., & Xu M. Experimental study of the spray collapse process of multi-hole gasoline fuel injection at flash boiling conditions. *Fuel*. 2019. No. 242, P. 109–123.
13. Wang Z., Jiang C., Xu H., Badawy T., Wang B., Jiang Y. The influence of flash boiling conditions on spray characteristics with closely coupled split injection strategy. *Applied Energy*. 2017. Vol. 187 (Supplement C). P. 523–533.
14. Kale R., Banerjee R. Spray Collapse in a Multi-hole GDI Injector and Its Effect on In-Cylinder Combustion. *Two-Phase Flow for Automotive and Power Generation Sectors / Kaddi, Sangareddy India*: Springer, 2018. P. 43–61.
15. Zeng W., Xu M., Zhang G., Zhang Y., Cleary DJ. Atomization and vaporization for flash-boiling multi-hole sprays with alcohol fuels. *Fuel*. 2012. No. 95, P. 287–97.
16. Lacey J., Poursadegh F., Brear M., Gordon R., Petersen P., Lakey C. Generalizing the behavior of flash-boiling plume interaction and spray collapse for multi-hole direct injection. *Fuel*. 2017. No. 200. P. 345–56.
17. Mojtabi M., Chadwick N., Wigley G., Helie J. The effect of flash boiling on breakup and atomisation in GDI sprays: Proceedings of the 22nd European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems. ILASS Europe, Como Lake, Italy, September 08–10, 2008.
18. Chan Q., Bao Y., Kook S. Effects of injection pressure on the structural transformation of flash-boiling sprays of gasoline and ethanol in a spark-ignition direct-injection (SIDI) engine. *Fuel*. 2014. No. 130. P. 228–40.

19. Jiang C., Parker M.C., Helie J., Spencer A., Garner C.P., Wigley G. Impact of gasoline direct injection fuel injector hole geometry on spray characteristics under flash boiling and ambient conditions. *Fuel*. 2019. No. 241. P. 71–82.
20. Aleiferis P.G., van Romunde Z.R. An analysis of spray development with iso-octane, n-pentane, gasoline, ethanol and n-butanol from a multi-hole injector under hot fuel conditions. *Fuel*. 2013. No. 10. P. 143–68.
21. Wu S., Xu M., Hung D.L., Li T., Pan H. Near-nozzle spray and spray collapse characteristics of spark-ignition direct-injection fuel injectors under sub-cooled and superheated conditions. *Fuel*. 2016. No. 183. P. 322–34.
22. Wu S., Pan H., Xu M., Hung D., Li T. Investigation of rapid atomization and collapse of super heated liquid fuel spray under superheated conditions. *Atom Sprays*. 2016. Vol. 26. P. 1361–1384.
23. Li Y., Guo H., Fei S., Ma X., Zhang Z., Chen L., et al. An exploration on collapse mechanism of multi-jetflash-boiling sprays. *Appl Therm Eng*. 2018. No. 134. P. 20–28.
24. Петренко В.Г., Соломаха А.С., Барабаш П.О. Термодинамічний аналіз процесу впорскування зрідженого пропану до двигуна внутрішнього згорання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2015. № 2. С. 58–64.
25. Piątkowski P. Testing of Ecological Properties of Spark Ignition Engine Fed with LPG Mixture. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2011, P. 607–618.

ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ ЦИРКУЛЯРНОЇ АБО КРУГОВОЇ ЕКОНОМІКИ У ГІРНИЧОВИДОБУВНІЙ ГАЛУЗІ

Тверда О.Я., Репін М.В., Ткачук К.К., Горбачова К.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ
tverdaya@ukr.net, rmv.kpi.iee@gmail.com,
kkttkk297@gmail.com, catgoeco@gmail.com

У зв'язку зі стрімким ростом населення на нашій планеті надзвичайно актуальним є питання задоволення попиту людей необхідними природними ресурсами. Як наслідок, зростають не тільки обсяги використання природних ресурсів, а й обсяги відходів, що накопичуються у довкіллі. Така ситуація властива й одній з найпотужніших галузей України – гірничовидобувній промисловості. Гірничовидобувна промисловість є одним із «лідерів» серед забруднювачів навколишнього природного середовища. Під час відкритої розробки родовищ забруднюється атмосфера, гідросфера та літосфера, що своєю чергою негативно впливає на прилеглі флору та фауну. Очевидно, що гірничовидобувна промисловість України потребує впровадження моделі циркулярної або кругової економіки. Метою впровадження цієї моделі є збереження продукції гірничої галузі в ланцюжку вартості протягом більш тривалого періоду часу, а також повторне використання сировини. Метою дослідження є впровадження моделі циркулярної або кругової економіки у гірничовидобувній галузі. В статті запропоновано замкнений цикл у гірничовидобувній галузі на базі вапнякових кар'єрів. Запропоновано відходи видобутку вапняку повторно використовувати для очищення викидів шкідливих газів, утворених внаслідок масових вибухів на кар'єрах, та очищення стоків, утворених внаслідок роботи гірничозбагачувальних фабрик. Зокрема, запропоновано конструкцію забійки, що передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів і базується на хемосорбції газів відходами видобутку вапняку та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Для нейтралізації мінеральних кислот, що містяться в стічних водах, пропонується застосовувати лужний реагент (вапняне молоко), виготовлений на основі відходів видобутку вапняку. Запропоновані рішення дозволять здійснити апсайклінг відходів видобутку вапняку. *Ключові слова:* циркулярна економіка, гірничовидобувна промисловість, природні ресурси, вапняк, відходи, гірничозбагачувальна фабрика, викиди, масовий вибух, стічні води.

The implementation of the circular economy model in the mining industry. Tverda O., Repin M., Tkachuk K., Horbachova K.

Due to the rapid population growth on our planet, it is extremely important to meet the demand of people with the necessary natural resources. As a result, not only the use of natural resources is increasing, but also the amount of waste accumulated in the environment. This situation is peculiar to one of the most powerful sectors of Ukraine – the mining industry. The mining industry is one of the "leaders" among environmental pollutants. During mining the atmosphere, hydrosphere and lithosphere are polluted, which in turn adversely affects the adjacent oases of flora and fauna. Obviously, Ukraine's mining industry needs a circular economy model. The purpose of this model is to keep mining products in the value chain for a longer period of time and to reuse raw materials. The purpose of the study is the implementation of a circular economy model in the mining industry. A closed loop in mining industry based on limestone quarries is proposed in this article. It is proposed to reuse the limestone waste to clean up the emissions caused by the mass explosions on the quarries and to clean up the effluents generated by the mining and processing plants. In particular, the design of the stemming, which involves a two-stage purification from harmful gases, formed during the explosive destruction of rocks, and is based on the chemisorption of gases by limestone waste, and physico-chemical sorption (adsorption) by zeolites, has been developed. With the implementation of the proposed design of the stemming, it is possible not only to avoid or minimize the tax for pollutant emissions, but also to increase the efficiency of the explosion of the whole structure charges. To neutralize mineral acids contained in sewage, it is proposed to use an alkaline reagent (lime milk) made from limestone waste. The proposed solutions will allow the limestone to be recycled. *Key words:* circular economy, mining, natural resources, limestone, waste, mining and processing plant, emissions, mass explosion, sewage.

Постановка проблеми. Кількість населення світу росте надзвичайними темпами, отже, сьогодні досить гостро постає питання стосовно задоволення попиту населення нашої планети на необхідні ресурси. У межах поточної економічної моделі лінійного виробництва та споживання лише невелика частина відходів використовується повторно, переробляється або продається як вторинні матеріали. Більшість же, включаючи цінні і обмежені ресурси, вивозиться на звалища або ж спалюється [1]. Не є винятком і гірничовидобувна промисловість.

Гірничопромисловий комплекс, як один із видів економічної діяльності, виступає серйозним забруднювачем навколишнього природного середовища. Відкритий спосіб розробки родовищ призводить до забруднення водного та повітряного басейнів забруднюючими речовинами, зміни, порушення структури та погіршення якості родючого шару ґрунту, до значних ландшафтних порушень. Це викликає своєю чергою загибель або деградацію рослинного та тваринного світу. Також значні земельні ділянки займаються хвостосховищами та відвалами гірських порід [2].

Безперервна інтенсифікація видобування мінеральної сировини, особливо відкритим способом, яка зумовлена використанням нової високопродуктивної техніки та технології, призвела до посилення впливу гірничовидобувних підприємств на навколишнє середовище. Тому гірничо-промисловість України, зокрема відкрита розробка родовищ корисних копалин, як одна з базових галузей, які формують національний валовий дохід держави, потребує впровадження моделі циркулярної або кругової економіки. Ця модель прагне зберегти продукти та матеріали в ланцюжку вартості протягом більш тривалого періоду часу та відновлювати сировину протягом терміну експлуатації продуктів для подальшого використання [1].

Актуальність дослідження. Серед вітчизняних і зарубіжних спеціалістів, що зробили значний внесок у розвиток підходів до управління відходами гірничовидобувної галузі, слід відзначити В.П. Бобилева, Є.П. Волинкіну, В.С. Волошина, О. Бент, Л. Белашова, С. Харічкова, З. Бройде, І. Дрозд, В. Коломієць, О. Губанова, О. Боднар, В. Винниченко, І. Корінько, Г. Доусон, О. Череп, Т.Г. Данилову, Т.В. Кожемякіну, В.Є. Лотоша, В.Л. Пілюшенка й інші [3].

Економічну ефективність комплексного використання мінеральної сировини виявляють у різних напрямках. Передусім супутнє вилучення цінних компонентів значно розширює мінерально-сировинну базу. У процесі комплексного використання мінеральної сировини створюються умови для збільшення обсягу виробництва продукції за значно менших капітальних витрат. Найсерйознішою у сучасних умовах стала проблема комплексного використання відходів гірничого виробництва, які включають розкриті породи у разі відкритого способу розробки корисних копалин і відвали порід у разі освоєння родовищ підземним способом, хвости збагачення, шлаки, шлами, золи тощо. На жаль, у господарстві використовують до 2–4% гірничо-промислових відходів, хоча їх значна частина придатна для виробництва різноманітних будівельних матеріалів [4].

У передових державах світу (США, Японія, Німеччині та інші) питанням ефективного використання гірничо-промислових відходів приділяють величезну увагу, у результаті чого рівень їхньої утилізації складає 65–80% [5].

У роботі [6] запропоновано технологію виготовлення будівельної продукції з відходів гірничого виробництва, утворених на каменедробильних заводах під час виробництва щебеню. Окрім того, автор [7] зазначає, що, враховуючи цінність мінеральної сировини для виготовлення щебеню, а саме наявність у її складі кремнезему, перспективним напрямом є вторинна переробка відвалів не лише на будівельну продукцію. Цінність такої сировини надзвичайно висока, оскільки кремнезем використовують для виробництва скла, сонячних батарей, радіотехнічних деталей, мікропроцесорної техніки тощо.

За результатами досліджень стану ґрунтів прилеглих до відвалів територій можна зробити висновок, що породи з високим вмістом кремнезему можуть служити основою для виробництва добрив сільськогосподарського призначення, оскільки підтверджено їх позитивний вплив на активність росту культур.

Проведені дослідження, виробничі випробування і досвід роботи низки промислових виробництв показують, що відходи видобутку і збагачення корисних копалин можуть служити сировиною для виробництва пористих заповнювачів бетонів, будівельної цегли і кераміки, штукатурних і кладочних розчинів, щебеню і інших матеріалів, що користуються великим попитом, насамперед в будівництві [8].

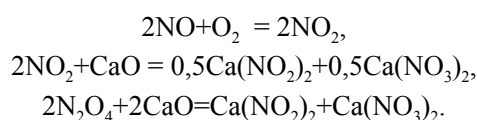
Однак, незважаючи на велику кількість наукових праць, проблема управління поведінкою з відходами гірничого виробництва в умовах функціонування ринкових відносин в Україні залишається актуальною й потребує подальших досліджень у напрямку мінімізації їх впливу на довкілля шляхом впровадження моделі циркулярної або кругової економіки у гірничовидобувній галузі.

Метою дослідження є впровадження моделі циркулярної або кругової економіки у гірничовидобувній галузі.

Виклад основного матеріалу. На багатьох підприємствах з видобутку та переробки вапняків досить велика частина мінеральної сировини після збагачення не використовується й вимагає витрат на її складування. Зазвичай це відходи у вигляді дрібняку. Відходи виробництва вапняків є сумішшю переподібнених вапняків фракцією 0–15 мм з піщано-глинистим матеріалом. Домішки глинистих мінералів у вапняках небажані як у металургійній, так і в будівельній промисловості. Причиною цієї проблеми є: малоефективна технологія переробки сировини; дефіцит інформації про новітні технології та устаткування переробки вапняків; висока вартість процесу.

На базі КПІ ім. Ігоря Сікорського розроблено та запропоновано замкнений цикл у гірничовидобувній галузі, суть якого полягає в тому, що відходи видобутку вапняку можуть бути вторинно використані з метою очищення викидів шкідливих газів, утворених під час вибухових робіт на кар'єрах, а також з метою очищення стічних вод гірничозбагачувальних комбінатів.

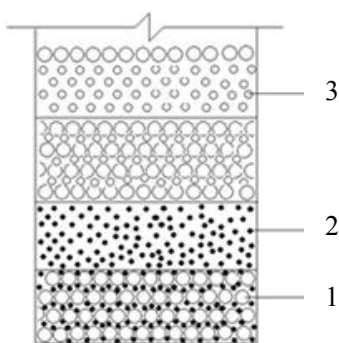
Виходячи із можливого складу пилогазової хмари (CO , CO_2 , NO , NO_2) запропоновано конструкцію забійки (рис. 1), яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів і базується на хемосорбції газів відходами видобутку вапняку та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами [9]. Ефективність використання розробленої забійки свердловин підтверджується наступними рівняннями:



Таблиця 1

Витрати реагентів для нейтралізації кислот

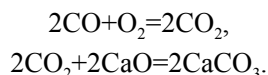
Луги	Кислота			
	сірчана	соляна	Азотна	Оцтова
Негашене вапно	0,56	0,77	0,46	0,47
	1,79	1,3	2,2	2,15
Гашене вапно	0,76	1,01	0,59	0,62
	1,32	0,99	1,7	1,62



1 – щебінка; 2 – відходи видобутку вапняку; 3 – цеоліти

Рис. 1. Конструкція забійки з двостадійною очисткою від шкідливих газів

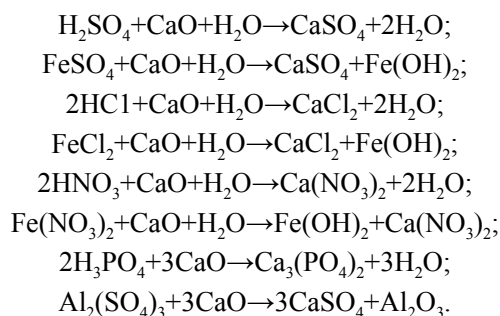
Що стосується CO, то цей оксид є несолетворюючим, а тому безпосередньо з CaO не реагує. Однак за умов вибуху та за наявності кисню повітря можливі такі процеси:



Таким чином, двостадійна очистка від шкідливих газів, яка базується на хемосорбції газів відходами видобутку вапняку та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами, може забезпечити повну хімічну нейтралізацію NO₂ і CO₂, а також нейтралізацію CO цеолітами. Окрім того, таку забійку необхідно враховувати під час вибору раціонального типу вибухової речовини для проведення підричних робіт у конкретних гірничо-геологічних умовах. За умов впровадження запропонованої конструкції забійки можна не лише уникнути або мінімізувати податок за викиди забруднюючих речовин, але й підвищити ефективність дії вибуху зарядів суцільної конструкції.

У процесі збагачення руд поверхні мінералів окиснюються, тому в стоках знаходяться катіони кольорових металів і інші сполуки, що є результатом взаємодії реагентів з мінеральними поверхнями. В стічних водах збагачувальних фабрик можуть бути присутніми і мінеральні кислоти. Частіше в них присутня сірчана кислота, що додається у флотаційний процес як регулятор середовища. Вибір реагенту для нейтралізації кислот стічних вод та осадження металів залежить від розчинності солей, які утворюються в результаті перебігу хімічної реакції [10].

Для нейтралізації мінеральних кислот пропонується застосовувати лужний реагент, вапняне молоко, приготовлене на основі відходів видобутку вапняку. Це рішення підтверджується такими реакціями:



Кількість вапна, необхідна для оброблення стічних вод, визначається за умови повної нейтралізації кислот, які містяться в стічних водах, і приймається на 10% більше від розрахункової (табл. 1).

У табл. 1 над ризикою наведена доза реагентів у грамах на 1 г кислоти, під ризикою наведена кількість кислоти у грамах на 1 г лугів. Кількість реагентів, які необхідні для осадження металів із стічних вод, наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Витрати реагентів, необхідних для осадження металів

Метал	Витрати реагентів г/г	
	CaO	Ca(OH) ₂
Цинк	0,85	1,13
Нікель	0,95	1,29
Мідь	0,88	1,16
Залізо	1	1,32
Свинець	0,27	0,36

Такий підхід дасть змогу підвищити ефективність осадження важких металів і нейтралізації кислот стічних вод, а також допоможе вирішити проблему складування відходів видобутку вапняку.

Висновки. Розроблено та запропоновано замкнений цикл у гірничовидобувній галузі, суть якого полягає в тому, що відходи видобутку вапняку можуть бути вторинно використані з метою очищення викидів шкідливих газів, утворених під час вибухових робіт на кар'єрах, а також з метою очищення стічних вод гірничозбагачувальних комбінатів.

Література

1. Кругова економіка – що це за явище, та чому воно набирає небаченої популярності у всьому світі. URL: <https://gpp.golocal-ukraine.com/krugova-ekonomika-shho-tse-za-yavyshe-ta-chomu-vono-nabyrae-nebachenoj-populyarnosti-u-vsomu-sviti> (дата звернення: 23.04.2020).
2. Гінзула М. Оцінка джерел забруднення повітряного басейну викидами промислового підприємства ТзОВ «Бурдяківський спецкар'єр». *Наукові записки*. 2011. № 2. С. 196–201.
3. Павленко І. Поводження з відходами підприємств гірничо-збагачувальної галузі та їх вплив на навколишнє середовище. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2012. №3 (54). С. 15–18.
4. Іванов Є.А., Біланюк В.І. Ефективність використання мінеральної сировини і гірничопромислових відходів в Україні. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Трускавець, 5–8 жовтня 2015 р. Трускавець, 2015. С. 344–351.
5. Галецький Л., Бент О., Макогон В., Польской Ф. Техногенные месторождения Украины новый источник минерального сырья. *Геологический журнал*. 1995. № 2. С. 17–21.
6. Стасюк С.М. Вапнічна В.В. Виготовлення будівельної продукції з відходів гірничого виробництва на прикладі МКЗД. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/6187/71.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 23.04.2020).
7. Тверда О. Перспективи утилізації відходів видобутку нерудних корисних копалин. *Екологія – філософія існування людства*: зб. мат. доп. VI міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 17–19 квіт. 2019 р. Київ, 2019. С. 113–115.
8. Авраменко С., Гуляев В., Горбунов О. Атлас схем та технологій з дисципліни «Основи маловідходних технологій». URL: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/8/6-29-mz2.pdf> (дата звернення: 23.04.2020).
9. Тверда О.Я., Пляцук Л.Д. Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2018. Вип. 1/2018 (21). С. 103–115.
10. Промислова екологія. URL: http://dn.khnu.km.ua/dn/k_default.aspx?M=k1217&T=03&lng=1&st=0 (дата звернення: 23.04.2020).

ТЕХНОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЛІАКРИЛАМІДНОЇ ПИЛОЗАХИСНОЇ КІРКИ НА ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛАХ

Тіщенко М.О.¹, Філін В.М.¹, Іващенко Т.Г.²

¹ТОВ «НВО «Екоальянс»

вул. Кирилівська, 6А, 04080, м. Київ

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

mtyshchenkova@ecoalliance.com.ua, filin_v@i.ua, t1313@ukr.net

Більшість теплоелектростанцій, що використовують як паливо кам'яне вугілля, зазвичай мають поруч золошлакопалювачі (золошлаковідвали), на яких розміщуються десятки тисяч тон золи та шлаку. У літній період, коли окремі поля золошлаковідвалів пересихають, виникає загроза їх цвітіння, що негативно впливає на санітарний стан навколишньої території, враховуючи складний хімічний склад золи. З одного гектара підсушеної поверхні золошлаковідвалів за швидкості вітру 5–6 м/с може утворюватися пилогазове забруднення до 5 т летючого попелу на добу.

Зокрема, на цей час актуальною проблемою з погляду екологічної безпеки є питання розповсюдження золи золошлакопалювача Дарницької ТЕЦ-4 (ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ»). Так, площа зневодненої частини золошлакової суміші золошлакопалювача ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» (до 2012 року – Дарницька ТЕЦ-4) в м. Києві становить не менше 28500 м² (20,5% від загальної площі). У грудні 2013 року міська санітарно-епідеміологічна станція на підставі здійснених досліджень скоротила нормативну санітарно-захисну зону золошлаковідвалу з 300 до 150–210 м, в результаті чого мешканці прилеглих будинків стали відчувати присутність золи в повітрі через збільшення площі сухої частини золошлаковідвалу. Для запобігання запилення від сухої частини золошлаковідвалу прилеглої території інструкцією ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» передбачений її періодичний полив водою. Проте це не вирішує проблеми, а саме негативного впливу на стан навколишнього природного середовища та здоров'я населення, що проживає у безпосередній близькості до об'єкту.

Тому було проведено ряд експериментальних досліджень з визначення технологічної ефективності розчинів поліакриламідів серії ECOFLOC з різними функціональними групами, а також ефективності одержаної поліакриламідної захисної кірки, з метою пилопригнічення дрібнодисперсних (до 0,2 мм) золошлаків.

Оптимізована концентрація розчину і підібрана найбільш ефективна марка поліакриламідів для пилоподавлення на золошлаковідвалах. *Ключові слова:* запилення, золошлак, поліакриламід, розчин.

Technological efficiency of polyacrylamide dust protective cases on ash and slag dumps. Tishchenkova M., Filin V., Ivashchenko T.

Most coal-fired thermal power plants typically have ash and slag dumps next to them that hold tens of thousands of tons of ash and slag. In summer, when some fields of ash and slag dumps dry up, there is a threat of their flowering, which negatively affects the sanitary condition of the surrounding area, given the complex chemical composition of ash. From one hectare of the dried surface of ash and slag dumps at a wind speed of 5–6 m/s dust and gas pollution up to 5 tons of fly ash per day can be formed.

In particular, today the issue of distribution of ash and slag ash of Darnytska CHP-4 (LLC “EURO-RECONSTRUCTION”) is an urgent problem from the point of view of ecological safety. Thus, the area of the dehydrated part of the ash-slag mixture of the ash-slag storage of EURO-RECONSTRUCTION LLC (until 2012 – Darnytska CHP-4) in Kyiv is not less than 28,500 m² (20.5% of the total area). In December 2013, the city sanitary epidemiological station reduced the normative sanitary protection zone of the ash and slag dump from 300 to 150–210 m, as a result of which residents of nearby houses began to feel the presence of ash in the air due to increasing dry area of the ash and slag dump.

To prevent pollination from the dry part of the ash and slag dump of the adjacent territory, the instruction of LLC “EURO-RECONSTRUCTION” provides for its periodic watering. However, this does not solve the problem, namely the negative impact on the environment and the health of the population living in the immediate vicinity of the facility.

Therefore, a number of experimental studies were conducted to determine the technological efficiency of polyacrylamide solutions of the ECOFLOC series with different functional groups, as well as the efficiency of the obtained polyacrylamide protective crust, in order to dust-suppress fine (up to 0.2 mm) ash. *Key words:* dusting, ash and slag, polyacrylamide, solution.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Теплоелектростанції, які використовують вугільне паливо, зазвичай мають поруч золошлаковідвали, на яких концентруються частинки золи та шлаку, що спрямовуються туди системою гідрозоловидалення. Вихід золи та шлаку під час спалювання кам'яного вугілля становить від 5 до 40% [1]. У літній період, коли окремі ділянки золошлаковідвалів пересихають, виникає загроза цвітіння, що

негативно впливає на санітарний стан прилеглої території, враховуючи дрібнодисперсний і складний хімічний склад золи [2]. Беручи до уваги в окремих випадках фактор близького розташування житлового фонду і невеликий розмір санітарно-захисної зони (наприклад, для золошлакопалювача ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» в м. Києві санітарно-захисна зона становить 150–210 м), а також те, що з одного гектара підсушеної поверхні золошлако-

відвалу за швидкості вітру 5–6 м/с може виноситися на добу до 5 т летючого попелу [3], задача пилоподавлення золошлаків є досить актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На відміну від воднополімерних дисперсій, що утворюють на поверхні золошлаків тонку плівку, водні розчини поліакриламід (ПАА) у вигляді гелю проникають в товщу золошлаків і утворюють під час підсихання полімерну кірку, що запобігає запиленню. Відомо, що поліакриламід застосовують для кондиціонування ґрунту з метою запобігання його ерозії [4–6]. За даними [4] поліакриламід зв'язується з частинками ґрунту за допомогою електростатичних взаємодій, утворюючи агрегати, що запобігають запиленню. При цьому катіонні ПАА легко адсорбуються на негативно заряджених мінералах, тоді як аніонні ПАА можуть скріплювати поверхню ґрунту через багатовалентні катіони [5]. Адсорбція посилюється іон-дипольною взаємодією між групами $C=O$ в полімері і катіонами, здатними до обміну з мінералом, а також взаємодією за рахунок водневих зв'язків. Аніонний поліакриламід використовується для боротьби з ерозією ґрунту і з метою пилоподавлення частіше за інших ПАА через його низьку рухливість в ґрунті і нижчого рівня залишкового акриламідного мономера (<0,05%) [6].

Натепер ПАА застосовується для боротьби з ерозією приблизно на 800 000 га зрошуваних земель в США з використанням для цієї мети до 18 000 т ПАА в рік [4; 7]. При цьому використовується до 20 кг на гектар поліакриламід з молекулярною масою $(1-20) \cdot 10^6$ і концентрацією розчину до 10 мг/л [4; 6–8].

Мета статті і новизна матеріалу. Метою статті є узагальнення експериментальних даних стосовно технологічної ефективності розчинів поліакриламід серії ECOFLOC з різними функціональними групами, а також ефективності одержуваної

поліакриламідної захисної кірки, з метою пилопригнічення дрібнодисперсних (до 0,2 мм) золошлаків. Оптимізована концентрація розчину і підібрана найбільш ефективна для пилоподавлення на золошлаковідвалах марка поліакриламід.

Виклад основного матеріалу. Під час проведення експериментів було аналізовано золошлаки ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» (м. Київ), що використовує як паливо вугілля марки АШ з зольністю 27–30%. Вологість використовуваного в експерименті золошлаку, визначена за ГОСТ 28268-89, становить 9,5% мас., дисперсність – 6–240 мкм. Склад залишкового незгорілого вугілля в золошлаках – 3% мас., ефективна питома активність природних радіонуклідів – 234 Бк/кг.

Як пилоподавлюючий агент використовувався водний розчин поліакриламід серії ECOFLOC з концентрацією від 0,05 до 0,5% мас. Ряд експериментів з використанням різних марок ПАА цієї серії дозволив відібрати для подальшої оптимізації наступні найбільш технологічні марки з урахуванням в'язкості одержуваних розчинів і ефекту пилоподавлення під час підсихання захисної кірки:

- Аніонний ПАА марки AR-3 (молекулярна маса 16–19 млн., концентрація іонів – 32–34% мас.);
- Катіонний ПАА марки CR-8 (молекулярна маса 6–8 млн., концентрація іонів – 46–48% мас.);
- Неіоногенні ПАА марок N-2 (молекулярна маса 6–8 млн.) і N-3 (молекулярна маса 11–13 млн.).

Кінематична в'язкість водних розчинів ПАА визначалася відповідно до ГОСТ 18249 [9] на скляному віскозиметрі ВПЖ-4 за постійної температури 20°C. Для визначення залишкового пилу на поверхні зразка, не пов'язаної розчином ПАА, застосовувався модифікований гравіметричний метод визначення пилу в повітрі. При цьому на поверхню висушеного зразка золошлаку поміщався попередньо зважений перхлорвініловий аналітичний фільтр АФА-ВП-20,

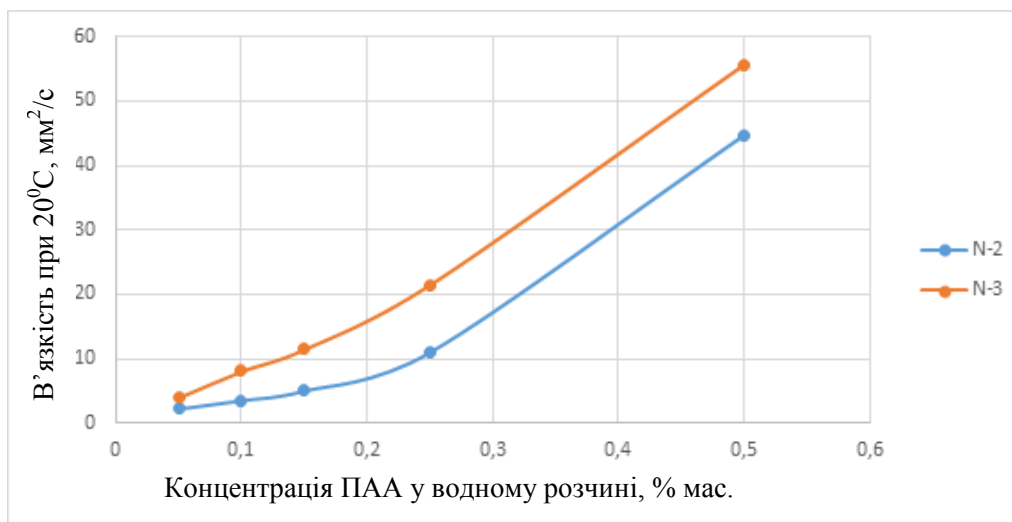


Рис. 1. Залежність в'язкості водних розчинів неіоногенних ПАА марок N-2 і N-3 від їх концентрації в водному розчині

і на нього встановлювався скляний стаканчик з каліброваною гирею масою 100 г на період часу 10 сек. Після цього фільтр складався навпіл (пилем в середину), поміщався в конверт з кальки і зважувався повторно. Різниця у вазі визначала кількість залишкового пилу, не пов'язаного розчином ПАА.

В'язкість 0,5%-х водних розчинів деяких марок ПАА при 20°C може досягати десятків тисяч сСт (мм²/с), що робить розчин технологічно неприйнятним для використання під час пилоподавлення. Тому була вивчена в'язкість перспективних марок ПАА в діапазоні концентрацій в розчині від 0,05 до 0,5% мас. На рисунках 1 і 2 представлені залежності в'язкості водних розчинів ПАА від їх концентра-

ції у водному розчині відповідно для неіоногенних ПАА (N-2 і N-3), а також для марок AR-3 і CR-8.

З результатів експерименту, представлених на рис. 1 і 2, видно, що прийнятним технологічно рівнем в'язкості за температури 20°C (не більше 100 мм²/с) мають розчини неіоногенних ПАА (N-2 і N-3) з концентрацією до 0,5% мас., розчини аніонного ПАА марки AR-3 з концентрацією до 0,2% мас. і розчини катіонного ПАА марки CR-8 з концентрацією до 0,17% мас.

Водні розчини вищенаведених марок ПАА були використані для вивчення стійкості пилозахисної поліакриламідної кірки після нанесення ПАА на поверхню золошлаків в період часу до 100 діб (без урахування впливу атмосферних чинників).

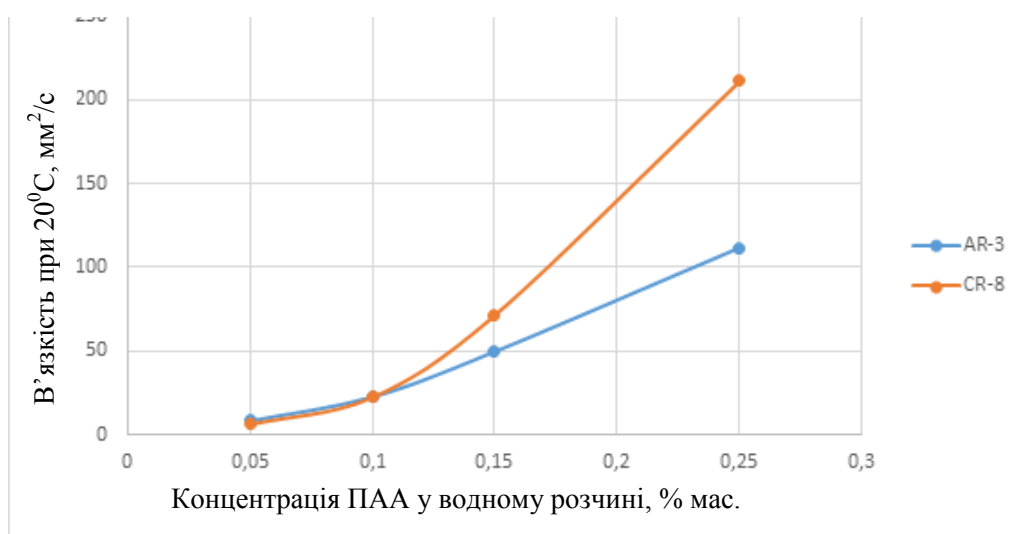


Рис. 2. Залежність в'язкості водних розчинів ПАА марок AR-3 і CR-8 від їх концентрації у водному розчині

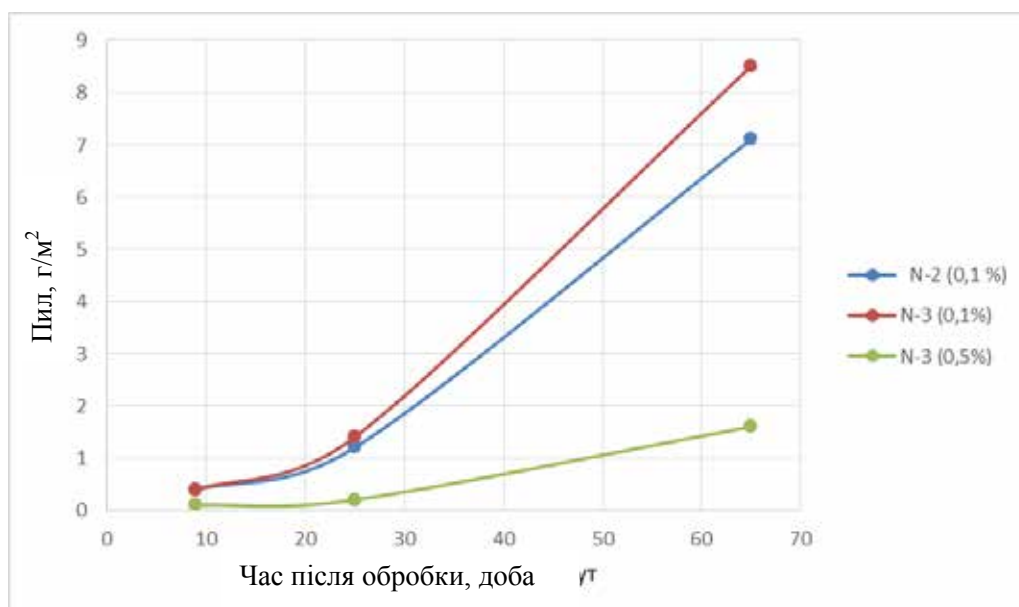


Рис. 3. Залежність кількості пилу на поверхні золошлаку від часу його обробки водним розчином неіоногенних ПАА без урахування впливу атмосферних факторів (витрата розчину – 8,4 л/м²)

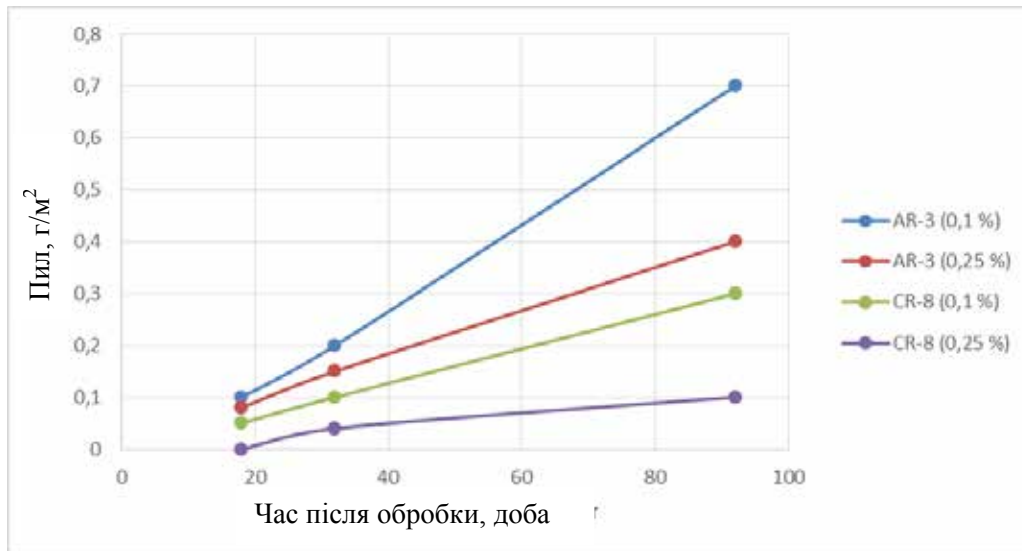


Рис. 4. Залежність кількості пилу на поверхні золошлаку від часу його обробки водним розчином ПАА марок AR-3 і CR-8 без урахування впливу атмосферних факторів (витрата розчину – 8,4 л/м²)

Таблиця 1

Ефективність пилоподавлення на поверхні золошлаку після обробки водними розчинами ПАА марок AR-3 і CR-8

Марка ПАА	Концентрація розчину, % мас.	Час після обробки, доба	Ефективність пилоподавлення, %
Вода	0	1	58,2
AR-3	0,1	32	97,5
AR-3	0,1	92	91,1
AR-3	0,15	90	93,0
AR-3	0,25	32	98,1
AR-3	0,25	92	94,9
CR-8	0,1	32	98,7
CR-8	0,1	92	96,2
CR-8	0,25	32	99,5
CR-8	0,25	92	98,7

На рис. 3 і 4 представлені залежності кількості пилу на поверхні золошлаків від часу його обробки водним розчином поліакриламиду (різних марок) в добах за постійного фіксованого використання розчину ПАА для пилоподавлення, що дорівнює 8,5 л/м². Означена витрата розчину забезпечує гарантовано достатню середню глибину просочування золошлаку і товщину утворення кірки в розмірі 8,5 мм. Збільшення витрати розчину на квадратний метр економічно недоцільно, тоді як зменшення витрат несе ризик утворення занадто тонкої захисної кірки ПАА в окремих місцях нерівного рельєфу поверхні золошлаків. З огляду на дані, представлені на рис. 3, неіоногенні ПАА малоєфективні для пригнічення пиління золошлаків. Стабільність захисної кірки, яка утворюється на поверхні золошлаків 0,1%-ми розчинами N-2 і N-3, недостатня. Вже через 3 тижні рівень пилу на поверхні перевищує 1,0 г/м²,

а через 65 діб перевищує 7,0 г/м². Більш в'язкий розчин з концентрацією 0,5% мас. показує кращий результат, але недостатній для ефективного практичного застосування. Результати експерименту підтверджують дані інших дослідників [10] про те, що неіоногенні ПАА нездатні ефективно зв'язувати частинки ґрунту через відсутність у їх складі функціональних груп. Розчини ПАА марок AR-3 і CR-8, що містять в своєму складі функціональні групи (аніонні і катіонні), значно ефективніші для пилоподавлення, що видно з рис. 4. Це може пояснюватися як ефектом цементації і коагуляції в результаті коагуляції і цементуючої дії катіонів [11], так і внаслідок протікання на поверхні золошлаків хемосорбції, а також можливої реакції імідізації, що призводить до додаткового зміцнення захисної плівки поліакриламиду.

У таблиці представлені порівняльні дані, що стосуються ефективності пилоподавлення золошлаків

водними розчинами ПАА марок AR-3 і CR-8 з концентрацією від 0,1 до 0,25% мас. Ефективність боротьби з пилом визначалася за співвідношенням кількості вловлювання пилу на обробленій поліакриламідом поверхні золошлаків до кількості пилу на необробленій ПАА поверхні. Аналіз даних таблиці виявив, що навіть за концентрації ПАА в розчині 0,1% мас. ефективність пилоподавлення через 3 місяці після обробки поверхні золошлаків перевищує 91%, а для технологічно найбільш прийнятних по в'язкості 0,2% розчину AR-3 і 0,17% розчину CR-8 становить відповідно 93,7 і 97,5%. У процесі експерименту було також виявлено, що катіонний ПАА в технічній воді дає флокулюючий ефект, і його розчини повинні бути використані відразу після приготування. Цей фактор виключає можливість тривалого зберігання розчинів катіонних ПАА.

Головні висновки. Розчини CR-8 будь-якої концентрації, незважаючи на свою ефективність, непридатні для зберігання через флокулюючий ефект в технічній воді і мають бути використані відразу після приготування. Технологічно найбільш прийнятним для пилоподавлення золошлаків є водний розчин ПАА марки AR-3 з концентрацією 0,15–0,17% мас., застосування якого навіть через три місяці після нанесення на поверхню золошлаків знижує запилювання в 16 разів порівняно з виділенням пилу необробленої поверхні.

Перспективи використання результатів дослідження. Дослідження доцільно продовжити в напрямку оптимізації витрат робочого розчину на одиницю площі і концентрації розчину поліакриламиду з метою перевірки ефективності пилозахисної кірки з урахуванням впливу атмосферних чинників.

Література

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов-на-Дону : «Феникс», 2007. 356 с.
2. Тищенко М.О., Филін В.Н., Селиванов В.В., Печеный В.Л. Оценка золошламонакопителя Дарницкой теплоэлектроцентрали как потенциального источника пыления. *Экология и промышленность*. 2019. № 2. С. 121–129.
3. Лисненко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование. Справ. издание в 3-х кн. Кн. 3. Москва : Теплотехник, 2004. 545 с.
4. B. Xiong, R.D. Loss, D. Shields, T. Pawlik, R. Hochreiter, A. Zydney, M. Kumar. Polyacrilamide degradation and its implications in environmental systems. *Nature partner journals Clean Water*. 2018. Vol. 1. № 17. S. 1-9; doi: 10.1038/s41545-018-0016-8.
5. D. A. Laird. Bonding between polyacrylamide and clay mineral surfaces. *Soil Science*. 1997. № 162. S. 826–832.
6. F.W. Barvenik. Polyacrilamide characteristics related to soil applications. *Soil Science*. 1994. № 158. S. 235.
7. R.E. Sojka, D.L. Bjomeberg, J.A. Entry, R.D. Lentz, W.J. Orts. Polyacrilamide in agriculture and environmental land management. *Advances in Agronomy*. 2007. № 92. S. 75–162.
8. H. Smith, G. Levy, I. Shainberg. Water-droplet energy and soil amendments: effect on infiltration and erosion. *Soil Science Society of America Journal*. 1990. № 54. S. 1084-1087.
9. ГОСТ 18249-72. Пластмассы. Метод определения вязкости разбавленных растворов полимеров. Москва : ИПК Издательство стандартов. 2000.
10. Николаев А.Ф., Охрименко Г.И. Водорастворимые полимеры. Ленинград : Химия, 1979. 144 с.
11. Ахмедов К.С., Арипов Э.А., Вирская Г.М., Глекель Ф.Л., Зайнутдинов С.А., Погорельский К.В., Сидорова Т.М., Хамраев С.С., Шпилевская И.Н. Водорастворимые полимеры и их взаимодействие с дисперсными системами. Ташкент : «ФАН», 1969. 159 с.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 598.2: 591.5(477.64)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.10>

ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ ОРНІТОФАУНИ ТА ЗАГРОЗ ДЛЯ ПТАХІВ ВЗДОВЖ ПРОЄКТОВАНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ «ЯКИМІВКА – МОЛОЧАНСЬК» У ЗАПОРІЗЬКІЙ ОБЛАСТІ

Андрюшенко Ю.О.¹, Кошелєв О.І.², Дядічева О.А.¹,
Кошелєв В.О.², Попенко В.М.¹, Черничко Р.М.¹

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, waderbirds@gmail.com;

²Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького
вул. Гетьманська, 20, 72312, м. Мелітополь, Запорізька область
aikoshelev4971@gmail.com, kochelev10041@gmail.com

Наводяться результати досліджень птахів території проєктованої ЛЕП, що субширотною смугою простягається вздовж вже діючих двох ліній ЛЕП від смт. Якимівка Якимівського р-ну до м. Молочанськ Токмацького р-ну Запорізької області на протязі 120 км. За даними 2010-2019 рр. визначено сучасний склад місцевої орнітофауни, у 2018–2019 рр. оцінено можливі негативні впливи проєктованої ЛЕП на птахів у процесі її спорудження та функціонування. Орнітофауна дослідженої території складається з 215 видів, що належать до 17 рядів, з яких 130 видів достовірно або ймовірно гніздяться, 107 видів регулярно або спорадично зустрічаються на зимівлі; з них 42 види занесені до Червоної книги України (2009). Найбільше видове різноманіття птахів властиве міграційному періоду (195 мігрантів та 17 осілих видів). Більша частина проєктованої ЛЕП буде проходити через агроландшафти, де домінують птахи, що проводять в них більшу частину свого життєвого циклу. Це, насамперед, грак (середня чисельність в облікових квадратах у жовтні – лютому 28,45 ос./км), шпак (21,44 ос./км), горобець польовий (2,16 ос./км) і горлиця садова (1,23 ос./км). Численними бувають також деякі лісові види, що під час міграцій і взимку живляться на полях або на межі агроландшафтів і лісу: чикотень (3,87 ос./км), щиглик (5,77 ос./км), зяблик (2,37 ос./км), коноплянка (1,19 ос./км). Чисельність інших видів, у тому числі степового комплексу, в період досліджень була незначна і не перевищувала 0,4 ос./км. Доля великих птахів, для яких ЛЕП є великою загрозою, складає 1–5 %. Зазначено 6 випадків загибелі птахів від зіткнення з дротами ЛЕП. Великі за розмірами птахи маневрують у польоті між дротами двох вже існуючих ЛЕП, що може бути небезпечним для них при несприятливих погодних умовах. Через посушливий стан водоєм деякі колоніальні поселення лелекоподібних птахів у заплавах річок припинили існування. Ці зміни насамперед впливають на стан орнітокомплексів у південній частині території досліджень в дельтовій зоні р. Молочної та на ділянці її заплави в районі сіл Рибалівка – Світлодолинське, розташованих в радіусі 3-5 км від місця проходження проєктованої ЛЕП. Найбільш небезпечним для птахів буде відтинок ЛЕП, що перетинає широку частину річкової долини поза населеними пунктами, у поперечному перерізі. Таких ділянок варто максимально уникати під час проєктування ЛЕП або обладнувати їх птахозахисними пристосуваннями і такими, що відлякують птахів від ліній електромереж. Актуальними залишаються дослідження гніздового, післягніздового та зимового періодів, а також моніторинг перельотів птахів в зоні ЛЕП на протязі їх річного циклу для розробки птахозберігаючих заходів. *Ключові слова:* орнітофауна, птахи, ЛЕП, рідкісні види, експертна оцінка, моніторинг.

Expert estimation of the current state of the avifauna within the area of planned electrical power line “Yakymivka – Molochansk” and its threats for birds (Zaporizhzhya region). Andryushchenko Yu., Koshelev O., Diadicheva O., Koshelev V., Popenko V., Chernichko R.

The results of investigation of birds within the area of planned electrical power line “Yakymivka – Molochansk” are presented. The study area extends along the two already existing electrical power lines for 120 km: from the urban village Yakymivka (Yakymivsky District) to Molochansk (Tokmak District) of Zaporizhzhya Region. The current species composition of local avifauna in 2010–2019 has been determined and possible negative effects of planned electrical power line on birds during its construction and operation were evaluated in 2018–2019. The avifauna of the study area consists of 215 species of 17 orders, of which 130 species are reliably or probably breeding, 107 species occur regularly or sporadically during winter; 42 of them are listed in the Red Data Book of Ukraine (2009). The largest species diversity of birds is typical for the migration period (195 migrants and 17 sedentary species). Most part of the planned electrical power line will pass through agro-landscapes, where dominated species are birds that spend here most of their

life cycle. First of all, this is a Rook (the average number in census squares in October – February is 28.45 ind. / km), Starling (21.44 ind. / km), Tree Sparrow (2.16 ind. / km) and Collared Dove (1.23 ind. / km). Some forest species that feed in fields or on the borders of agro-landscapes and forests during migrations and in winter also are numerous: Fieldfare (3.87 ind. / km), Goldfinch (5.77 ind. / km), Chaffinch (2.37 ind. / km), Linnet (1.19 ind. / km). The number of other species, including the species of steppe complex, during the study period was low and did not exceed 0.4 ind. / km. The proportion of large birds was 1–5 %, for them the electrical power line is the most dangerous threat. Six cases of bird mortality caused by collision with wires of the power lines have been noted. Large birds maneuver in flight between the wires of two existing power lines, that can be dangerous for them in adverse weather conditions. Due to drying up of reservoirs some colonial settlements of herons in the river floodplain ceased to exist. These changes, first of all, affect the status of ornithocomplexes in the southern part of the study area – in the Molochna River Delta and in its floodplain area near the villages Rybaliivka – Svitlodolynske, located within 3–5 km from the planned electric power line. The most dangerous for birds will be the power line segment that crosses a wide part of the river valley in a transverse direction, outside the settlements. Such segments should be avoided as much as possible in designing the power lines and they should be equipped with devices for bird protection and for frightening birds away from the power lines. Researches of breeding, post-breeding and wintering periods of birds remain relevant, as well as monitoring of bird flights around the power lines during their annual cycle in order to develop bird-protection measures. *Key words:* avifauna, birds, electrical power lines, rare species, expert evaluation, monitoring.

Постановка проблеми. Останнім часом у світі загострилась проблема впливу ЛЕП на птахів, особливо в Азово-Чорноморському регіоні України, де у степовій частині вже розташована безліч електростанцій (ВЕС, ГЕС, ТЕС, АЕС) і великих споживачів електроенергії – як значних підприємств (металургійних, машинобудівних, хімічних та ін.), так і великих міст (у чотирьох з яких проживає більш ніж по 0,5 мільйона мешканців, а ще в чотирьох – більш ніж по мільйону). Всі вони з'єднані густою мережею повітряних ліній електропередачі (ЛЕП).

Актуальність дослідження. До останнього часу оцінка стану ЛЕП та їх загроз для птахів залишається на півдні України недослідженим аспектом, зокрема у долинах річок та на вододілах між ними.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Науково-дослідна робота виконувалась на замовлення ТОВ «ЕНБІТ УКРАЇНА» за Договором № 2/0819 від 1 серпня 2019 р. «Оцінка стану орнітофауни території проєктованої лінії електропередачі 330 кВ ПС Азовська ВЕС – ПС Молочанська»

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою для роботи стали публікації Г.М. Салтикова, Ю.О. Андрющенка та інших учених [1–5].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Птахи традиційно використовуються в якості зручного об'єкту для моніторингу стану навколишнього середовища. Велика щільність існуючих електромереж призводить до значної загибелі птахів. Тому дуже важливо проведення експертних оцінок вже діючих ЛЕП і умов будівництва нових ЛЕП, щоб мінімізувати масштаби загибелі птахів на них.

Новизна. Вперше вивчено видовий склад, розміщення та динаміку чисельності птахів в гніздовий, міграційний і зимовий періоди на території будівництва майбутньої ЛЕП. Проведена оцінка можливої загрози нової ЛЕП для птахів, особливо раритетних видів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Мережа ЛЕП в регіоні продовжує розширюватися слідом за інтенсивним розвитком рекреаційної інфраструктури на морських узбережжях, внаслідок

повсюдного будівництва вітрових та сонячних електростанцій. У зв'язку з цим, дослідження впливу енергетичних об'єктів на птахів є дуже актуальними, особливо з урахуванням орнітологічної унікальності Азово-Чорноморського регіону України, завдяки взаємопроникненню видів степових, гірсько-лісових і водно-болотних орнітокомплексів, збереження біорізноманіття загалом і раритетних видів, а також з урахуванням найвищої в межах країни концентрації птахів в окремі сезони року [4,6,7].

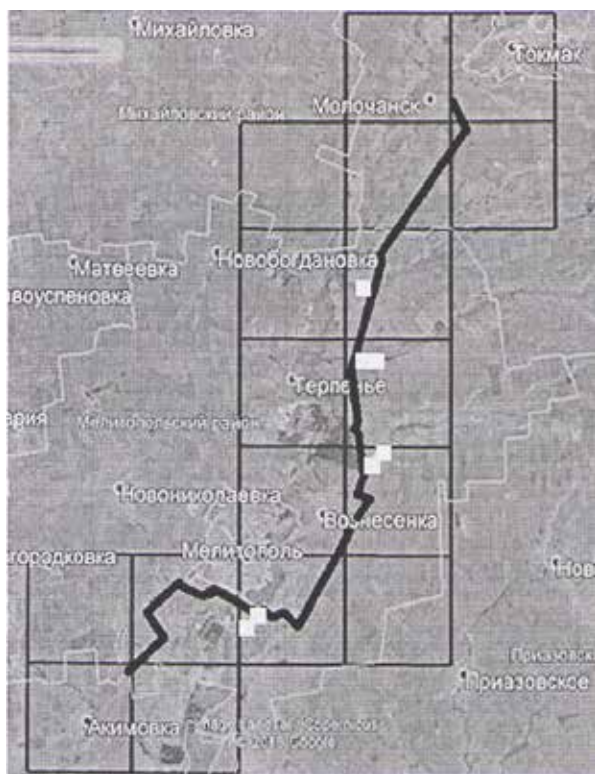
Головна мета роботи. Метою є характеристика сучасного стану орнітофауни території проєктованої ЛЕП, оцінка можливого впливу її будівництва і роботи на птахів та розроблення пропозицій із мінімізації негативного впливу у разі його наявності.

Матеріал і методики дослідження. Ділянка, що пропонується для будівництва ЛЕП, простягається вздовж східної частини долини р. Молочна від м. Молочанськ на півночі до с. Костянтинівка на півдні, а також перетинає її в широтному напрямку від с. Костянтинівка до с. Фруктове (рис. 1А). Проєктована ЛЕП перетинатиме субмеридіанально південну частину Токмацького р-ну, майже весь Мелітопольський р-н та північний край Якимівського р-ну Запорізької області. Орнітологічні дослідження проводились на півдні Запорізької області у жовтні 2018 – лютому 2019 років. Обстеження з виявлення потенційно птахонебезпечних ділянок ЛЕП проводилися із застосуванням загальноприйнятих орнітологічних методик [3, с. 6–11]. Обліки птахів велися по обліковим квадратам розміром 10х10км, з виділенням моніторингових площ в період гніздування птахів (рис. 1А, Б). із зупинками в місцях, з яких добре проглядаються відкриті території, і оглядом їх через телескопи. Обліки дозволили оцінити чисельність та розповсюдження звичайних та масових видів, виявити місця їх великих концентрацій. Піші обліки проводилися кожні пів місяця в місцях перетинання проєктованою ЛЕП долин річок як місць із максимальною орнітологічною напруженістю: р. Курошани (між селами Кам'янське та Орлове), р. Юшанли (між селами Зарічне та Берегове), р. Арабка (вздовж села Тихонівка) та р. Молочної (між селами Садове і Костянтинівка). Зазначені

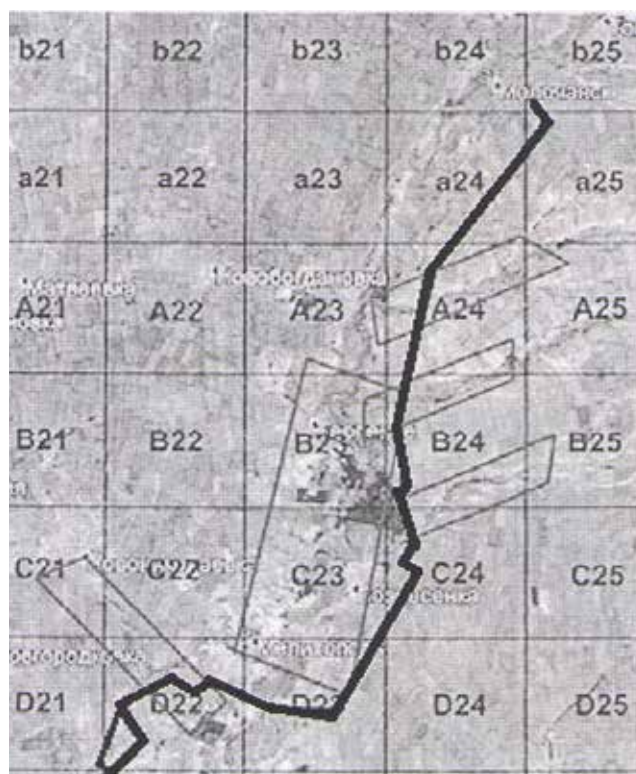
обліки проводилися синхронно на маршрутах, протяжністю 3км кожний. Піші та автомобільні обліки проводилися вздовж 2-х вже наявних ЛЕП, паралельно яким заплановано спорудження проектованої ЛЕП, щоб мати можливість фіксувати факти загибелі птахів від електроструму або контактів з дротами. Для визначення загального стану орнітофауни використовувалися також результати власних досліджень, що проводилися у регіоні в усі періоди року у 1986-2019 роках [12–26].

Відповідно до фізико-географічного районування, смуга проектованої спорудження ЛЕП тягнеться з півночі на південь по західній частині Західно-Приазовської схилово-підвищеної області. На півдні територія запланованої спорудження ЛЕП заходить у північну частину Присивасько-Приазовського низинного степу, де у субширотному напрямку перетинає долину р. Молочної [27]. Поверхня досліджуваної території має хвилястий рельєф, що представлений чергуванням субширотно орієнтованих долин малих річок і поділяючих їх вододілів. На заході смуга проектованої ЛЕП субмеридіанально тягнеться уздовж долини р. Молочна. На півдні, між селами Констянтинівка та Садове, вона перетинає долину р. Молочної, а біля с. Нове – долину р. Ташенак. Зазначені річки зарегульовані великою кількістю дамб і представлені ланцюгами невеликих ставків, тому є маловодними, а у теплі

сезони року в багатьох місцях пересихають. Утім, по їх долинам збереглася водна (переважно очерет), лучна та деревинно-чагарникова рослинність, що створює умови для мешкання більш багатих (за кількістю видів і чисельністю особин) орнітокомплексів, ніж на вододілах. Природні комплекси вододілів майже повністю трансформовані антропогенною діяльністю сільськогосподарського напрямку. Головними її видами є рослинництво і тваринництво. Рослинництво представлене полями сівозмін, де вирощуються переважно зернові (ячмінь, пшениця) і технічні (соняшник, горох, рапс) культури. Сільськогосподарські поля відокремлені одне від одного лісосмугами, які знаходяться у занедбаному стані або вирубуються місцевими мешканцями. По долинах річок збереглися нерозорані лучні ділянки, що використовуються для випасу свійської худоби. Для з'ясування потенційної шкоди для птахів від вилучення їх територій, оцінки можливого впливу на них процесу будівництва ЛЕП, а також визначення потенційної можливості загибелі птахів від електроструму та зіткнення з повітряними дротами, застосовувалися загальноприйняті орнітологічні методики обліку птахів [1; 3, 6, 28–36]. Багаторічні стаціонарні спостереження проводилися у верхів'ях Молочного лиману, в дельті р. Молочна і прилеглих лісонасадженнях, в заплаві р. Молочна поблизу с. Світлодолинське, зокрема моніторинг



А



Б

Рис. 1. Карта-схема району досліджень: А – проектована ЛЕП (суцільна чорна лінія), мережа облікових квадратів 10х10км, піші маршрути (білі прямокутники); Б. Ділянки вздовж проектованої ЛЕП, на яких переважно досліджувалося гніздування птахів

колоніальних поселень чапель [12, 16, 18, 37]. Систематику птахів і латинські назви видів наведено за Л.С. Степаняном [38].

Виклад основного матеріалу. Орнітофауна ділянок проєктованої ЛЕП характеризується невисоким видовим різноманіттям, що визначається ландшафтно-біотопічною одноманітністю цієї території. Але в районі досліджень у радіусі 1–5 км навколо проєктованої ЛЕП умови для існування птахів (гніздування, міграційних зупинок, зимівлі) значно різноманітніші завдяки наявності лісонасаджень, штучних лісових масивів (Старобердянський, Радивонівський та інші), заплав малих річок (Молочна, Ташенак, Юшанли, Арабка, Курошани), ставків тощо. Видовий склад і статус птахів у районі досліджень (табл. 1) наведено нами за період 2010–2019 років, з урахуванням ретроспективних даних [12–26]. Найбільше досліджено розповсюдження і видове різноманіття птахів водно-болотного і лісового комплексів. Нижче дається стисла характеристика орнітофауни по рядах. Найбільшу загрозу ЛЕП становить для птахів великих та середніх розмірів [39–43], а з дрібних птахів – для шпаків.

Отже, усього протягом 2010–2019 рр. у досліджуваному районі спостерігалось 215 видів птахів з 17 рядів, з яких для 130 видів доведене або припускається гніздування в розглянутий період, а 107 видів регулярно або спорадично зустрічаються на зимівлі. Найбільше видове різноманіття птахів властиве міграційному періоду (195 мігрантів і 17 осілих видів). Деякі види, не включені до цього переліку, були відмічені в південній частині району досліджень, що частково включає ВБУ Молочного лиману, у 2005–2008 рр. або на початку 2000-х рр. [17; 21; 23; 24; 44], але не траплялися в обліках пізніше (наприклад, *Rufibrenta ruficollis*, *Mergus albellus*, *Plegadis falcinellus*, *Larus melanocephalus*, *Chlidonias niger*), інші були зареєстровані лише в період 1990-х рр. (наприклад, *Sturnus roseus*, *Picus viridis*, *Nucifraga caryocatactes*).

Пірникозоподібні – Podicipediformes представлені в районі майбутньої ЛЕП 4-ма гніздуючими та мігруючими видами: *Podiceps cristatus*, *P. grisegena*, *P. nigricollis*, *P. ruficollis*. В багатководні роки переважає за чисельністю пірникоза велика (*Podiceps cristatus*). Пеліканоподібні – Pelecaniformes. Зустрічається 1 вид: баклан великий (*Phalacrocorax carbo*). Найбільша чисельність буває в серпні-жовтні,

після закінчення гніздування. На ставку поблизу с. Оленівка на р. Арабка відмічено в червні-серпні до 1-1,3 тис. особин. Лелекоподібні – Ciconiiformes. Представлені 11-ма видами, три з яких рідкісні (*Ardeola ralloides*, *Platalea leucorodia*, *Ciconia nigra*), інші – звичайні або численні. В минулі роки в південній частині району досліджень спостерігали також *Plegadis falcinellus*, але після 1998 р. вид не траплявся. Ці великі птахи здійснюють сезонні і добові перельоти на значні відстані і на великих висотах. Зустрічаються переважно біля водойм, в заплавах річок, але *Egretta alba*, *Ardea cinerea* і *Ciconia ciconia* – також на полях і згарищах. Місця найбільшої концентрації, а в багатководні роки – і колоніальних поселень розташовані в дельті р. Молочна і в заплаві в районі с. Світлодолинське [16; 22]. Найбільш регулярно в районі досліджень гніздяться 6 видів (табл. 2), жовта чапля (*Ardeola ralloides*) достовірно гніздилася лише в 1988–1989 рр., лелека чорний (*Ciconia nigra*) трапляється тільки під час міграцій, а косар (*Platalea leucorodia*) – зрідка під час кочівель. Гусеподібні – Anseriformes представлені 21-м видом, з яких 8 видів трапляються на гніздуванні. Зустрічаються в усі періоди року, домінують за чисельністю крижень (*Anas platyrhynchos*) і галагаз (*Tadorna tadorna*). За останні десятиріччя спостерігається багаторазове зменшення чисельності в регіоні деяких мігруючих видів (*Anser albifrons*, *Bucephala clangula*, *Aythya fuligula*). Навпаки, такий раритетний вид як огар (*Tadorna ferruginea*) в останнє десятиріччя помітно збільшив чисельність. До малочисельних видів належать *Mergus serrator*, *Mergus merganser* та *Bucephala clangula*. також відомі лише поодинокі зустрічі таких рідкісних видів, як *Aythya nyroca*, *Anas strepera*, *Netta rufina*. Для низки видів (*Anser albifrons*, *Anas platyrhynchos*, *Tadorna tadorna* тощо) у районі досліджень, крім сезонних, характерні регулярні добові (кормові) перельоти між водоймами і агроландшафтами (полями озимини). Соколоподібні – Falconiformes. Спостерігається 19 видів (табл. 2), 8 з яких гніздяться. Тісно пов'язані з водоймами у різні періоди річного циклу 3 види – скопа (*Pandion haliaetus*), лунь очеретяний (*Circus aeruginosus*) та орлан-білохвіст (*Haliaeetus albicilla*). Під час міграцій (зимівлі) Соколоподібні часто трапляються в агроландшафтах або над степовими територіями. Це стосується також *Circus aeruginosus*, який є численним і рівномірно розповсюдженим

Таблиця 1

Склад орнітофауни за характером перебування птахів у районі проєктованої ЛЕП у 2010–2019 рр.

Ймовірність перебування	Кількість видів у 2018–2019 рр.	Статус за періодами річного циклу			Червона книга України
		Гніздовий	Мігруючий	Зимуючий	
Достовірно	72	115	211	105	42
Вірогідно	143	15	2	2	13
Всього	215	130	213	107	55

в районі досліджень, і часто живиться на полях та на пасовищах. Більшість видів цієї групи рідкісні або малочисельні в регіоні (*Pandion haliaetus*, *Milvus migrans*, *Circus macrourus*, *Circaetus gallicus*, *Falco cherrug*, *Falco peregrinus*, *Haliaeetus albicilla* тощо) [40]. До звичайних належать *Falco tinnunculus*, *Buteo buteo*, в останнє десятиріччя збільшилась чисельність «червонокнижного» виду – канюка степового (*Buteo rufinus*), що є загальною тенденцією в регіоні. Звичайні, а в окремі роки численні під час міграцій і зимівлі лунь польовий (*Circus cyaneus*) та зимняк (*Buteo lagopus*), до звичайних видів належать і яструби (*Accipiter nisus*, *Accipiter gentilis*). Усі види цієї групи трапляються в районі проєктованої ЛЕП під час міграцій та добових перельотів.

Куроподібні – Galliformes. Представлені трьома видами, з яких двоє – це куріпка сіра (*Perdix perdix*) і фазан (*Phasianus colchicus*) ведуть осілий спосіб життя, а перепілка (*Coturnix coturnix*) гніздиться, мігрує і нерегулярно, у малій кількості зимує. Широко поширені в агроландшафтах, а фазан – також у водно-болотних і в лісових біотопах. Регулярно зустрічаються в районі проєктованої ЛЕП по всій її довжині.

Журавлеподібні – Gruiformes. Зустрічається 8 видів, з яких тільки лиска (*Fulica atra*) та журавель сірий (*Grus grus*) бувають численними (останній лише у період сезонних міграцій) як у водно-болотних біотопах, так і на полях, здійснюючи між ними регулярні добові перельоти. До рідкісних видів, що трапляються нерегулярно, належать *Anthropoides virgo* та *Otis tarda* [43], нечисленними є *Crex crex* і *Porzana parva*. Водяна курочка (*Gallinula chloropus*) і пастушок (*Rallus aquaticus*) звичайні і поширені більш рівномірно лише у водно-болотних біотопах, переважно поза межами території проєктованої ЛЕП.

Сивкоподібні – Charadriiformes. У період 2010–2018 рр. спостерігалось 44 види, зокрема 32 види куликів із 6 родин (*Burhinidae*, *Charadriidae*, *Recurvirostridae*, *Haematopidae*, *Scolopacidae*, *Glareolidae*) і 12 видів мартинових птахів (*Laridae*). Серед куликів до найчисленніших видів належить брижач (*Philomachus pugnax*), серед мартинових домінує під час міграцій і літування мартин звичайний (*Larus ridibundus*), в усі періоди річного циклу численний також мартин жовтоногий (*Larus cachinnans*). Ряд видів цієї групи регулярно зустрічаються як біля водойм, так і на полях та пасовищах або степових ділянках (*Philomachus pugnax*, *Vanellus vanellus*, *Burhinus oedicnemus*, *Numenius arquata*, *Glareola pratincola*, *Larus ridibundus*, *Larus canus*, *Larus cachinnans*, *Gelochelidon nilotica*, *Chlidonias leucopterus*), здійснюючи між ними кормові перельоти. Низка інших видів не трапляється безпосередньо на ділянках проєктованої ЛЕП (наприклад, *Pluvialis squatarola*, *Limicola falcinellus*, *Phalaropus lobatus*, *Arenaria interpres*, види роду *Calidris* тощо). Інші види, що часто зустрічаються і переміщуються уздовж зрошувальних каналів, русел малих річок, тим-

часових водойм, розміщені на досліджуваній території більш рівномірно (наприклад, *Tringa ochropus*, *Actitis hypoleucos*, *Tringa glareola*). Деякі види цієї групи, численні в регіоні загалом [22; 25], не характерні для території, проєктованої ЛЕП, і не траплялися в обліках останніх років (*Larus melanocephalus*, *Chlidonias niger*).

Голубоподібні – Columbiformes. Представлені трьома лісовими видами: припутень (*Columba oenas*), горлиця звичайна (*Streptopelia turtur*) і голуб-синяк (*Columba palumbus*) і двома синантропними – горлиця садова (*Streptopelia decaocto*) та голуб сизий (*Columba livia*). Припутень і горлиця звичайна широко поширені в штучних лісах і лісосмугах. Горлиця садова (*Streptopelia decaocto*) зустрічається майже виключно в населених пунктах і поблизу них, де може утворювати доволі великі скупчення, особливо в зимовий період.

Зозулеподібні – Cuculiformes. Один вид – зозуля (*Cuculus canorus*) широко поширений у різних частинах досліджуваного району, часто зустрічається як у водно-болотних, так і в лісових біотопах.

Совоподібні – Strigiformes. У районі досліджень зареєстровано 4 види (з яких совка (*Otus scops*) і сова болотяна (*Asio flammeus*) – занесені до Червоної книги України), усі вони трапляються на гніздуванні. До регулярних мігрантів належить тільки совка. Сич хатній (*Athene noctua*) є осілим синантропним видом. Сова вухата (*Asio otus*) – також осілий, місцями досить численний вид, особливо у населених пунктах під час зимівель. Сова болотяна – осілий вид. У зимовий період ця сова зустрічалася на степових ділянках, косах, солонцюватих луках біля водойм, рідше – на пасовищах біля лісосмуг і у старих розріджених садах.

Дрімлюгоподібні – Caprimulgiformes. Єдиний вид – дрімлюга (*Caprimulgus europaeus*) – нечисленний у регіоні, гніздиться у штучних лісах (наприклад, у Старобердянському лісі), в старих садах, під час міграцій трапляється також в різноманітних відкритих біотопах.

Серпокрильцеподібні – Apodiformes. Єдиний вид – серпокрилець чорний (*Apus apus*) – широко поширений у досліджуваному районі на гніздуванні та під час міграцій, синантропний, гніздиться в населених пунктах різного типу з елементами старої забудови.

Ракшеподібні – Coraciiformes. Представлені трьома видами (табл. 2). У районі досліджень і у сухостеповій підзоні загалом їм притаманний норний спосіб гніздування, хоча до облігатних норників належать тільки бджолоїдка звичайна (*Merops apiaster*) та рибалочка звичайний (*Alcedo atthis*). Під час міграцій зустрічаються в різноманітних ландшафтах регіону. До Червоної книги України віднесена сиворакша (*Coracias garrulus*).

Одудоподібні – Upupiformes. Єдиний вид – одуд (*Upupa epops*) – широко поширений у досліджуваному районі на гніздуванні та під час міграцій, синантропний, гніздиться в населених пунктах різного типу, але оселяється також і поза їх

межами – в лісових насадженнях, на каменистих ділянках степу тощо. Дятлоподібні – Piciformes. У районі досліджень зустрічається 6 видів. Найпоширенішим є дятел сирійський (*Dendrocopos syriacus*), значно менше – звичайний (*Dendrocopos major*), що є осілими видами. Широко поширена на гніздуванні та на прольоті крутиголовка (*Jynx torquilla*). У районі досліджень реєструвався у малій кількості дятел малий (*Dendrocopos minor*) та жовна сива (*Picus canus*), як залітний вид – жовна зелена (*Picus viridis*). Горобцеподібні – Passeriformes. У 2018–2019 рр. на території майбутньої ЛЕП зареєстровано 52 види (табл. 2), а враховуючи рідкісні залітні, інвазійні види і спостереження минулих років, їх значно більше – понад 83 види. Серед них представлено гідрофільні, деревно-чагарникові, лучні, кампофільні, петрофільні та синантропні екологічні групи птахів, а також евритопні види (наприклад, плиска біла *Motacilla alba*, шпак звичайний *Sturnus vulgaris*, сорока *Pica pica*, галка *Corvus monedula* тощо). Синантропні та евритопні види (насамперед грак *Corvus frugilegus*, галка, шпак звичайний, горлиця садова, горобець польовий *Passer montanus*) часто утворюють великі скупчення і зграї в агроландшафтах, де вони переважно живляться: на полях, пасовищах, на фермах та біля зерносовищ, особливо в осінньо-зимовий період. Для них властиві активні добові, кормові переміщення в районі досліджень і на території проєктованої ЛЕП. Деякі з них гніздяться і відпочивають безпосередньо на опорах вже наявних ЛЕП (*Corvus corax*, *Corvus monedula*, *Sturnus vulgaris* тощо). Враховуючи те, що більша частина проєктованої ЛЕП проходить через агроландшафти, на її території домінують саме ці птахи, що проводять в них більшу частину свого життєвого циклу. Це насамперед грак (середня чисельність в облікових квадратах у районі проєктованої ЛЕП за результатами автомобільних обліків у жовтні – лютому 2018–2019 рр. – 28,45 ос./км), шпак (21,44 ос./км), горобець польовий (2,16 ос./км) і горлиця садова (1,23 ос./км). Численними в районі досліджень бувають також деякі лісові види, що під час міграцій і взимку живляться на полях або на межі агроландшафтів і лісу. Наприклад: чикотень (3,87 ос./км), щиглик (5,77 ос./км), зяблик (2,37 ос./км), коноплянка (1,19 ос./км). Чисельність інших видів, у тому числі степового комплексу, в період досліджень була незначна і не перевищувала 0,4 ос./км.

У період 2010–2019 рр. у районі проєктованої ЛЕП виявлено 42 види птахів, занесених до Червоної книги України [39; 40; 43]. Безпосередньо в період проведення робіт у 2018–2019 рр. в районі проєктованої ЛЕП спостерігалось 15 видів птахів, занесених до Червоної книги України: *Tadorna ferruginea*, *Vucephala clangula*, *Pandion haliaetus*, *Circus cyaneus*, *Circus pygargus*, *Buteo rufinus*, *Grus grus*, *Otis tarda*, *Himantopus himantopus*, *Haematopus ostralegus*, *Numenius arquata*, *Columba oenas*, *Asio*

flammeus, *Coracias garrulus*, *Lanius excubitor*. З числа цих видів трапляються регулярно і найбільш широко поширені в районі досліджень *Circus cyaneus* (під час міграцій і зимівлі), *Circus pygargus* (зрідка гніздиться, звичайний під час міграцій), *Buteo rufinus* (гніздиться, мігрує, зимує), *Grus grus* (мігрує, літує), *Coracias garrulus* (гніздиться, мігрує). До видів, що можуть зустрічатись по всій території району досліджень на зимівлі, але всюди мають низьку чисельність належать *Asio flammeus*, *Otis tarda*, *Columba oenas*, *Lanius excubitor*. Натомість низка водно-болотних видів зустрічаються переважно в південній частині району досліджень, що включає дельтову зону р. Молочна та верхів'я Молочного лиману: *Tadorna ferruginea*, *Haematopus ostralegus*, *Numenius arquata*. Зрідка трапляються *Pandion haliaetus* (на прольоті), *Vucephala clangula* (на зимівлі). Ще 4 види зустрічалися в районі досліджень у 1990-х – на початку 2000-х рр., але не були зазначені пізніше: *Plegadis falcinellus*, *Rufibrenta ruficollis*, *Falco cherrug* та *Sturnus roseus*.

Вирішальним фактором для перебування птахів у районі проєктованого спорудження ЛЕП є наявність заплави р. Молочної з її притоками, а також штучні ліси і лісосмуги, перш за все, Старобердянське лісництво. Це сприяло домінуванню тут переважно річкових та лучних видів, на прилеглих пасовищах та сільськогосподарських полях – степових видів, а вздовж лісів та старих лісосмуг – лісових видів. Але стан орнітокомплексів, пов'язаних із дельтами та заплавами досліджених річок, характеризується суттєвою нестабільністю, що обумовлена нестабільним станом цих оселищ (плавневих ділянок, луків, солончаків тощо). В багатоводні роки значно зростає видове різноманіття і чисельність птахів водно-болотного комплексу, що доведено, наприклад, багаторічним моніторингом колоніальних поселень лелекоподібних птахів у заплаві р. Молочна [14; 16; 18; 24]. В останнє десятиріччя, внаслідок вкрай нестабільного зв'язку Молочного лиману з морем, обміління лиману, пересихання плавневих ділянок в дельті і заплаві р. Молочної, статус багатьох водно-болотних видів на досліджуваній території змінився у порівнянні з 1980–1990-ми рр. Через посушливий стан оселищ деякі колоніальні поселення лелекоподібних птахів в дельті і на узбережжі р. Молочна (наприклад, в околицях с. Тихонівка) взагалі припинили існування. Також у різні роки спостерігаються значні коливання чисельності птахів водно-болотної групи на місцях живлення і відпочинку, що впливає і на характер їхніх переміщень. У багатоводні роки зростає чисельність іхтіофагів, також багатьох гусеподібних птахів, а при низькому рівні обводнення домінують сивкоподібні птахи [19; 21; 23; 26; 44]. Після тривалого періоду обміління Молочного лиману і дельти р. Молочна перестали траплятися на зимівлі або взагалі в районі досліджень деякі види гусеподібних птахів (*Rufibrenta*

Чисельність і поширення птахів по контрольним ділянкам долин річок уздовж проєктованої ЛЕП за результатами піших обліків у жовтні 2018 – лютому 2019 рр.

№ з/п	Вид	Особин/облік по контрольним ділянкам річок				
		р. Курошани	р. Юшанли	р. Арабка	р. Молочна	Всього
1	<i>Egretta alba</i>				0,14	0,14
2	<i>Anser albifrons</i>				132,43	132,43
3	<i>Cygnus olor</i>	0,71				0,71
4	<i>Anas platyrhynchos</i>		0,14	0,43	2,00	2,57
5	<i>Anas crecca</i>			0,86		0,86
6	<i>Aythya ferina</i>	0,14				0,14
7	<i>Bucephala clangula</i>			1,14		1,14
8	<i>Circus cyaneus</i>	0,14	0,14	0,14	1,00	1,43
9	<i>Accipiter gentilis</i>			0,29		0,29
10	<i>Accipiter nisus</i>	0,29	0,14	0,14	0,57	1,14
11	<i>Buteo lagopus</i>	1,29	1,86	1,57	1,14	5,86
12	<i>Buteo rufinus</i>			0,43	0,29	0,71
13	<i>Buteo buteo</i>	0,14	0,57	1,29	0,29	2,29
14	<i>Falco columbarius</i>				0,14	0,14
15	<i>Falco tinnunculus</i>				0,29	0,29
16	<i>Perdix perdix</i>			4,43	4,14	8,57
17	<i>Phasianus colchicus</i>	3,57	1,00	1,71	0,57	6,86
18	<i>Grus grus</i>				0,57	0,57
19	<i>Larus ridibundus</i>				0,29	0,29
20	<i>Larus cachinnans</i>			0,29	2,29	2,57
21	<i>Larus canus</i>			1,29	72,00	73,29
22	<i>Columba palumbus</i>	0,29				0,29
23	<i>Streptopelia decaocto</i>		6,43		3,43	9,86
24	<i>Asio flammeus</i>	0,14				0,14
25	<i>Dendrocopos major</i>			0,14		0,14
26	<i>Dendrocopos syriacus</i>	0,29	1,00	1,14	0,57	3,00
27	<i>Galerida cristata</i>		0,86	1,43		2,29
28	<i>Melanocorypha calandra</i>			0,57		0,57
29	<i>Alauda arvensis</i>		0,57			0,57
30	<i>Anthus pratensis</i>	0,29			0,14	0,43
31	<i>Lanius excubitor</i>	0,14	0,14		0,14	0,43
32	<i>Sturnus vulgaris</i>	121,71	176,57	106,29	335,00	739,57
33	<i>Garrulus glandarius</i>	1,29	1,29	0,71		3,29
34	<i>Pica pica</i>	3,14	3,29	2,00	6,71	15,14
35	<i>Corvus monedula</i>				3,71	3,71
36	<i>Corvus frugilegus</i>	5,71	0,86	8,00	2133,86	2148,43
37	<i>Corvus cornix</i>	0,29	3,86	1,86	2,29	8,29
38	<i>Corvus corax</i>	0,86	0,86	1,71	1,57	5,00
39	<i>Troglodytes troglodytes</i>	0,57	0,57	0,57	0,14	1,86
40	<i>Erithacus rubecula</i>	0,14			0,14	0,29
41	<i>Turdus pilaris</i>	89,57	124,43	30,71	14,86	259,57
42	<i>Turdus merula</i>	0,43		0,43		0,86
43	<i>Turdus philomelos</i>			0,14		0,14
44	<i>Turdus viscivorus</i>			0,14		0,14
45	<i>Parus caeruleus</i>	1,57	0,29	4,57	2,00	8,43
46	<i>Parus major</i>	3,43	4,57	6,29	5,86	20,14
47	<i>Certhia familiaris</i>	0,14				0,14
48	<i>Passer domesticus</i>		1,14		8,71	9,86

Продовження таблиці 2

49	<i>Passer montanus</i>	15,14	2,29	8,57	98,00	124,00
50	<i>Fringilla coelebs</i>	17,57	20,29	18,71	24,29	80,86
51	<i>Fringilla montifringilla</i>	1,29				1,29
52	<i>Chloris chloris</i>	1,00	0,14	7,86	121,57	130,57
53	<i>Carduelis carduelis</i>	7,71	0,29	5,57	10,14	23,71
54	<i>Acanthis cannabina</i>			86,14	36,14	122,29
55	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	8,14	2,29	0,57	0,29	11,29
56	<i>Emberiza calandra</i>	1,29			12,43	13,71
57	<i>Emberiza citrinella</i>	2,86		0,71		3,57
58	<i>Emberiza schoeniclus</i>	17,71	2,43	29,29	18,14	67,57

ruficollis, *Anas penelope*, *Anas acuta*, *Mergus albellus*). Ці зміни, насамперед, впливають на стан орніто-комплексів в південній частині території досліджень, в дельтовій зоні р. Молочна та на ділянці її заплави в районі сіл Рибалівка – Світлодолинське, розташованих в радіусі 3-5 км від місця проходження проєктованої ЛЕП.

Попередня оцінка ймовірності зіткнення птахів із ЛЕП показала, що у жовтні 2018 – лютому 2019 рр. найчисленнішими на контрольних ділянках проєктованої ЛЕП загалом були грак та шпак звичайний (понад 700 особин за облік), значно меншою була чисельність чикотня, зеленяка та горобця польового (у межах 100–700 ос./облік). Чисельність більшості інших птахів не перевищувала 81 ос./облік, а у 22 видів вона була нижче, ніж 1 ос./облік (табл. 2). Але чисельність окремих видів на різних контрольних ділянках була різною. Наприклад, в долині річки Курошани найчисленнішими були (за зменшенням

чисельності): шпак звичайний та чикотень (понад 89 ос./облік), а численними вівсянка очеретяна, зяблик та горобець польовий (15–18 ос./облік); у долині річки Юшанли – шпак звичайний та чикотень (понад 120 ос./облік), а численним зяблик (20,3 ос./облік); у долині річки Арабки – шпак звичайний та коноплянка (понад 86 ос./облік), а численним чикотень, вівсянка очеретяна та зяблик (18–31 ос./облік); в долині Молочної – грак і шпак звичайний (понад 335 ос./облік), а численними гуска білолоба, зеленяк, горобець польовий, мартин сивий, коноплянка та зяблик (24–133 ос./облік). Тобто тільки в долині річки Молочної серед чисельних видів були навколотовні птахи. З видів, занесених до Червоної книги України (2009), на контрольних ділянках проєктованої ЛЕП в невеликій кількості (0,5-1,4 ос./облік) траплялися гоголь, лунь польовий, канюк степовий, журавель сірий, сорокопуд сірий та сова болотяна. Частота зустрічей і частка окремих видів у долинах

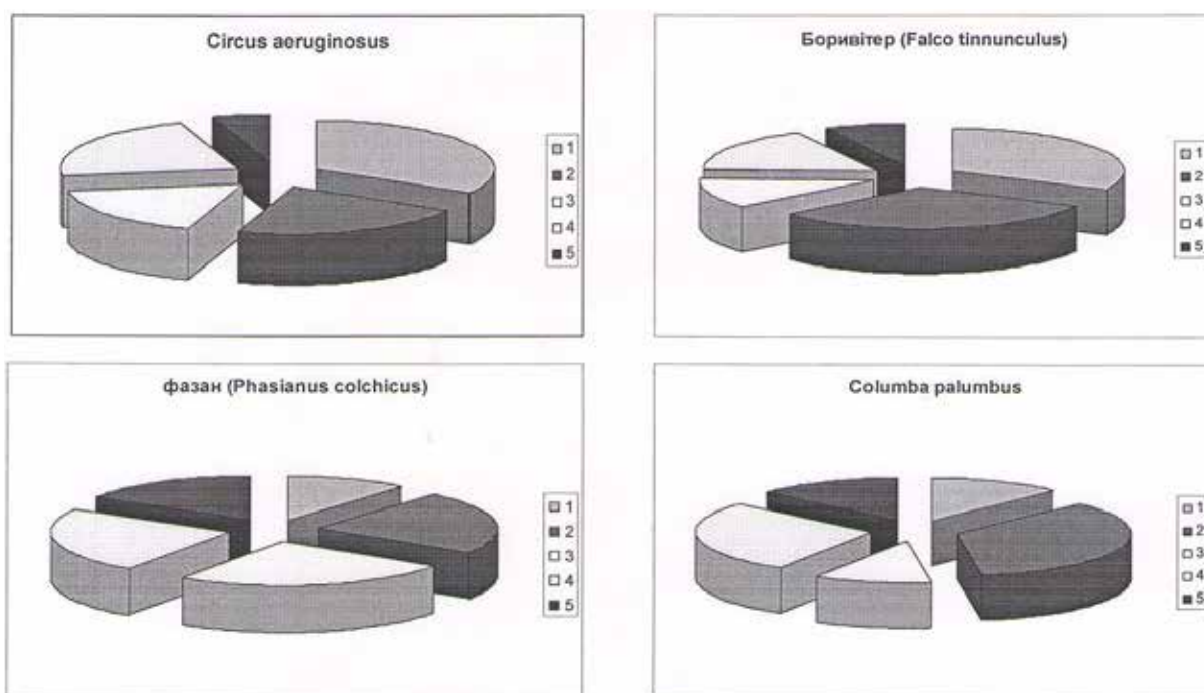


Рис. 2. Розподіл деяких видів птахів по долинах річок, що перетинаються проєктованою ЛЕП, весною 2018 р.: 1 – Таценак, 2 – Молочна, 3 – Арабка, 4 – Юшанли, 5 – Курошани

чотирьох річок має схожий характер, що показано на прикладі 4-х звичайних видів (рис. 2).

Тож за результатами обліків птахів на контрольних ділянках проекрованої ЛЕП найбільш напруженою орнітологічна ситуація була на річці Молочній, менш напруженою і майже однаковою – на річках Курошани, Юшанли і Арабка в місцях перетинання ЛЕП долин річок (рис. 3).

Моніторинг багаторічної динаміки чисельності гніздуючих птахів проводився на контрольних ділянках в долинах рік Молочна та Арабка. Рівень чисельності, особливо великих за розміром рибоїдних видів залежить від гідрологічного режиму і досягає максимальних величин в багатоводні роки [12; 16; 18; 24; 37]. Облік загиблих птахів під вже існуючими ЛЕП проведено принагідно під час піших обліків на всіх контрольних ділянках, їх залишки виявлені в долині р.Молочна, де обстеження велося на двох піших маршрутах. Це грак (*Corvus frugilegus*), мартин (*Larus spp.*), куріпка сіра (*Perdix perdix*), біла чапля (*Egretta spp.* – 2 екз.), лебідь (*Cygnus spp.*), качки (*Anas spp.* – 2 екз.) горобцеподібний птах (Passeriformes, родина *Sylviidae*), дрібний хижий птах (найвірогідніше *Falco subbuteo*). Також кілька разів спостерігалось, як великі білі чаплі і граки маневрують у польоті між дротами ЛЕП, що може бути небезпечним для них при несприятливих погодних умовах. Відносно низька загибель птахів від двох уже існуючих на трасі ЛЕП багато в чому пов'язана з їхнім меридіональним розташуванням, що збігається з лініями сезонних міграцій птахів, відсутністю значних скупчень водно-болотних птахів в післягніздовий і зимовий періоди на річках і в агроландшафтах. Птахи активно використовують ЛЕП для відпочинку, полювання та гніздування [5; 33; 36]. У них формуються адаптації поведінки до ЛЕП, що зменшує вірогідність їх загибелі або повністю ліквідує її [5; 35; 45; 46]. Перспективним шляхом охорони птахів може стати не тільки установка на ЛЕП птахозахисних і відлякуючих облаштувань [1; 2; 33; 42–44], а й створення заказників місцевого значення в місцях їх концентрації [39; 47].

Головні висновки. Орнітофауна дослідженої території ЛЕП складається з 215 видів, що належать до 17 рядів, з яких 130 видів достовірно або, ймовірно, гніздяться, 107 видів регулярно або спорадично зустрічаються на зимівлі, 42 види занесені до Червоної книги України. Найбільше видове різ-

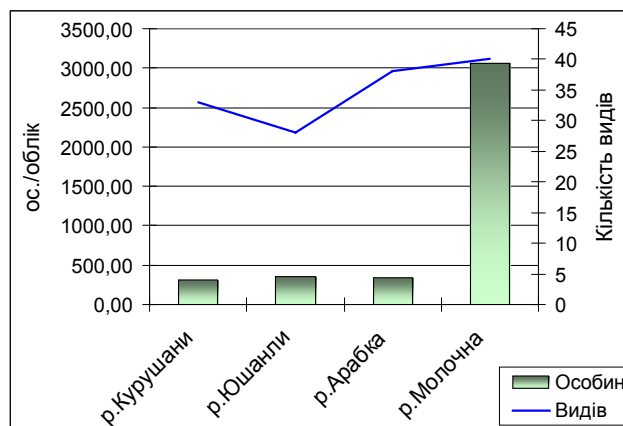


Рис. 3. Співвідношення видового складу та чисельності птахів на потенційно найбільш напружених ділянках проекрованої ЛЕП за результатами піших обліків у жовтні 2018 – лютому 2019 рр.

номаніття птахів властиве міграційному періоду (195 мігрантів та 17 осілих видів). У долині р. Молочна найбільш небезпечним для птахів був відтинок ЛЕП, що перетинає широку частину річкової долини поза населеними пунктами, у поперечному перерізі. Таких ділянок варто максимально уникати під час проектування ЛЕП, а за неможливості уникання обладнувати їх птахозахисними пристосуваннями і такими, що відлякують птахів від ліній електромереж.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані дані можуть бути використані екологічними службами, господарями і співробітниками енергомереж для подальшого моніторингу стану популяції птахів, біомоніторингу навколишнього середовища і оцінки його стану, розробки методів та шляхів охорони птахів на ЛЕП. Для моніторингу стану орнітокомплексів і оцінки загроз для нього від спорудження ЛЕП необхідно подальше проведення досліджень гніздового, післягніздового та зимового періодів річного циклу птахів. Для виявлення потенційно вразливих від ЛЕП видів та небезпечних висот їх перетинання також слід провести моніторинг перельотів птахів (висот, напрямів, регулярності, сезонності, видового складу та кількості особин). Для розроблення птахозберігаючих заходів актуальними залишаються дослідження загроз загибелі птахів від електроструму та зіткнення з дротами наявних ЛЕП, вздовж яких планується спорудження нової.

Література

1. Салтыков Г.Н. Экологическая концепция электросетевой среды и опыт предотвращения гибели птиц на ЛЭП. Бутурлинский сборник. Мат-лы I Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти С.А. Бутурлина. Ульяновск : Изд-во «Корпорация технологий продвижения», 2003. С. 221–234.
2. Салтыков А.В. Ульяновская резолюция «Птицы и ЛЭП – 2011» как основа для совместного плана действий по нейтрализации орнитоцидных электроустановок в странах бывшего СССР. *Хищные птицы в динамической среде III тысячелетия: состояние и перспективы*. 2012. С. 566–573.
3. Андрющенко Ю.О. Методичні підходи до оцінки впливу повітряних ліній електропередачі на птахів. Науково-методичні основи охорони та оцінки впливу на навколишнє природне середовище під час проектування, будівництва, експлуатації вітрових та сонячних електростанцій, ліній електромережі. Київ – Мелітополь, 2014. С. 132–139.

4. Андрущенко Ю.А., Кучеренко В.Н., Попенко В.М. Итоги мониторинга гибели птиц от контактов с воздушными линиями электропередачи в Крыму в 2013–2014 годах / Бранта : Сборник трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Вып. 17. Мелитополь : Бранта, 2014. С. 104–132.
5. Danube free Sky Strategy. Raptor Protection of Slovakia. Bratislava, 2019. 51 p.
6. Андрущенко Ю., Катиш С., Попенко В., Сіохін В., Черничко Й. Методики обліку птахів для оцінки стану ресурсів мисливських видів водно-болотних птахів у мисливських господарствах Азово-Чорноморського регіону України / за ред. Андрущенко Ю. Мелітополь, 2010. 24 с.
7. Андрущенко Ю.А. Унификация методик среднезимних учетов в Азово-Черноморском регионе Украины. Бюллетень РОМ: Итоги среднезимнего учета водно-болотных птиц 2006 года в Азово-Черноморском регионе Украины: адаптация методик IWC и их апробация / под ред. Г.В. Фесенко. 2009. Вып. 4. С. 4–12.
8. Мониторинг и поддержание биологического разнообразия в водно-болотных угодьях Украины. Научная программа / ред. Сіохін В.Д., Черничко И.И. Бранта : Мелітополь, 1995. 222 с.
9. Наумов Р.Л. Методика абсолютного учета птиц в гнездовой период на маршрутах. *Зоологический журнал*. 1965. Т. XLIV. Вып. 1. С. 81–94.
10. Рогачева Э.В. Методы учета численности мелких воробьиных птиц. *Организация и методы учета птиц и вредных грызунов*. Москва : Наука, 1963. С. 117–130.
11. Andryushchenko Yu., Popenko V. Methodologicals proposals on Geese census in the Black Sea region. 8th Annual Meeting of the Goose Specialist Group (5–10 March 2004). Odesa, Ukraine, 2004. P. 17–20.
12. Кошелев А.И., Кошелев В.А. Гнездование цапель в зарослях тростника на водоемах Северного Приазовья. Бранта : Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Мелітополь, 1999. Вып. 2. С. 39–49.
13. Дядичева Е.А., Черничко И.И., Горлов П.И., Черничко Р.Н., Кошелев А.И. Структура зимних орнитокомплексов поймы р. Молочная по данным январских учетов 1997–1999 гг. Зимние учеты птиц на Азово-Черноморском побережье Украины. Вып. 2. Мелітополь – Одесса – Киев : Wetlands International, 1999. С. 21–32.
14. Дядичева Е.А., Черничко И.И., Мащора А.В. Оценка роли малых рек в сохранении биоразнообразия гнездовых орнитокомплексов на примере р. Молочной (Запорожская обл.). *Фауна, экология и охрана птиц Азово-Черноморского региона*. Симферополь, 1999. С. 18–22.
15. Stoilovsky V., Korzyukov A., Zhmud M., Rusev I., Nesterenko M., Gerzhik I., Petrovych Z., Ardamskaya T., Rudenko A., Yaremchenko O., Kostin S., Chernichko I., Andryushchenko Yu., Kinda V., Popenko V., Gorlov P., Siokhin V., Molodan G. Ukraine. Directory of Azov-Black Sea Coastal Wetlands: Revised and updated. Kyiv : Wetlands International, 2003. P. 165–229.
16. Кошелев А.И., Кошелев В.А., Пересадык Л.В. Динамика видового состава и численности гнездящихся цапель (Ardeidae) в Северо-Западном Приазовье (1988–2004 гг.). Бранта : Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Мелітополь, 2004. Вып. 6. С. 111–130.
17. Андрущенко Ю.А., Черничко И.И., Кинда В.В., Попенко В.М., Арсевич 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 : Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции, 2006. Вып. 9. С. 123–149.
18. Кошелев В.О., Матрухан Т.І., Павлюк І.С. Багаторічна динаміка гніздового орнітокомплексу заплави р. Молочної на моніторинговій ділянці (Запорізька обл., 1988–2008 рр.). *Природничий альманах. Біологічні науки*. (Зб. наукових праць). Херсон : ПП Вишемирський, 2009. Вып. 13. С. 74–91.
19. Демченко В.О., Черничко Р.М., Черничко Й.І., Дядичева О.А., Кошелев О.І., Демченко Н.А. Сучасний стан Молочного лиману як водно-болотяних угідь міжнародного значення. *Заповідна справа в Україні*. 2012. Т. 18. Вып. 1–2. С. 114–119.
20. Андрущенко Ю.А., Костюшин В.А., Кучеренко В.Н., Попенко В.М. Итоги учетов дневных хищных птиц в сухостепной подзоне Украины зимой 2011–2012 годов. *Хищные птицы в динамической среде третьего тысячелетия: состояние и перспективы*. Кривой Рог, 2012. С. 446–459.
21. Андрущенко Ю.А., Костюшин В.А., Кучеренко В.Н., Попенко В.М. Гуси и другие водно-болотные птицы сухостепной подзоны Украины зимой 2011/2012гг. Бранта : Сборник трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. 2015. Вып.18. Мелітополь: Бранта. С. 40–63.
22. Итоги регионального орнитологического мониторинга. Специальный выпуск. 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.
23. Ретроспектива результатов орнитологического мониторинга в водно-болотных угодьях: Молочный лиман. Бюллетень РОМ: Итоги регионального орнитологического мониторинга. Специальный выпуск / под ред. И.И. Черничко, В.А. Костюшина. 2015. Вып. 9. 68 с.
24. Черничко И.И., Дядичева Е.А., Кошелев А.И., Черничко Р.Н., Сіохін В.Д., Кошелев В.А. Результаты орнитологического мониторинга. Гнездование. Бюллетень РОМ: Итоги регионального орнитологического мониторинга. Специальный выпуск. Ретроспектива результатов орнитологического мониторинга в водно-болотных угодьях: Молочный лиман. Мелітополь, 2015. Вып. 9. С. 9–16.
25. 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 : Изд-во ИГУ, 2016. С. 158–166.
26. Итоги зимних учетов 2011–2017 / под ред. В.А. Костюшина, Ю.А. Андрущенко. Бюллетень РОМ, 2017. Вып. 11. 99 с.
27. Маринич А.М., Паламарчук М.М. / отв. ред. Украина и Молдавия. Москва : Наука, 1972. 287 с.
28. Черничко И.И., Сіохін В.Д., Попенко В.М. Программа мониторинга околотовных птиц Азово-Черноморского региона Украины. Мелітополь : Бранта, 1998. 81с.

29. Ferrer M., Janss G. (eds.). *Aves y lineas electricas*. Ed. Quercus. Madrid. 1999. 255 p.
30. Андрющенко Ю.А., Бескаравайный М.М., Стадниченко И.С. О гибели дрозды и других видов птиц от столкновения с линиями электропередачи на местах зимовки. Бранта : Сборник трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Вып. 5. Мелитополь : Бранта, 2002. С. 97–112.
31. Tucker G., & Treweek J., Guidelines on how to avoid, minimise or mitigate the impacts of infrastructure developments and related disturbance affecting waterbirds. AEW Conservation guidelines № 11. *AEWA Technical Series № 26*. Bonn, 2008. 55 p.
32. Barrientos R., Alonso J.C., Ponce C., Palacin C. Meta-Analysis of the Effectiveness of Marked Wire in Reducing Avian Collisions with Power Lines / *Conservation Biology*. 2011. Vol. 25. № 5. P. 893–903. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2011.01696.x.
33. Андрющенко Ю.А., Попенко В.М. Птицы и воздушные ЛЭП в Степном Крыму: минусы и плюсы. *Проблемы гибели птиц и орнитологическая безопасность на воздушных линиях электропередачи средней мощности: современный научный и практический опыт* : сборник статей / Материалы научно-практического семинара (10–11 ноября 2011 г. в г. Ульяновск). Ульяновск : ООО «Стрежень», 2012. С. 38–49.
34. Ferrer M. *Birds and power lines. From conflict to solution*. Endesa SA and Fundation Migres. Sevilla, 2012. 187 p.
35. Результати моніторингу птахів на ділянці Приазовських Електричних Мереж в період осінніх міграцій. Звіт Українського товариства охорони птахів. Донецьк-Київ, 2013 (рук.).
36. Кошелев А.И., Кошелев В.А., Копылова Т.В., Писанец А.М. Значение ЛЭП для птиц в антропогенно трансформированных ландшафтах степной зоны юга Украины. *Биология и валеология* (Зб. наукових праць Харківського національного педагогічного університету ім. Г. Сковороди), 2015. Вип. 17. С. 37–44.
37. Кошелев В.О., Матрухан Т.І. Лучні орнітокомплекси Північного Приазов'я і фактори, що визначають їх структуру. *Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах* (Матеріали V Міжнародної наукової конференції). Дніпропетровськ : Ліра, 2009. С. 302–304.
38. Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны СССР. Москва : Наука, 1990. 728 с.
39. Червона книга України (тваринний світ) / за заг. ред. І.А. Акімова. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 624 с.
40. Милобог Ю.В., Ветров В.В., Стригунов В.И., Белик В.П. Балобан (*Falco cherrug Gray*) в Украине и на сопредельных территориях. Бранта : Сборник трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Мелитополь : Бранта, 2010. Вып. 13. С. 143–167.
41. Runge M.C., Sauer J.R., Avery M.L., Blackwell B.F., Koneff M.D., 2009. *Assessing Allowable Take of Migratory Birds*. *J. Wildl. Manage.* 73. P. 556–565. DOI: 10.2193/2008-090.
42. Hagemeyer W.J.M., Blair M.J. (eds.) *The EBCC Atlas of European Breeding Birds. Their Distribution and abundance*. London : T & A.D. Poyser, 1997. 903 p.
43. Andryushchenko Yu. The Great Bustard in southern Ukraine. *Bustards studies*. 2007. № 6. P. 111–129.
44. Андрющенко Ю.А. О влиянии снежного и ледового покровов на состояние зимовок птиц в сухостепной подзоне Украины. *Беркут*. 2015. Т. 24. Вып. 1. С. 18–36.
45. Кучеренко В.Н., Андрющенко Ю.А., Попенко В.М. Об использовании и избегании птицами воздушных ЛЭП в Крыму. Бранта : Сборник трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Мелитополь : Бранта, 2014. Вып. 17. С. 39–49.
46. Кошелев А.И., Пересадько Л.В., Кошелев В.А. О правомочности использования понятия «проблемные виды»: оценка и пути разрешения конфликтных ситуаций. *Изв. Музейного фонда им. А.А. Браунера*. 2013. № 3–4. С. 22–25. (Мат. Международн. научн. конф. «Современные проблемы сохранения биоразнообразия и природопользования»).
47. Кошелев В.А., Матрухан Т.И., Кошелев А.И., Пересадько Л.В., Копылова Т.И. Проектируемый ландшафтный заказник «Пойма речки Арабка» как перспективный путь сохранения луговых орнитокомплексов и растительных сообществ (юг Запорожской области). *Нові виміри сучасного світу*. Т. 1. Зб. матер. VI Міжнар. наук. інтернет-конф. Мелітополь : Вид-во МДПУ, 2011. С. 33–37.

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ЕКОМЕРЕЖЕЮ

Гетьман В.І.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
wi.getman@gmail.com

Розглянуто особливості формування екологічної мережі та її управління у контексті природоохоронної науки і практики як «технологію» збереження довкілля, яка ґрунтується на концепції біоцентрично-сітьової ландшафтно-територіальної структури. Екомережа – ключовий елемент практичного впровадження екологічної парадигми природокористування, яку можна сформулювати як збереження природного каркасу території. На регіональному й локальному рівні «ядрами» екомережі є природно-заповідні терени місцевого значення, котрі забезпечують структурну організацію регіональних та місцевих схем екомережі. Поняття екомережі теоретично походить із концепції біоцентрично-сітьової (біоцентрично-мережевої) ландшафтно-територіальної структури. Структурними елементами екомережі є території, які відрізняються за своїми функціями. До структурних елементів екомережі належать ключові, сполучні, буферні та відновлювальні території. Під час формування екомережі виникають питання, що потребують вирішення, перш за все, управлінські. Особливості управління екомережею полягають насамперед у тому, що в ній концентруються об'єкти високої складності, якими є природні комплекси (ландшафти). Це зумовлює необхідність урахування перебігу процесів ландшафтно-самоорганізації, відкритого характеру таких екосистем, їх функціонування, динаміки тощо. Проте нерозв'язаним залишається досі завдання – створення механізму управління екомережею – цією, поки що, теоретичною конструкцією. Проблему управління екологічною мережею можна розглядати у двох аспектах: функціональному і структурному. Аналізуючи можливості вирішення цього питання, автор пропонує схему та окремі аспекти здійснення управлінського процесу під час формування, відтворення та використання екомережі. *Ключові слова:* екологічна мережа, ключові території, сполучні території, буферні території, ландшафтно-територіальна структура, інтерактивні елементи.

About ecological network management. Getman V.

The idea of ecological network is present view of the nature protection science and practice on “technology” of nature conservation. It is starting and basing on the conception of biocentric-network landscape-territorial structure. Biocentric-network landscape-territorial structures are formed by biocenters (biotic spots), bio-corridors and interactive elements. They do not completely cover the territory, but form only a “landscape grid”. The buffer filling, the background of the landscape is anthropic grounds. The biocentric-network landscape-territorial structure is the territorial expression of an entire metapopulation strategy, the basis of which, in turn, is the concept of metapopulation put forward by R. Levins in the early 1970s. The purpose of eco-network management is to implement environmental legislation; ensuring the implementation of measures for sustainable use of nature, conservation of landscape and biodiversity; consensus building between public authorities and the public on environmental issues etc. The problem of environmental network management can be considered in two aspects: functional and structural. Environmental functional management of the eco-network is carried out through the following functions: planning (forecasting), organization, coordination, accounting and control. Structural management-according to the adopted management structure (linear, functional, linear-functional, program-targeted). Complicated and undecided is the task of establishing mechanism of econetwork management, which is, for the present of theoretical construction. In particular, there are now significant difficulties in implementing and managing eco-networks on the ground (regional and local) in Ukraine. In particular, there are now significant difficulties in implementing and managing eco-networks on the ground (regional and local) in Ukraine. The author analyses the possibilities of solution of this issue and proposes the scheme and some aspects of carrying out management process at forming, restoration and use of ecological network. *Key words:* ecological network, key territories, connecting territories, buffer territories, landscape-territorial structure, interactive elements.

Постановка проблеми. Загальнодержавною програмою формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки, яка затверджена Законом України «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки» від 21 вересня 2000 р., було передбачено збільшення площі земель природно-заповідного фонду як її «зеленого» каркасу, до 10,4% (сучасний відсоток національних парків у Новій Зеландії), а площу мережі загалом до рівня, достатнього для забезпечення екологічної безпеки країни. Програма, як це часто в нас буває, залишилась невиконаною. І сьогоднішній відсоток заповідності в Україні складає тільки 6,61, але зі

значними коливаннями за адміністративними областями – від 2,26% (Вінницька обл.) до 15,72% (Івано-Франківська обл.) [11].

Актуальність дослідження. Згідно із Законом України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України» площа природно-заповідного фонду (ПЗФ) має бути збільшена до 15% до 2020 р. [8]. Це завдання передбачено вирішувати як розширенням площ уже наявних територій та об'єктів ПЗФ, так і створенням нових, чому має передувати виявлення перспективних для заповідання територій, обстеження їх та підготовка наукових обґрунтувань. Слушно зауважити, що оптимальний «процент заповідності» знаходиться

(як вважають деякі вчені) десь у межах 30–40% від загальної території країни [1].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Утім, абсолютно не змінених господарською діяльністю ландшафтів в Україні практично не залишилось (кислотні дощі, забруднення повітря й підземних вод тощо). Однак умовно природні ландшафти спостерігаються майже на 40% території України. У дещо зміненому вигляді вони збереглися на 19,7% території країни. Це – землі, зайняті лісами, чагарниками, болотами тощо. Зважаючи на те, що лише 44% лісів виконують захисні і природоохоронні функції, можна вважати, що найменш змінені ландшафти становлять 12,7% території України, головним чином – цінні природні ліси, водно-болотні угіддя, природно-заповідні та інші природоохоронні території [10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задля виконання вищезазначеного закону в Україні почалось створення національної екологічної мережі (далі – екомережа). В основу її формування покладена ідея цілісності (холістичності) природи, взаємопов'язаності та нерозривності її складових систем усіх рівнів. Одним з основних завдань екомережі є забезпечення умов порівняно безконфліктного функціонування природи й суспільства.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Національна екологічна мережа є складником Пан'європейської екомережі, яка є головним визначальним елементом і практичним утіленням Всеєвропейської стратегії збереження біотичного й ландшафтного різноманіття, розробленої Радою Європи у співпраці з Європейським центром збереження природи (Тілбург, Нідерланди) і прийнятої міністрами довкілля в Софії в жовтні 1995 р. на конференції «Довкілля для Європи». Екомережа водночас є ключовим елементом практичного впровадження екологічної парадигми природокористування.

Метою її створення є відновлення природних середовищ існування дикої флори й фауни, поліпшення стану збереження компонентів біотичного різноманіття, зміцнення та розширення (збагачення) екологічних системних зв'язків і функціональної цілісності природних екосистем [14, с. 93]. Власне, функціональна цілісність самої екомережі – це нова форма охорони природи, яка в умовах значної господарської освоєності території (фрагментованість) має замінити фізичну цілісність природного середовища для забезпечення динамічних процесів в екосистемах.

Відносини, пов'язані з формуванням, збереженням та раціональним, невиснажливим використанням національної екомережі, відповідно до Конституції України, регулюються Законом України «Про екологічну мережу України» від 24 червня 2004 р. № 1864-IV (далі – Закон України).

Відповідно до цього закону екомережа є однією з найважливіших передумов забезпечення сталого, екологічно збалансованого розвитку України, охорони природного довкілля, задоволення сучасних і перспективних економічних, соціальних, екологічних та інших інтересів суспільства.

Закон України визначив (розділ II, ст. 7) і питання організації державного управління у сфері формування, збереження та використання екомережі.

Новизна. Однак до кінця нерозв'язаним залишається прикладне питання щодо практики управління екологічною мережею (зокрема на національному, регіональному й локальному рівнях).

Методологічне або загальнонаукове значення. Мета дослідження – з показати актуальність пошуку нових (креативних) шляхів і форм здійснення структурно-функціонального управління екологічною мережею території України, задля оптимального збереження та охорони ландшафтного й біотичного різноманіття.

Виклад основного матеріалу. Основні результати дослідження, їх обговорення. Попередньо зазначимо, що мережа природних територій існувала історично (у процесі еволюційного розвитку). Питання в тому, наскільки вона була густою. Так, Поліський регіон у давні часи був майже суцільно вкритий лісами. У XVI–XVII ст. лісові масиви на Правобережжі простягались від Дністра до середньої течії Південного Бугу й Росі. На Лівобережжі вони доходили до Переяслава й займали великі площі у верхів'ях Супою, Сули, Хоролу, Псла, Ворскли, в басейні Сіверського Дінця. Степи залишались цілиними до другої половини XVIII ст.

Закон України (ст. 3) визначає екологічну мережу як єдину територіальну систему, яка утворюється з метою поліпшення умов для формування та відновлення довкілля, підвищення природно-ресурсного потенціалу території України, збереження ландшафтного та біотичного різноманіття, місць оселення та зростання цінних видів тваринного й рослинного світу, генетичного фонду, шляхів міграції тварин через поєднання територій та об'єктів природно-заповідного фонду, а також інших територій, котрі мають особливу цінність для охорони природного довкілля, й, відповідно до законів та міжнародних зобов'язань України, підлягають особливій охороні. Структурними елементами екомережі є території, які відрізняються за своїми функціями. До структурних елементів екомережі належать ключові, сполучні, буферні та відновлювальні території.

Ключовими територіями («ядрами») національної екологічної мережі є передусім висококатегорійні природно-заповідні території – природні заповідники, заповідні зони біосферних заповідників і національних природних парків. Вони забезпечують збереження найбільш цінних і типових для конкретного регіону компонентів ландшафтного та біорізноманіття.

Сполучні території (екокоридори) становлять ділянки природних ландшафтів витягнутої конфігурації (річки та захисні лісосмуги, степові байрачні ліси та яруги тощо). Вони поєднують між собою ключові території («ключі») і, загалом, природні регіони. Функціональне призначення екокоридорів полягає в біокомунікації (міграція тварин та обмін генетичного матеріалу), створенні умов безперервності природного середовища. Загалом, екокоридори (перехідні зони) формуються завдяки територіям та об'єктам природно-заповідного фонду, іншим територіям, які особливо охороняються.

Буферні території охоплюють передусім охоронні зони навколо природних заповідників, буферні зони біосферних заповідників і рекреаційні зони (регульованої і стаціонарної рекреації) національних природних (і регіональних ландшафтних) парків. Вони забезпечують захист ключових і сполучних територій від зовнішніх впливів.

Відновлювальні території забезпечують формування просторової цілісності екомережі. Для них мають бути виконані першочергові заходи щодо відтворення первинного (корінного) природного стану змінених ландшафтів.

Інакше кажучи, цілеспрямовано змінюючи впорядкованість ландшафту шляхом створення в ньому місць і ліній, де можлива «жива», біогенна концентрація (рослин і тварин), можна скерувати зміни цього ландшафту в бажаному напрямі. Тому, створюючи нові ділянки із природним рослинним покривом і відповідними (еквівалентними) представниками тваринного світу, поєднуючи їх коридорами, нам вдасться знизити ризик вимирання популяцій та налагодити відновлення біотичного різноманіття ландшафтів [6].

Екологічна мережа згідно зі ст. 5 Закону України охоплює (як складники структурних елементів екомережі) природно-заповідні, курортні й лікувально-оздоровчі, рекреаційні, полезахисні, водоохоронні, інші природні території та об'єкти (ділянки степової рослинності, пасовища, луки, сіножаті тощо), землі лісового й водного фондів, водно-болотні угіддя, радіоактивно забруднені землі (як природні регіони з окремим статусом, які не використовуються та підлягають окремій охороні).

Екологічні (природні) коридори національної екомережі України, як відомо, є субширотні та субмеридіональні. Субширотні коридори забезпечують природні зв'язки зонального характеру. Це такі як Поліський (лісовий), Галицько-Слобожанський (лісостеповий), Південноукраїнський (степовий). Окремий, Приморський, субширотний екокоридор обмежує територію України з півдня, поєднуючи прибережні ландшафти Азовського й Чорного морів.

Субмеридіональні коридори просторово обмежені долинами великих річок – Дунаю, Дністра, Західного Бугу, Південного Бугу, Дніпра, Сіверського Дінця. Вони з'єднують водні й заплавні лінійно витягнуті ландшафти, які є шляхами міграції тварин, розселення рослин.

На регіональному й локальному рівні «ядрами» екомережі є природно-заповідні терени місцевого значення, які забезпечують структурну організацію регіональних та місцевих схем екомережі.

Вищезазначене поняття екомережі теоретично походить із концепції біоцентрично-сітьової (біоцентрично-мережевої) ландшафтно-територіальної структури (ЛТС) [4]. Постає питання, що розуміється під ландшафтно-територіальною структурою. За Гродзинським М.Д. (1993) ландшафтну структуру можна визначити як сукупність ландшафтних територіальних одиниць, конфігураційно та ієрархічно впорядкованих просторовими відношеннями певного типу. Тип відношень між геотопами (елементарними ландшафтними комплексами, фаціями) є основою виділення відповідного типу ландшафтно-територіальних структур.

Засади концепції біоцентрично-сітьової ЛТС наприкінці 70-х років минулого століття сформулювали чеські ландшафтні екологи А. Бучек, Я. Лаціна, І. Льов та американські Р. Форман, М. Годрон, взявши, зі свого боку, за основу теорію острівної біогеографії Р. Мак-Артура, Е. Вільсона (1967).

Біоцентрично-сітьову ЛТС утворюють біоцентри (біотичні плями), біокоридори та інтерактивні елементи. Вони не вкривають повністю територію, а формують лише «ландшафтну сітку». Буферне ж наповнення, фон, або «тканину» (за Р. Форманом, М. Годроном – “matrix”) ландшафту становлять антропічні угіддя. У Литві біоцентрично-сітьову структуру назвали екологічним каркасом ландшафту.

Суттєвими елементами біоцентрично-сітьової ЛТС є *біоцентри* – ареали, зайняті геотопами із природною рослинністю. Найважливіші їх функції: збереження генофонду рослин і тварин (ландшафту), оптимізуючого впливу на прилеглі геотопи, естетичної привабливості території. Біоцентрам відповідають у Законі України ключові території як структурні елементи екомережі.

Площа біоцентру повинна забезпечувати умови самовідновлення популяцій, містити можливість їх деградації й вимирання видів (унаслідок замкненого існування). Наприклад, за середньої щільності популяції ведмеда одна особина для нормального існування потребує 1 тис. га малозміненого лісу. Для самовідновлення мінімальна чисельність популяції цього виду має становити 50 особин [4].

Загалом, екологами докладається чимало зусиль для пошуку цікавих залежностей між кількістю видів, чисельністю популяцій, видовим насиченням і площею біоцентрів. Так, помічено, що щільність видів є високою в малих біоцентрах, а зі збільшенням їх площі – зменшується. Це пояснюється тим, що в малих біоцентрах створюються сприятливі умови для проживання так званих «галявинних» видів, а у великих біоцентрах їх частка зменшується. Водночас максимальна видова насиченість характерна для місць, площа яких коливається в межах 2 га. Зменшення видової насиченості в біоцентрах,

менших за 2 га, відомий американський еколог Р. Форман вважає загальною закономірністю [5; 15].

Біокоридор біоцентрично-сітьової ЛТС – це видовжений ареал геотопів із природною або близькою до неї рослинністю, вздовж якого відбуваються біотичні міграції між біоцентрами (лісосмуги, річкові долини, міські бульвари тощо). Крім забезпечення умов міграції видів, біокоридори виконують ще низку функцій: бар’єрна (снігозатримання, зменшення поверхневого стоку тощо), екологічна (місце зростання і проживання багатьох видів рослин і тварин) і, подібно до біоцентрів – оптимізуючого впливу на прилеглі геотопи, естетичної привабливості території. Відповідно до Закону України біокоридори – це сполучні території (екокоридори), які сполучають «ключі».

Утім, постає питання, як бути з неминучими перешкодами (автостради, «спальні райони» міст, промислова забудова тощо) для вільної міграції диких тварин у природі. І чи буде, таким чином, дотримуватись визначений у ст. 4 Закону України принцип цілісності екосистемних функцій складників структурних елементів екомережі у процесі її формування та використання.

Не всі біологічні види, коли йдеться про їх поширення та розселення, мають однакові екологічні вимоги до середовища. Наприклад, деякі з них: жужелиці, нарциси, дзвоники тощо – потребують суцільних коридорів. Достатньо навіть розриву в кілька метрів, щоб завадити їх поширенню [2].

Інтерактивні елементи в біоцентрично-сітьовій ЛТС подібні до біокоридорів, але не з’єднують біоцентри. Вони відгалужуються від біоцентру або біокоридору й поширюють їх дію на прилеглі території.

У контексті вищерозглянутого можна згадати концепцію метапопуляції, висунуту Річардом Левінсом на початку 1970-х років і розвинуту І. Ханскі та М. Гілпін, згідно з якою метапопуляція – це декілька територіально відокремлених популяцій одного виду (субпопуляцій), між якими можливий обмін генами й повторне заселення. Із неї випливає, що виживання популяції, розсередженої між окремими ділянками (плямами) ландшафту, має набагато кращі шанси, ніж виживання популяції, зосередженої в межах однієї великої території.

Постає питання, що таке плями ландшафту. Під біотичними плямами ландшафту М.Д. Гродзинський (2014) має на увазі ділянки ландшафту, які сприймаються організмом як придатні для виконання різних своїх функцій (харчування, розмноження тощо); тут він (популяція) проводить більшу частину свого життя.

Концепція метапопуляції стала основою цілої метапопуляційної стратегії виживання та існування біологічних видів, їх більшої життєздатності у природному середовищі. Територіальним вираженням цієї стратегії і є біоцентрично-сітьова ЛТС.

Отже, метапопуляція – це не просто сукупність декількох ділянок (плям) ландшафту, населених особинами одного виду, а ціла територіальна система, між елементами якої (субпопуляціями) має бути тісний зв’язок, який забезпечується біотичними міграціями.

В умовах сучасних ландшафтів із фрагментованим рослинним покривом більшість популяцій існують у межах окремих ландшафтних плям (територій), не пов’язаних між собою. Тому ці популяції не можуть реалізувати метапопуляційний механізм свого збереження [6].

Власне, з концепції метапопуляції випливає ідея екомережі, практично вагома ідея екології ландшафту: через поєднання ізольованих біотичних плям між собою шляхом міграцій організмів можна створити природну структуру, яка була б ефективною навіть в умовах сильнофрагментованого ландшафту.

Усе сказане вище про екомережу (біоцентрично-сітьову ЛТС, метапопуляцію), загалом, є не чим іншим як відображенням офіційної теоретичної конструкції. Під час практичного втілення ідеї екомережі виникли питання, перш за все, управлінські. Особливості управління екомережею, варто зазначити, полягають насамперед у тому, що ми маємо справу з об’єктами високої складності, якими є природні комплекси (ландшафти). Це зумовлює необхідність урахування особливостей перебігу процесів ландшафтної самоорганізації, відкритого характеру таких екосистем, їх функціонування, динаміки тощо.

На сьогодні в Європі певний досвід управління екомережами вже є. Так, у Валлонії (Бельгія) для реального впровадження концепції екомережі почали здійснювати перші комунальні плани розвитку природи. У кожній комуні спеціальне дослідницьке бюро проводить дослідження місцевості, визначає слабкі і сильні сторони елементів екомережі. Причетні до екомережі представники комуні у формі партнерства розподіляються за робочими тематичними групами (природа, туризм, популяризація тощо). Завданням партнерів є узгодження основних напрямів комунальної стратегії в різних галузях управління екомережею. Водночас складаються коротко-, середньо- та довготермінові програми, в яких передбачаються бюджет, джерела фінансування, строки здійснення заходів тощо. Партнерство організовується на трьох рівнях: прийняття рішень; надання консультацій (рекомендацій) попередньому рівню; забезпечення оперативного управління.

Далі дамо відповідь на питання, який стан справ з управлінням екомережею в Україні. Взяти хоча б таку задекларовану Законом України структуру як Координаційна рада з питань формування національної екологічної мережі (далі – Координаційна рада), яку створено відповідно до Постанови КМУ від 29.11.2001 р. № 1603 із залученням до її складу представників обласних Держуправлінь екоресурсів (зараз управління облдержадміністрацій), управлінь лісового й водного господарств, земельних ресур-

сів, представників природоохоронних організацій. Розроблено та затверджено відповідне Положення про Координаційну раду. Очолює Координаційну раду міністр природоохоронного відомства.

На сьогодні виникли значні труднощі у впровадженні та управлінні екомережами на місцях. Так, недостатнім є проведення інвентаризації та картографування окремих елементів екомережі як наявних, так і перспективних. Не визначені умови їх управління та інтеграції у складні системи, які виконуватимуть різні функції й відіграватимуть різні ролі. Загальне управління такими системами передбачає узагальнення різних видів індивідуального й колективного управління, які часто-густо суперечать одне одному [14].

Якщо управління розглядати в часовому вимірі, тобто через призму створення управлінського «продукту», то в такому разі воно охоплюватиме цілу низку порівняно самостійних і логічно послідовних операцій, зокрема: збирання, систематизація (обробка) та передача інформації; підготовка, обґрунтування і прийняття рішення; трансформація рішення в різні форми команд (усна, письмова); забезпечення виконання управлінського рішення; аналіз ефективності прийнятого рішення та можливе наступне його коригування. Важливо, щоб процес прийняття рішень базувався на балансі трьох складників успіху: *логіка, інтуїція й досвід (трикутник прийняття рішення)* [13].

Метою управління екомережею є реалізація природоохоронного законодавства; забезпечення здійснення заходів із раціонального природокористування, збереження ландшафтного й біотичного різноманіття; досягнення консенсусу між органами державного управління та громадськістю щодо питань довкілля тощо.

Проблему управління екологічною мережею можна розглядати у двох аспектах: функціональному і структурному.

Функціональне управління. Поширена думка про те, що зміст управління загалом (екомережею, зокрема) найбільш чітко проявляється в його функціях (від лат. *functio* – виконання, звершення). Тобто зміст управління складається з комплексу функцій.

Визначимо функцію управління як порівняно самостійний складник управлінської діяльності, в якому відображено владно організуючий вплив суб'єкта управління, спрямований на забезпечення життєво важливих потреб адекватного йому об'єкта управління [7].

На практиці природоохоронне управління (екомережею) здійснюється за такими основними функціями: планування (прогнозування), організація, координація, облік та контроль.

Планування як функція управління опосередковується спеціальними юридичними актами-планами, які виражають зміст управління, визначають попередні цілі, завдання і способи їх здійснення.

Організація (від франц. *organization* – структура; впорядкування) в управлінському процесі охоплює створення, реорганізацію об'єктів управління (установ ПЗФ), налагодження їх функціонального забезпечення (інформаційного, матеріально-технічного тощо).

Так, організація оптимального природного «каркасу» (екомережі) території (ландшафту) охоплює вирішення трьох завдань: установлення оптимального процентного співвідношення природних і господарських угідь, визначення мінімально необхідної площі структурних елементів екомережі і, як наслідок, виявлення оптимальної ландшафтно-територіальної структури.

Функція *координації* (від лат. *ordinatio* – погодження), основним у якій є узгодження спільних дій учасників управлінських відносин, розуміється нами як установлення й підтримання зв'язків між елементами системи управління.

Управлінська функція *контролю* за екомережею полягає в аналізі та порівнянні фактичного стану із плановими завданнями, відхиленнями в їх виконанні, вимогами законодавства [3; 7]. Фактично, вона проявляється в екологічному моніторингу (загальному, науковому) відповідно до рівнів формування екомережі (національного, регіонального, місцевого).

Згідно зі ст. 62 і 63 Закону України «Про природно-заповідний фонд України» є два види функції *контролю* за дотриманням режиму територій та об'єктів ПЗФ. Перший – державний контроль, який здійснює природоохоронне відомство системи центральної влади, відповідні управління облдержадміністрацій. Другий – громадський контроль, який здійснюється громадськими інспекторами охорони природного довкілля [9].

Функція *обліку* пов'язана зі збиранням, зберіганням, опрацюванням та передачею даних, реєстрацією і групуванням відомостей про діяльність системи управління [7]. На практиці вона втілюється через складання й ведення кадастрів (від франц. *cadastre* – систематизоване зведення відомостей) основних природних ресурсів.

Структурне управління екомережею (тобто управління згідно із прийнятою управлінською структурою). Під поняттям «структура» розуміємо таке: структура (від лат. *structura* – порядок) – «порівняно стійка єдність елементів, їх відношень і цілісності об'єкта; інваріантний аспект системи» [11, т. 5, с. 140].

Є такі основні структури управління: лінійна, функціональна, лінійно-функціональна, програмно-цільова, матрична. Відповідно до цих структур можна говорити і про такі ж види управління.

Управління з *лінійною* структурою передбачає надходження розпорядження від одного органу до іншого за ієрархією – згори донизу. Для керівника кожного ієрархічного рівня важливо підібрати оптимальну кількість підпорядкованих одиниць, якими можна було б ефективно керувати.

За функціональної структури управління загальні для кількох підрозділів функції управління передаються одному органу (підрозділу) або виконавцю. Субординація в управлінні здійснюється за функціями.

Управлінські рішення за лінійно-функціональної структури розробляються функціональними підрозділами, а розпорядження віддаються через лінійні канали.

У програмно-цільовій управлінській структурі для узгодження діяльності окремих підрозділів, які виконують певні завдання, створюється єдиний координаційний центр.

Матрична структура управління передбачає підпорядкованість нижчого органу кільком вищим, кожний із яких відповідає за різні види діяльності. Для цієї структури характерне поєднання лінійної, програмно-цільової та функціональної форм.

Поділ на функціональний і структурний типи управління певною мірою умовний, адже функції та структури управління взаємопов'язані. Так, наприклад, функції (форми) управління знаходять своє відображення у структурі органів управління, а управлінські структури проявляють себе у функціях цих органів.

Головні висновки. Національна екологічна мережа є складником Пан'європейської екомережі. Тому процес управління її формуванням і функціонуванням має розглядатись у загальноєвропейському контексті.

Науково-прикладні розробки екомереж у країнах Європи передбачають створення екомереж не лише з метою підтримки екологічного балансу, але й оптимізації структури природокористування, рекреації, туризму тощо.

Поняття екомережі змістовно близьке до концепції біоцентрично-сітьової ландшафтно-територіальної структури. А тому управління екологічною мережею в Україні (загальнодержавною, регіональними й місцевими) має керуватись такою концепцією.

Особливість управління екомережею полягає насамперед у тому, що природні комплекси (ландшафти), які її формують, – це об'єкти високої складності.

Проблему управління екологічною мережею можна розглядати у двох аспектах: функціональному і структурному. Функціональне управління екологічною мережею передбачає такі функції: планування, організація, координація, облік та контроль. Структурне управління екологічною мережею здійснюється згідно із прийнятою управлінською структурою – лінійною, функціональною, лінійно-функціональною, програмно-цільовою тощо.

Перспективи використання результатів дослідження. Із активізацією господарської діяльності на території України екомережа набуватиме більш вагомого значення.

Концепція екомережі – це теоретична конструкція, яка враховує різні наукові теорії. Реальне ж її втілення – справа практики управління.

Література

1. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте / Д.Л. Арманд. Москва : Мысль, 1975. 287 с.
2. Гетьман В.І. Бажане і реальне про національну. *Роль природно-заповідних територій у підтриманні біорізноманіття. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 80-річчю Канівського природного заповідника (Канів, 9–11 вересня 2003 р.)*. Канів : 2003. С. 10–12.
3. Гетьман В.І. Заповідна справа потребує управління. *Науковий світ*. 2005. № 1. С. 8–9, 30.
4. Гродзинський М.Д. Основи ландшафтно-екології. Київ : Либідь, 1993. 224 с.
5. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: Монографія. У 2-х т. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. Т. 1. 432 с.
6. Гродзинський М.Д. Ландшафтна екологія : підручник. Київ : «Знання», 2014. 550 с.
7. Державне управління: теорія і практика / за заг. ред. проф. Авер'янова В.Б. Київ : 1998. 431 с.
8. Закон України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України» від 21 грудня 2010 р. № 2818-VI. *Електронний ресурс*. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>.
9. Закон України «Про природно-заповідний фонд України» від 16 червня 1992 р. № 2456-XII. *Електронний ресурс*. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2456-12/page3>.
10. Розбудова екомережі України. Програма розвитку ООН (UNDP). Проект «Екомережі». Київ : 1999. 127 с.
11. Статистичні дані Міністерства екології та природних ресурсів України на поч. 2019 р.
12. Философская энциклопедия. – М. : изд. СЭ. - Т. I-V, 1960-1970.
13. Екологічне управління : підручник / В.Я. Шевчук та ін. Київ : Либідь, 2004. 432 с.
14. Збереження і невиснажливе використання біорізноманіття України: стан та перспективи / Ю.П. Шеляг-Сосонко та ін. Київ : Хімджест, 2003. 248 с.
15. Forman R.T.T. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1995. 632 p.

АНАТОМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛИСТКІВ ВИСОКОГІРНИХ ВИДІВ *GENTIANA LUTEA* L., *GENTIANA PUNCTATA* L., *GENTIANA ACAULIS* L. ФЛОРИ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Грицак Л.Р.¹, Нужина Н.В.², Гайдаржи М.М.², Дробик Н.М.¹

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, 47028, м. Тернопіль

²Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
вул. Симона Петлюри, 1, 01032, м. Київ
hrytsak1972@gmail.com, drobyk.n@gmail.com,
nuzhynan@gmail.com, gaidarzhny@ukr.net

Представлено результати порівняльного аналізу анатомічної будови листків рідкісних високогірних близькородних таксонів *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L. Які характеризуються різною висотною диференціацією в межах 1488–1950 м н. р. м. в Українських Карпатах. Установлено, що еколого-географічні умови росту видів позначилися на товщині епідерми, на розмірах продихів та їх щільності з обох боків листка, щільності клітин мезофілу та кількості шарів палисадної та губчастої тканини. У рослин *G. lutea* товщина епідерми, а також її зовнішньої клітинної стінки з обох боків листка на 12,2–13,7% є більшою, порівняно з іншими видами. Кількість продихів і розмір підпродихових камер з абаксального боку в цього таксону майже втричі більші, порівняно з адаксальним боком. Вид *G. punctata* подібний до субальпійського таксону *G. lutea* за більшістю анатомічних ознак, а саме: за розмірами продихів, їх щільністю на адаксальній та абаксальній поверхнях листка, структурою мезофілу. Водночас рослини *G. punctata* характеризуються тоншою епідермою та її зовнішньої клітинної стінкою з обох боків. За цими ознаками *G. punctata* наближений до альпійського виду, якому властиві менші розміри клітин епідерми та продихів, більша кількість продихів, збільшення шарів палисадного мезофілу та його щільності. Це вказує на значний адаптаційний потенціал *G. acaulis* до росту в альпійській зоні. Особливості анатомії *G. punctata* дозволяють йому рости як у субальпійському, так і в альпійському поясі. Однак більша його спорідненість із видом *G. lutea* свідчить про те, що сприятливішими для нього є умови субальпійської зони. Тому висотне зміщення рослинних поясів за глобального потепління може значно ускладнити процес виживання видів *G. punctata* та *G. lutea* в нових умовах. **Ключові слова:** *Gentiana* L., анатомічна будова листка, адаптація, кліматичні зміни.

Anatomical leaf features of high-alpine species *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L. from the Ukrainian Carpathians. Hrytsak L., Nuzhyna N., Gaidarzhny M., Drobyk N.

The results of the comparative analysis of the leaf anatomical structure of rare alpine, closely related taxa *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L are presented. These species are characterized by different altitude differentiation within 1488–1950 m a.s.l. in the Ukrainian Carpathians. The ecological and geographical conditions of the species' growth have been found to have an effect on the thickness of the epidermis, on the size of the stomata and on their density on both sides of the leaf, on the density of mesophyll cells and the number of layers of palisade and spongy tissue. In *G. lutea* plants, the thickness of the epidermis, as well as its outer cell wall on both sides of the leaf is 12.2–13.7% larger than other species. The stomata number and the size of the substomatal cavity on the abaxial side of this taxon are almost three times greater, compared to the adaxial side. It is established that the species *G. punctata* is similar to the subalpine taxon *G. lutea* in most anatomical features, namely: the size of stomata, their density on the adaxial and abaxial leaf surfaces, the structure of mesophyll. At the same time, *G. punctata* plants are characterized by a thinner epidermis and its outer cell wall on both sides. By these features, *G. punctata* is close to the alpine species, which has smaller epidermal cells and stomata, a greater number of stomata, an increase in palisade mesophyll layers and its density. This indicates a significant adaptation potential of *G. acaulis* to growth in the alpine zone. Features of *G. punctata* anatomy allow these plants to grow in both the subalpine and alpine zones. However, its greater affinity with *G. lutea* indicates that the conditions of the subalpine zone are more favorable to it. Therefore, high-altitude displacement of vegetation zones under global warming can significantly complicate the survival of *G. punctata* and *G. lutea* species under new conditions. **Key words:** *Gentiana* L., leaf anatomy, adaptation, climate change.

Постановка проблеми. Аналіз наукових праць [1; 2] показав, що вплив глобального потепління на наземні екосистеми виявився більшим в арктичній тундрі та високогірних районах, ніж в інших районах. Вважають, що прогнозований темп глобального потепління в гірських екосистемах буде втричі вищим, ніж середній показник глобального потепління, зафіксований протягом ХХ століття [3]. Усі перспективні сценарії стану біорізноманіття

у ХХІ столітті вказують на скорочення альпійського середовища існування та втрату багатьох європейських високогірних рослин [4, 5]. Висунуто гіпотезу, що популяції видів рослин можуть зберегтись у своїх сучасних локалітетах і протистояти змінам навколишнього середовища лише за умови значного адаптаційного потенціалу [6]. В останнє десятиліття зазначають також і про зсув висотних поясів рослинності на вищі гіпсометричні рівні, зокрема

й в Українських Карпатах [7]. Лише значна фенотипова пластичність фізіологічних, морфологічних та анатомічних ознак високогірних видів дозволить їм переміститись на вищі гіпсометричні рівні, де вони будуть піддаватись сильнішій дії вітру та знаходитись в умовах більшого дефіциту ґрунтової вологи.

Актуальність досліджень. З огляду на вищезазначене необхідним є проведення досліджень, які дозволять вивчити екологічні стратегії високогірних рідкісних видів та оцінити перспективи їх виживання в умовах глобального потепління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З'ясувати основні шляхи та закономірності формування у високогірних видів адаптацій до конкретних умов існування дозволяє проведення порівняльного аналізу анатомічної будови їх органів, особливо листків [8, 9, 10]. За особливостями структурних перебудов листків у конкретних видів рослин можна встановити напрям довготривалих адаптивних процесів, які і сприяли формуванню певних екологічних стратегій [9, 10]. За зміною якісних та кількісних показників, насамперед епідермісу, мезофілу і продигового апарату, можна визначити реакцію рослин на параметри світлового, температурного та водного режимів умов існування [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідження екологічних стратегій рослин, які сформувались у відповідь на умови їх існування, доцільно проводити у близькородинних видів [11]. Саме тому було обрано три рідкісних високогірних види (*Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L.), котрі мають різну висотну диференціацію та приурочені до різних рослинних поясів. Вид *G. lutea* входить до складу субальпійських луків (лише іноді – альпійських), оптимальний висотний діапазон для росту рослин цього таксону знаходиться в межах 1488–1742 м н. р. м. [12]. *G. punctata* належить до складу як субальпійських, так й альпійських угруповань та росте в діапазоні від 1750 м н. р. м. до 1900 м н. р. м. Вид *G. acaulis* є представником альпійських ценозів, зрідка трапляється у складі субальпійських лук, росте на висотах у межах 1850–1950 м н. р. м. У науковій літературі приділено значну увагу питанням хорології та популяційної організації цих видів [13, 14]; досліджено вміст пігментів та їхнє співвідношення у фотосинтетичному апараті рослин [15]. Однак відсутні відомості, які стосуються особливостей анатомічної будови листків цих таксонів.

Новизна. У роботі вперше вивчено анатомію листків високогірних видів *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis* флори Українських Карпат.

Методологічне або загальнонаукове значення. Сучасні концептуальні засади збереження фіторізноманіття в умовах трансформації екосистем і глобального потепління передбачають ґрунтовне дослідження екології та біології рідкісних видів. У цьому

контексті анатомічні особливості видів, поряд із фізіологічними та морфологічними, визначають їхню здатність до виживання в мінливому середовищі. Тому мета нашої роботи полягає у проведенні порівняльного аналізу анатомічної будови листків рослин споріднених видів *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis*.

Відбір рослинного матеріалу для проведення анатомічних досліджень було здійснено в таких популяціях видів, розташованих у межах Чорногірського хребта (Івано-Франківська обл.): *G. lutea* – г. Пожижевська, висота 1450 м н. р. м., *G. punctata* – г. Брескул, висота 1800 м н. р. м., *G. acaulis* – г. Брескул, висота 1850 м н. р. м. Усі популяції за віталітетним аналізом належать до процвітаючого типу. Рослинний матеріал, а саме середню частину листка, відбирали в рослин, які знаходились на віргінільній стадії онтогенезу, у фенофазу масового цвітіння (по два листка із п'яти особин).

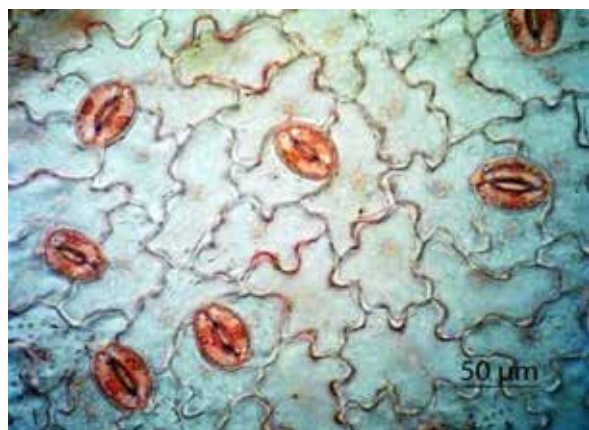
Зразки фіксували в суміші ФАА (формалін (5 частин): льодяна оцтова кислота (5 частин): 70% етиловий спирт (90 частин)) та заливали в желатин за стандартною методикою [16]. За допомогою заморожувального мікроміа виготовляли поперечні зрізи листка товщиною 10–15 мкм. Зрізи забарвлювали сафраніном. Також проводили мацерацію листків із метою вивчення структур адаксіальної та абаксіальної епідерми листка. Під час описування епідерми листової пластинки використовували методики С.Ф. Захаревича (1954) [17] і М.А. Баранової (1985) [18].

Мікроскопічні виміри проводили за допомогою окуляр-мікроміа на мікроскопі XSP-146TR та програми ImageJ. Фотографії були зроблені за допомогою цифрової камери Canon PowerShot A630. Статистичну обробку даних, а саме дисперсійний аналіз ANOVA з використанням критерію достовірної різниці групових середніх Тьюкі (Honestly Significant Difference), виконано за допомогою програмного забезпечення Prism Graphpad 6. Під час перевірки статистичних гіпотез у дослідженні приймався критичний рівень значимості, який дорівнює 0,05.

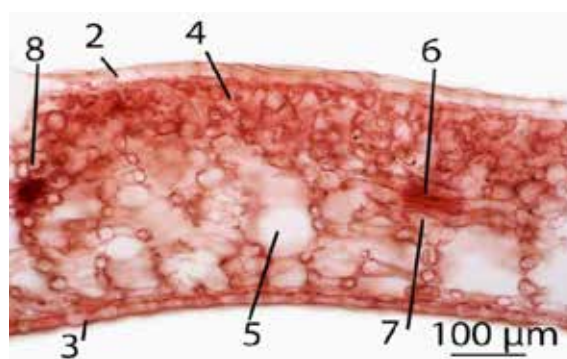
Викладення основного матеріалу. Результати наших досліджень показали, що в рослин усіх розглянутих видів роду *Gentiana* з адаксіального та абаксіального боків проєкції площі епідермальних клітин розпластані або витягнуті; основні епідермоцити мають крупно-хвилясті обриси (рис. 1 а, в, г). Лише в рослин *G. punctata* кути з'єднання епідерми сусідніх клітин є більш загостреними [19]. Листки усіх досліджуваних рослин укріплені одношаровою епідермою з тонкою кутикулою. Товщина епідерми, а також її зовнішньої клітинної стінки з обох боків листка у рослин *G. lutea* на 12,2–13,7% є більшою, порівняно з іншими видами (рис. 2). Тоді як види *G. punctata* та *G. acaulis* за показниками цих параметрів достовірно значимо між собою не відрізняються. Особливістю всіх таксонів є відсутність трихом на поверхні епідерми. Листки в них амфістоматичного типу, що властиво для більшості ксеро-

фітів або мезофітів, пристосованих до посушливих умов [20]. Продихи в усіх досліджених видів аномоцитні, видовжено-овальної форми та оточені 3–4 клітинами (рис. 1 а, в, г). У рослин видів *G. lutea* і *G. punctata* кількість продихів і розмір підпродихових камер з абаксiального боку майже втричі більші, порівняно з адаксiальним боком. В особин

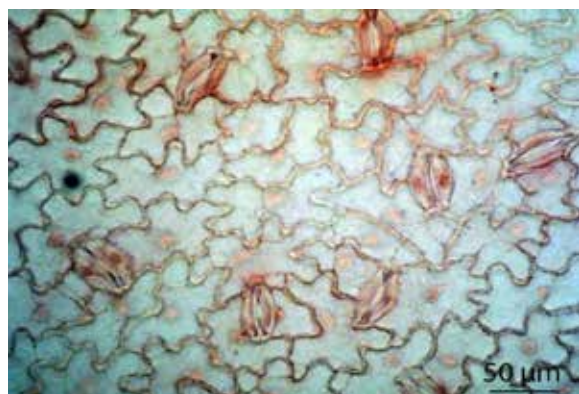
виду *G. acaulis* різниця в показниках щільності продихів на верхньому та нижньому боці епідерми становить менше, ніж 10%. Відповідно, це позначається й на міжвидових відмінностях. Так, серед досліджених видів найбільша кількість продихів на 1 мм² листової поверхні властива рослинам *G. acaulis*. У представників цього виду щільність



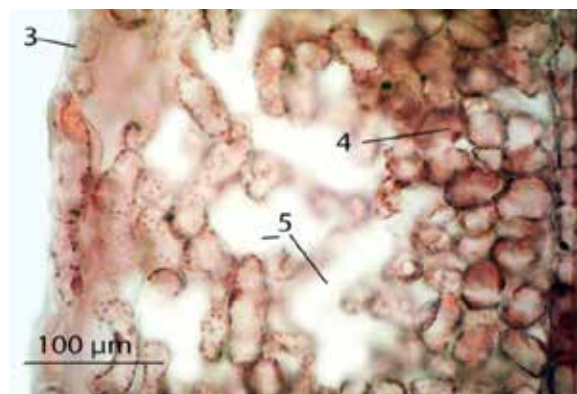
а



б



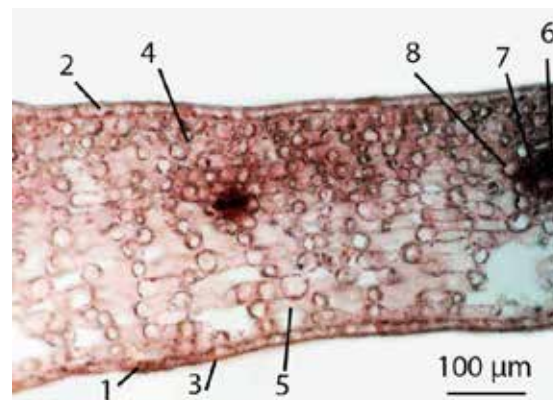
в



г



д



е

Рис. 1. Мікрофотографії листків: *Gentiana lutea* L. (а, б); *Gentiana punctata* L. (в, г); *Gentiana acaulis* L. (д, е) з природи. а, в, г – абаксiальна епідерма; б, г, е – поперечний переріз листка

Умовні позначення: 1 – продих, 2 – адаксiальна епідерма, 3 – абаксiальна епідерма, 4 – мезофіл, 5 – міжклітинники губчастого мезофілу, 6 – ксилема, 7 – флоема, 8 – паренхімна обкладка пучків.

продихів на адаксіальному боці, порівняно з рослинами *G. lutea*, є більшою у 3,1 рази, а із представниками *G. punctata* – у 3,5 рази.

На абаксіальній поверхні листка їхня щільність в особин *G. acaulis* також є більшою на 11,6% і 11,8%, відповідно (рис. 2 Е). Це закономірно відобразилось на розмірах продихів. Так, найбільша довжина продихів з обох боків спостерігається в рослин *G. punctata*, а найменша – у рослин *G. acaulis*. У останнього виду їхня довжина з обох боків на 12,5% є меншою, порівняно з *G. lutea* і *G. punctata* (рис. 2 С). Показники ширини продихів досто-

вірно значимо не відрізняються на обох поверхнях в усіх видів (за винятком, абаксіального боку рослин *G. punctata*) (рис. 2 D).

Відомо, що кількість продихів на одиницю поверхні листка є важливим показником, за яким оцінюють адаптаційний потенціал рослин до екстремальних умов існування та, частково, потенційні можливості водо- та газообміну листків [21]. Цей параметр залежить від двох чинників: концентрації CO_2 в повітрі та вмісту вологи у ґрунті [21; 22]. Концентрація CO_2 зменшується зі збільшенням гіпсометричного рівня. Тому у високогірних рослин

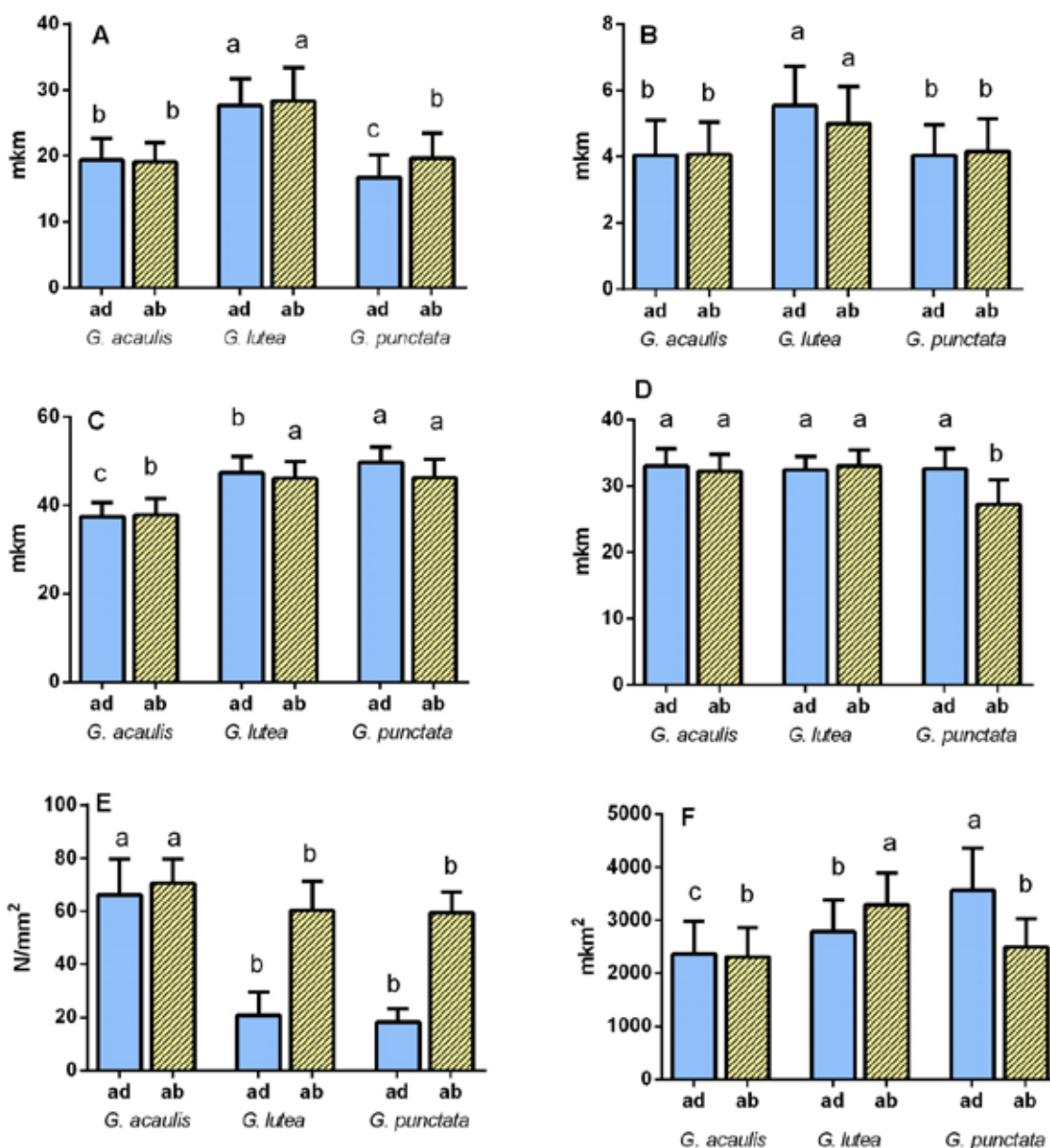


Рис. 2. Морфометричні параметри листків видів роду *Gentiana* L. із природи:

А – товщина епідерми, В – товщина зовнішньої клітинної стінки епідерми, С – довжина продихів,

Д – ширина продихів, Е – щільність продихів, F – площа епідермоцитів

Умовні позначення: ad – адаксіальна епідерма, ab – абаксіальна епідерма; a, b, c – різні літери вказують на достовірну різницю показників одного боку епідерми між видами за $P \leq 0,05$.

кількість продохів часто збільшується з підвищенням висоти над рівнем моря. Тим самим забезпечується краща дифузія вуглекислого газу до листка [23; 24]. В оселищах, де рослини постійно відчувають водний стрес, адаптивна стратегія змінюється – проблема зменшення втрат води у процесі транспірації стає більше важливою, порівняно з поглинанням CO₂. Реалізація цієї стратегії здійснюється шляхом зменшення кількості продохів на одиницю площі [22]. З огляду на ці дані рослини *G. acaulis* належать до першої групи видів. Збільшення щільності продохів забезпечує надходження до їхніх листків достатньої кількості CO₂, що відображається на показниках їхньої продуктивності та, відповідно, на інтенсивності накопичення сухої речовини на одиницю площі листової поверхні. З іншого боку, велика кількість продохів дозволяє рослинам цього виду за необхідності посилити транспірацію і, як наслідок, збільшити інтенсивність поглинання води із ґрунту та зменшити ризик перегрівання особин за високої інсоляції.

Відсутність значних міжвидових відмінностей між морфометричними параметрами продохів та їх щільністю в рослин *G. lutea* та *G. punctata* і вказує на значну подібність їх адаптивних стратегій.

У разі *G. punctata* це, з одного боку, можна розцінювати як ознаку тривалого росту цього таксону на нижчих висотах у складі субальпійських ценозів. А з іншого – ймовірно, є чинником, який ускладнює виживання його популяцій на вищих гіпсометричних рівнях, особливо в умовах зміни клімату. Рослини виду *G. acaulis*, як уже зазначалось, ростуть на вищих гіпсометричних рівнях. Збільшення щільності продохів на обох поверхнях епідермісу, зменшення площі як клітин епідермісу (рис. 1, 2), так і листової пластинки в цих рослин можна розглядати як посилення ознак ксероморфності за дефіциту вологи у ґрунті [20]. Це підвищує потенційну здатність рослин виду до виживання в сучасних локалітетах.

Досліджені види мають дорзовентральний тип листка, котрий вважається однією з форм адаптацій рослин до росту в умовах значного дефіциту вологи та сильної інсоляції [25]. Проте палісадний мезофіл у цих видів складається не з типових стовпчастих або циліндричних за формою клітин, а із клітин округлої та овальної форми, між якими майже не видно міжклітинників. Кількість шарів палісадного мезофілу варіює залежно від виду. Так, найменша кількість шарів палісадного мезофілу, а саме 4, характерна для *G. punctata*, в рослин *G. lutea* нараховано 5 шарів, а в *G. acaulis* – 6 шарів. Клітини губчастого мезофілу витягнутої неправильної форми, іноді округлі, відокремлені великими міжклітинниками, формують тяжі та містять менше хлоропластів, порівняно з палісадним мезофілом (рис. 1 б, г, д). Загальна кількість шарів мезофілу коливається від 10 до 12, залежно від видової належності рослин. Найбільше значення цього показника характерне для рослин *G. acaulis*. Таку особливість анатомічної

будови листків рослин *G. acaulis* можна пояснити як із погляду «ксероморфозу», так і «фотоморфозу». Під «ксероморфозом» розуміють адаптацію рослин до нестачі вологи, а під «фотоморфозом» – пристосування до умов росту за великої кількості прямої сонячної радіації. В альпійському поясі на щебенистих ґрунтах у сонячну погоду за сильного вітру та низького тиску рослини можуть часто страждати від водного дефіциту. Тому адаптаційні реакції високогірних рослин одночасно є результатом «ксероморфозу» та «фотоморфозу» і проявляються у зменшенні розмірів листків і клітин, збільшенні кількості продохів і сітки жилкування [26], а також у збільшенні кількості шарів і щільності палісадного мезофілу [1, 25]. Саме ці риси морфологічної та анатомічної будови й характерні для рослин *G. acaulis*. Щільніша структура їх листків, мала площа листової поверхні може перешкоджати надмірному зневодненню рослин. Збільшення ж шарів палісадного мезофілу компенсує зменшення площі листової поверхні та забезпечує на достатньому рівні підтримання процесів фотосинтезу.

Що ж стосується провідної системи, то в досліджених видів вона представлена помірно розвинутими відкритими колатеральними пучками, паренхімна обкладка пучків виражена краще в центральному пучку.

Головні висновки. Отже, особливості еколого-географічних умов росту позначились на особливостях анатомічної будови рослин видів *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis*. Установлено, що, за морфометричними параметрами анатомічних структур, вид *G. acaulis* значною мірою відрізняється від таксонів *G. lutea* та *G. punctata*. Особливості анатомічної будови листків *G. acaulis* – це результат еволюційних пристосувань, які одночасно спричинені «ксероморфозом» і «фотоморфозом». Тому для цього виду характерно зменшення розмірів листків і клітин епідерми, збільшення кількості продохів і сітки жилкування, а також шарів палісадного мезофілу та його щільності. Відповідно, потенційна можливість до виживання цього виду в умовах глобального потепління є високою. Анатомічна будова виду *G. punctata*, який входить до складу як субальпійських, так й альпійських ценозів, значною мірою подібна до *G. lutea*, а саме: кількість продохів на адаксіальній поверхні листка майже втричі менша порівняно з абаксіальною; палісадний мезофіл представлений 4–5 шарами клітин округлої та овальної форми, між якими майже не видно міжклітинників. Однак для рослин властива тонша епідерма та її зовнішня клітинна стінка, порівняно з *G. lutea*, що сприяє кращій кутикулярній дифузії газів і наближає *G. punctata* за цими ознаками до альпійського виду *G. acaulis*. Очевидно, що комплекс таких анатомічних особливостей рослин *G. punctata* забезпечує їх існування як у субальпійській, так і в альпійській зоні. Проте більша його спорідне-

ність із видом *G. lutea* вказує, що сприятливішими для нього є абіотичні умови субальпійської зони. В умовах же кліматичних змін шанси на виживання *G. lutea* та *G. punctata* в сучасних їх оселищах зменшуються, оскільки підтримувати необхідний рівень водного балансу за такої анатомічної будови буде складно. За висотного зміщення рослинних поясів в умовах глобального потепління рослини видів *G. punctata* та *G. lutea* будуть знаходитись в умовах більшого дефіциту води, вищої інсоляції та силь-

нішої дії вітру, що теж є обмежувачами чинниками для їх успішного вживання в нових оселищах.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати наших досліджень не лише значно поглиблюють знання про закономірності формування адаптацій видів *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis* до еколого-географічних умов їх росту, але і сприяють більш успішній реалізації програм зі збереження та відновлення популяцій цих рідкісних таксонів у високогір'ї Українських Карпат.

Література

1. Gratani L. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Botany*. 2014. Article ID 208747 doi: 10.1155/2014/208747.
2. Larcher W., Kainmuller C., Wagner J. "Survival types" of high mountain plants under extreme temperatures. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2010. № 205(1). P. 3–18. Doi: 10.1016/j.flora.2008.12.005
3. Nogues-Bravo D., Ara'ujo M.B., Errea M. P., Mart'inez-Rica J.P. Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. *Global Environmental Change*. 2007. № 17(3-4). P. 420–428. Doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.11.007/.
4. Dirnbock T., Essl F., Rabitsch W. Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. *Global Change Biology*. 2011. № 17(2). P. 990–996. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02266.x.
5. Engler R., Randin C.F., Thuiller W. et al. 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*. 2011. № 17(7). P. 2330–2341. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02393.x.
6. Lind ксероморфозу», так і «фотоморфозу». Під «ксероморфозом» розуміють адаптацію рослин до нестачі вологи, а під «фотоморфозом» – пристосування ner M., Maroschek M., Netherer S. et al. Climate change impacts, adaptive capacity and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest ecology and management*. 2010. № 259(4). P. 698–709. Doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.023.
7. Кияк В.Г., Штупун В., Білонога В.М. Кліматогенні загрози популяціям рідкісних і ендемічних видів рослин високогір'я Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2016. Вип. 74. С. 104–115.
8. Астамірова М.А.-М., Умаров М.У., Тайсумов М.А. Анатомо-фізіологіческие адаптации криофильных растений центральной и восточной части главного Кавказского хребта. *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 11. С. 114–122.
9. Бойко Л.І. Морфолого-анатомічна характеристика листків рослин різних вікових станів *Murraya exotica* L. *Science Rise: Biological Science*. 2017. № 2(5). С. 51–54.
10. Tian M., Yu G., He N., Hou J. Leaf morphological and anatomical traits from tropical to temperate coniferous forests: Mechanisms and influencing factors. *Sci. Rep.* 2016, № 6, 19703; doi: 10.1038/srep19703.
11. Хроленко Ю.А., Бурундукова О.Л. Екологіческие характеристики строения листа и пластидного аппарата дальневосточных представителей семейства Araliaceae. *Сибирский экологический журнал*. 2013. № 4. С. 487–494.
12. Catorci A., Piermarteri K., Tardella F.M. Pedo-climatic and landuse preferences of *Gentiana lutea* subsp. *lutea* in central Italy. *Plant Ecology and Evolution*. 2014. № 147(2). P. 176–186. Doi:10.5091/plecevo.2014.962.
13. Кобів Ю., Прокопів А., Гелеш М., Борсукевич Л. Поширення, стан популяцій та характеристика оселищ рідкісних і загрожених видів рослин у північній частині Свидовця (Українські Карпати). *Вісник Львів. університету. Серія біологічна*. 2009. Вип. 49. С. 63–82.
14. Майорова О.Ю., Грицак Л.Р., Мельник В.М., Терехова Г.І., Дробик Н.М. Поширення і стан популяцій *Gentiana lutea* L., *G. punctata* L. та *G. acaulis* L. в Українських Карпатах. *Інтродукція рослин*. 2013. № 3. С. 21–28.
15. Грицак Л.Р., Нужина Н.В., Дробик Н.М. Особливості пігментного комплексу високогірних видів роду *Gentiana* L. флори Українських Карпат. *Наукові записки ТНПУ. Серія: біологія*. 2019. Вип. 75, № 1. С. 129–140. Doi: 10.25128/2078-2357.19.1.17.
16. Romeis V. *Mikroskopische Technik*. München, R. Oldenbourg, 1948. 695 s.
17. Захаревич, С.Ф. К методике описания листа. *Вестник Ленинградского университета*. 1954. № 4. С. 65–75.
18. Баранова, М.А. Классификация морфологических типов устьиц. *Ботанический журнал*. 1985. № 70(12). С. 1585–1595.
19. Грицак Л.Р., Нужина Н.В., Дробик Н.М. Особливості анатомічної будови листової пластинки *Gentiana punctata* L. в умовах *in vitro* та *in situ*. Abstract of The international research and practical conference "The development of nature sciences: problems and solutions", April 27–28, 2018. Brno : Baltija Publishing, 2018. P. 51–53.
20. Овруцька І.І. Анатомо-морфологічні ознаки листків *Sium latifolium* L. у різних умовах зростання. *Ukr. Botan. Journ.* 2012. № 69(1). С. 67–73.
21. Бендер О.Г., Зотикова А.П., Велисевич С.Н. Особенности водного обмена и состояния пигментного комплекса хвои кедрового (Pinus sibirica Du tour) в горах северо-восточного Алтая. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2009. № 3 (7). С. 63–72.
22. Schoettle A.W., Rochelle S.G. Morphological variation of Pinus flexilis (Pinaceae), a berddispersed pine, across a range of elevations. *American Journal of Botany*. 2000. № 87(12). P. 1797–1806.
23. Korner Ch., Neumayer M., Menendez-Riedl S.P., Smeets-Scheel A. Functional Morphology of Mountain Plants. *Flora*. 1989. № 182. P. 353–383.
24. Woodward F.I. Ecophysiological studies on the shrub *Vaccinium myrtillus* L. taken from a wide altitudinal range. *Oecologia*. 1986. № 70. P. 580–586.
25. Попова О.А. Анатомическое строение листьев некоторых ранневесеннецветущих растений Восточного Забайкалья. *Ученые записки ЗабГПУ*. 2013. № 1(48). С. 37–45.
26. Волков И.В. Введение в экологию высокогорных растений : учебное пособие. Томск : Из-во ТГПУ, 2006. 416 с.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗМІЩЕННЯ ГНІЗД ДРОЗДА СПІВОЧОГО (*TURDUS PHILOMELOS* ВРЕНМ.) ТА ДРОЗДА ЧОРНОГО (*TURDUS MERULA* L.) В ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОСМУГАХ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Пісоцька В.В.

Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди
вул. Алчевських, 29, 61002, м. Харків
lerapisocka@ukr.net

Полезахисні лісосмуги як проміжний біотоп між природним середовищем гніздування та урбоценозом відіграють важливу роль у формуванні нової гніздової поведінки чорного та співочого дроздів на шляху до синантропізації та урбанізації. Загалом знайдено й описано 500 гнізд, з них співочого (*Turdus philomelos*) – 400 та чорного (*T. merula*) – 100. Дослідження проводили у різних типах полезахисних лісосмуг (мішані щільні лісосмуги, мішані продувні лісосмуги, кленово-ясеневі продувні лісосмуги та кленово-липові ажурні лісосмуги). Місце розташування гнізда птаха переважно залежить не стільки від видових особливостей біології, скільки від можливостей їх реалізувати. Для побудови гнізд співочий і чорний дрозди використовують 13 видів дерев (*Quercus robur* L., *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Acer tataricum* L., *Ulmus laevis* Pall., *Alnus incana* L. та інші) у різних типах лісосмуг і сухостій. Найбільша кількість гнізд чорного (49 гнізд, 49%; n=100) і співочого дроздів (168 гнізд, 42%; n=400) зафіксована у щільних мішаних лісосмугах, що пояснюється значним флористичним різноманіттям і щільним підліском лісосмуг; менше гнізд розташовано у мішаних продувних лісосмугах співочого дрозда (140 гнізд, 35% n=400) та чорного дрозда (23 гнізда, 23%). Значно менше гнізд зафіксовано у кленово-ясеневих продувних лісосмугах – чорного дрозда (14 гнізд, 14%), співочого дрозда (38 гнізд, 9,5%), та кленово-липових ажурних лісосмугах – чорного дрозда (14 гнізд, 14%), співочого дрозда (54 гнізд, 13%). Місце розташування гнізд прямо пропорційно залежить від умов захищеності обраної ділянки, ступеня антропогенної дії на біоценоз, структури та віку рослинних насаджень. Полезахисні лісосмуги – ефективне місце гніздування чорного та співочого дроздів, проміжний біотоп між природним та урбанізованим середовищем. *Ключові слова:* полезахисні лісосмуги, урбанізація, гніздування, породи дерев.

Features of nesting *Turdus philomelos* and *Turdus merula* in forest protection strips of Kharkiv region. Pisotska V.

Forest protection strips as an intermediate biotope between the natural breeding environment and urbocenosis play an important role in the formation of new breeding behavior of black and singing thrush on the way to synanthropization and urbanization. In total, 500 nests have been found and described, of which, singing (*Turdus philomelos*) – 400 and black (*Turdus merula*) – 100. The studies were performed in different types of field-protected forest strips (mixed dense forest strips, mixed purge forests, maple-ash purl forests – linden openwork forests). The location of a bird's nest mainly depends not so much on the species features of biology, but on the opportunities to realize them. Singing and blackbirds use 13 species of trees in different types of forest strips (mixed dense forest strips, mixed scrub forests, maple-ash scrub forests, and maple-leafy openwork strips) to construct nests. The largest number of black (49 nests) and songbird nests (168 nests) are recorded in dense mixed forest strips, which is explained by the considerable floristic diversity and dense undergrowth of forest strips; fewer nests are found in mixed scrub forests of the singing thrush (140 nests) and black thrush (23 nests). Much fewer nests were recorded in maple-ash purge forests – black thrush (14 nests), singing thrush (38 nests) and maple-lime openwork bands – black thrush (14 nests), singing thrush (54 nests). The location of the nests directly depends on the conditions of protection of the selected area, the degree of anthropogenic effect on the biocenosis, the structure and age of the plantations. Forest protection strips are an effective breeding ground for black and singing blackbirds, an intermediate biotope between the natural and urban environments. *Key words:* forest protection strips, urbanization, nesting, tree species.

Постановка проблеми й актуальність дослідження. Біотопи – складна структурована мозаїка екосистем, кожна з яких характеризується різним ступенем антропогенного перетворення [6]. Для сучасної екосистеми характерний певний ступінь антропогенного тиску, який відображається на структурно-функціональній організації популяцій живих організмів.

Сучасний вплив на природні екосистеми, перетворює значні площі природних і напівприродних територій на урбо- та субурбізоване середовища [10]. Наслідком є прискорена синантропізація видів, одна із стратегій їх виживання [10; 14].

Види, які донедавна вважалися виключно лісовими, поширюються на нові території. Фіксується нетипове гніздування деяких лісових видів (зяблик (*Fringilla coelebs* L.), співочий (*Turdus philomelos*) та чорний дрозди (*T. merula*)) у штучних насадженнях та урбоценозах [10; 14].

Детально вивчено синантропізацію таких видів, як припутень (*Calumba palumbus*) [17], грак (*Corvus frugilegus*) [3], сорока (*Pica pica*) [21], сойка (*Garrulus glandarius*) [5]. Вивчення структури популяцій дрозда чорного в градієнті синантропізації на території України потребує уточнення та деталізації [8; 18; 21; 23; 24].

Гніздування чорного та співочого дроздів постійно фіксується в полежахисних лісосмугах різного типу [9].

Полежахисні лісосмуги як проміжний біотоп між природним середовищем гніздування та урбоценозом відіграють важливу роль у формуванні нової гніздової поведінки чорного та співочого дроздів на шляху до синантропізації та урбанізації [14].

Полежахисні лісосмуги різних типів із необхідною структурою деревостану та достатнім підліском для маскуванню є ефективним місцем гніздування з низкою переваг, пов'язаних зі додатковим живленням завдяки суміжним біотопам – агроценозам.

Мета роботи – визначити особливості розташування гнізд чорного та співочого дроздів у полежахисних лісосмугах різного типу на території Харківської області.

Матеріали та методи роботи. Дослідження проводили протягом 2016–2019 рр. на території Шевченківського, Куп'янського, Борівського та Дворічанського районів Харківської області. Загалом знайдено й описано 500 гнізд дроздів, з них співочого – 400 та чорного – 100. Дослідження проводили у різних типах полежахисних лісосмуг (мішані щільні лісосмуги, мішані продувні лісосмуги, кленово-ясеневі продувні лісосмуги та кленово-липові ажурні лісосмуги). Трансформація ландшафтів зумовлена дією природних та антропогенних факторів, серед яких найбільший вплив мають вирубування дерев, пожежі, техногенна та рекреаційна діяльність.

Виклад основного матеріалу. Місце розташування гнізда птаха переважно залежить не стільки від видових особливостей біології, скільки від можливостей їх реалізувати. У різних кліматичних зонах є породи дерев, що переважають у розміщенні гнізд дроздів. Наприклад, у зоні мішаних лісів і тайги найбільш типовими місцями для розташування гнізд співочого й чорного дроздів є підріст ялини та деревостани сосни [1; 4; 11; 19]. Вічнозелені хвойні дерева створюють сприятливі умови для розташування та маскуванню гнізд розглядуваних видів. Таке їх розміщення можна вважати найбільш зручним і для лісостепової зони України, де багато хвойних порід є інтродуцентами. На цих деревах дрозди можуть гніздитися тільки в умовах антропогенного ландшафту [7].

За нашими даними, в полежахисних лісосмугах для побудови гнізд співочий і чорний дрозди використовують 13 порід дерев і сухостій (17 гнізд, 17% – чорний дрізд і 53 гнізда, 13,3% – співочий дрізд). Найчастіше гнізда дроздів трапляються на *Quercus robur* L. (13 гнізд, 13% – чорний дрізд і 60 гнізд, 15,0% – співочий дрізд), *Acer negundo* L. (13 гнізд, 13% n=100) – чорний і 43 гнізда (10,8% n=400) – співочий), *Acer platanoides* L. (12 гнізд, 12% – чорний дрізд і 39 гнізд, 9,7% – співочий дрізд), *Acer tataricum* L. (7 гнізд, 7% – чорний і 25 гнізд, 6,2% – співочий). Рідше використовують такі породи дерев: *Ulmus laevis* Pall (11 гнізд, 11% – чорний дрізд

та 22 гнізда, 5,7% – співочий дрізд), *Alnus incana* L. (4 гнізда, 4% – чорний дрізд та 34 гнізда, 8,6% – співочий дрізд), *Populus alba* (5 гнізд, 5% – чорний дрізд та 19 гнізд, 4% – співочий дрізд), *Prunus spinosa* L. (2 гнізда, 2% n=100) – чорний дрізд і 14 гнізд (3,7% n=400) – співочий дрізд), *Tilia cordata* (4 гнізда, 4% – чорний дрізд і 25 гнізд, 6,3% – співочий дрізд). Також гнізда зафіксовані на *Fraxinus excelsior* (2 гнізда, 2% – чорний дрізд і 20 гнізд, 5,0% – співочий дрізд), *Caragana arborescens* (3 гнізда, 3% – чорний дрізд і 24 гнізда, 6,0% – співочий дрізд), *Pyrus communis* L. (4 гнізда, 4% – чорний дрізд і 12 гнізд, 3,0% – співочий дрізд), *Robinia pseudoacacia* L. (3 гнізда, 3% – чорний дрізд і 10 гнізд, 2,7% – співочий дрізд) тощо.

За літературними даними на території Харківської області, співочий дрізд використовує для розміщення гнізд 41 вид рослин, чорний – 31, а також різні субстрати як природного, так і антропогенного походження [20].

Гнізда дрозда співочого на території Полісся, за даними М.В. Франчука, виявлені на 10 дерево-чагарникових породах. Найбільшу частку гнізд дрозда співочого становили гнізда, розміщені на ялині європейській (*Picea abies*, Dietr) (36,5%). Дещо меншу частку становлять гнізда, розміщені на дубі звичайному (*Quercus robur*, L.) (17,1%), сосні звичайній (*Pinus sylvestris*, L.), грабові (*Carpinus betulus*, %L.), крушині ламкій (*Frangula alnus*, Mill) (по 9,8%) та незначну частку – інші породи дерев і чагарників [15].

За даними М.В. Франчука зі співавторами, розподіл гнізд за видами дерев і чагарників у Західному Поліссі має неоднорідний характер. Частіше дрозди використовують хвойні дерева (*Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Pinus banksiana*) та чагарники (*Juniperus communis*), що характерно і для інших частин європейського ареалу, зокрема, у Поліській та центральній частинах Польщі [16].

За даними В.В. Сахвона та В.В. Гричика, у Білорусі з 430 гнізд співочого дрозда 140 (32,5%) розташовані в дібровах, 106 (24,7%) – у вільшаниках, 83 (19,3%) – на соснових деревах, 69 (16%) – на ялинових деревах та 32 (7,5%) – у змішаних лісах [13].

Дрозди співочий і чорний – поширені види в полежахисних лісосмугах Миколаївської області, гнізда трапляються на пенях, повалених деревах, в кущах на узліссях і закрайках лісосмуг, надають перевагу лісосмугам без або з розрідженим трав'янистим покривом під пологом. Не гніздяться в освітлених і горіхових лісосмугах, хоча дрізд чорний спостерігається там під час живлення. Гнізда з яйцями та пташенятами знаходили з кінця квітня до початку червня, спостережено й повторні кладки [12].

На розташування гнізд у різних типах полежахисних лісосмуг впливають структура насаджень, видовий склад і вік, які пов'язані з особливостями деревостану, строками вегетації рівнем рекреаційного навантаження, погодними умовами. Тобто, розміщення гнізд залежить від можливостей маску-

вання, зручності розташування та рівня фактора турбування. Найбільш сприятливі умови, що необхідні для гніздування співочого й чорного дроздів, спостережені нами для мішаних щільних та кленово-липових ажурних лісосмуг із деревостаном різного віку – 168 (42 %; n=400) і 49 (49 %) гнізд відповідно. Мішані продувні лісосмути – менш вдаль місце гніздування, що пов'язано з погано сформованим підліском. Дрозди виявляють різноманітні адаптивні реакції до умов середовища.

Аналіз даних свідчить про те, що в кожного з розглянутих видів дроздів переважним субстратом для влаштування гнізда є відповідні породи дерев. Причому це пов'язано не стільки з доміантним елементом деревостану в біоценозі, скільки з рівнем освітленості й архітектонікою крон, що передбачає зручність розташування гнізд та інші захисні умови. У мішаних щільних лісосмугах дуб є найбільш сприятливою породою дерев для влаштування гнізд чорним і співочим дроздами; на другому місці стоїть сухостій. У всіх типах лісосмуг більш ніж половина всіх гнізд була розміщена на дорослому деревостані. Вибір тієї чи іншої породи цими видами перш за все залежить від переважання її у складі деревостану.

На деревах і підрослі більшість гнізд розміщувалася біля стовбура, де першорядні гілки утворюють міцну основу, яка забезпечує фіксацію гнізда знизу і з боків. Такі білястовбурові галузження є найбільш характерними місцями розташування гнізд дроздів – близько половини всіх випадків гніздування. Співочий дрізд найчастіше 140 гнізд (35,0%; n=400) влаштовує гнізда між центральним стовбуром і боковою гілкою дерева. Такий тип розміщення зареєстровано для 10 видів рослин, насамперед для дуба, в'яза, клена й деяких інших порід. Висотний діапазон розташування гнізд змінювався від 0,5 до 11,5, у середньому – $1,87 \pm 0,39$ м. Гнізда розташовані на висоті від 0,5 до 10 м від субстрату. Чорний дрізд найчастіше будує гнізда біля стовбура в зоні кореневої шийки, звідки починається розгалуження таким чином розташованих 30 гнізд (30 %).

У лісосмугах співочі дрозди віддають перевагу зоні природного поновлення і чагарникам – 60 гнізд (15%), чорні дрозди тут гніздяться рідше – 10 гнізд (10 %).

У різних типах лісосмуг частіше після несанкціонованих вирубок чорний і співочий дрозди гніздяться на підрослі й чагарниках. Чагарники та кущовий підріст більш однорідні за своєю архітектонікою, тому гнізда щодо об'єму куща розподілені рівномірно, переважно влаштовані в центральній частині крони.

Однак чимало пар (42,75% співочого і 46% чорного дроздів) все ж таки оселяються на деревах. Аналіз локалізації гнізд показав, що у кронах деревостану, підрослі та на чагарниках вони розміщені дуже нерівномірно. Враховуючи структури, які забезпечують фіксацію та просторове розташування гнізд, нами розглянуто п'ять основних типів місць прикріплення, що можуть змінюватися у значних межах залежно від специфіки галузження.

У першому репродуктивному циклі біля стовбура розміщено 65% гнізд птахів (співочого дрозда – 35%, чорного дрозда – 30%). Це можна пояснити, що на початку весни температурний режим у лісосмугах, в яких відсутнє листя у нижньому ярусі, більш стабільний і не має різко виражених меж.

У більшості деревних рослин, зокрема дуба, в'яза та липи, у разі пошкодження стовбура утворюється паросткове кільце, яке птахи використовують для гніздування (що частіше спостерігалось у другому репродуктивному циклі). Зафіксовано випадки розміщення гнізд дроздів (1,8% – співочий та 3,0 % – чорний) між двома стовбурами дорослого дерева та гілкою між ними (де гілка є підростком, що росте поряд).

Значна кількість гнізд нами зафіксована у нішах різного походження (зрубів дерев, у напівдулах і навіть у дулах, як правило, сухою). 87 гнізд (21,8%; n=400) – співочий дрізд і 18 гнізд (18,0% n=100) – чорний дрізд. Такі місця гніздування зручні та безпечні, добре маскують від хижаків і несприятливих умов середовища (варто зазначити, що в дощовий сезон зберігається загроза підтоплення). Загалом зазначений спосіб розташування гнізд забезпечує вдалий перебіг репродуктивного періоду птахів. Ніші як місце гніздування часто використовують й інші представники орнітофауни, зокрема горобцеподібні.

Визначено будівництво гнізд на другорядних гілках, іноді на значній відстані від центрального стовбура: співочий – 31 гнізд (7,8 %) та чорний – 16 гнізд

Таблиця 1

Способи розміщення гнізд *Turdus merula* та *T.philomelos*

Показники	Способи розміщення гнізд													
	Біля стовбура		На другорядних гілках		На тонких гілках (чагарниках)		Опори		Ніші, зруби, зломи		Інші способи		Загалом гнізд	
	Абс., шт.	%	Абс., шт.	%	Абс., шт.	%	Абс., шт.	%	Абс., шт.	%	Абс., шт.	%	Абс., шт.	%
<i>Turdus philomelos</i>	140	35,0	31	7,8	60	15,0	75	18,8	87	21,8	7	1,8	400	100
<i>T. merula</i>	30	30,0	16	16,0	10	10,0	23	23,0	18	18,0	3	3,0	100	100

Таблиця 2

Подібність розташування гнізд співочого дрозда у різних типах лісосмуг

№	Пара модельних ділянок	Індекс подібності	
		Жаккара	Серенсена
1	МЦЛ-МПЛ	4,7	9
2	МЦЛ-КЯПЛ	2,2	3
3	МЦЛ-КЛАЛ	2,4	4
4	МПЛ-КЯПЛ	2,4	4
5	МПЛ-КЛАЛ	2,7	5

Таблиця 3

Подібність розташування гнізд чорного дрозда у різних типах лісосмуг

№	Пара модельних ділянок	Індекс подібності	
		Жаккара	Серенсена
1	МЦЛ-МПЛ	6	36
2	МЦЛ-КЯПЛ	8	15
3	МЦЛ-КЛАЛ	10	19
4	МПЛ-КЯПЛ	15	27
5	МПЛ-КЛАЛ	19	32

(16,0%). Дрозди можуть гніздитися і на широкій суцільній опорі (зруб, товста гілка, поверхня якоїсь споруди людини тощо): чорний – 75 гнізд (18,7%), співочий – 23 гнізда (23,0%) (табл. 1).

Аналізуючи особливості видового складу деревостану, на яких співочий дрозд будує гнізда, можна стверджувати, що найбільш подібними між собою є мішані щільні та мішані продувні лісосмуги, з індексами подібності Жаккара (4,7) та Серенсена (9) (табл. 2).

Аналіз особливостей розміщення гнізд чорного дрозда у різних типах лісосмуг показав найвищий коефіцієнт подібності між мішаними щільними та мішаними продувними лісосмугами (індекс Жаккара – 6 та Серенсена – 36) (табл. 3).

Перспективи використання результатів дослідження. Дослідження мають значне як наукове, так і практичне значення, оскільки екологічні аспекти гніздування чорного та співочого дроздів у полезахисних лісосмугах різного типу є важливим етапом на шляху урбанізації досліджуваних видів. Результати дають можливість детальніше розглянути питання екологічних особливостей гніздування представників роду *Turdus* в умовах полезахисних лісосмуг різного типу.

Головні висновки. Отже, для побудови гнізд співочий і чорний дрозди використовують 13 видів дерев у різних типах лісосмуг (мішані щільні лісосмуги, мішані продувні лісосмуги, кленово-ясеневі продувні лісосмуги та кленово-липові ажурні лісосмуги) та сухостій. Найбільша кількість гнізд чорного (49 гнізд, 49%; n=100) і співочого дрозда (168 гнізд, 42%; n=400) зафіксована у щільних мішаних лісосмугах, що пояснюється значним флористичним різноманіттям і щільним підліском лісосмуг; менше гнізд розташовано у мішаних продувних лісосмугах співочого дрозда (140 гнізд, 35% n=400) та чорного дрозда (23 гнізда, 23%). Знижується кількість гнізд у кленово-ясеневих продувних лісосмугах – чорного дрозда (14 гнізд, 14%), співочого дрозда (38 гнізд, 9,5%) та кленово-липових ажурних лісосмугах – чорного дрозда (14 гнізд, 14%), співочого дрозда (54 гнізд, 13%). Місце розташування гнізд прямо пропорційно залежить від умов захищеності обраної ділянки, ступеня антропогенної дії на біоценоз, структури та віку рослинних насаджень. Полезахисні лісосмуги – ефективне місце гніздування чорного та співочого дроздів, проміжний біотоп між природним та урбанізованим середовищем.

Література

1. Александрова И.В. Дрозды Приокско-Террасного заповедника. Тр. третьей Прибалт. орнитол. конф., г. Вильнюс, 22–28 августа 1957 г. Вильнюс, 1959. С. 3–12.
2. Бокотей А.А. Гніздова орнітофауна міста Львова та основні причини її змін (за результатами складання гніздових атласів у 1994–1995 та 2005–2007 рр.). *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія : Біологія.* 2007. Вип. 23. С. 17–25.
3. Бокотей А.А. Гніздування грака *Corvus frugilegus* L. у місті Львові та основні причини змін його чисельності. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2011. Вип. 21.4. С. 114–122.
4. Бокотей А.А., Горбань І.М., Костюшин В.А., Фесенко Г.В. Гніздування чикотня в природних та урбанізованих ландшафтах Західної України. *Беркут.* 1994. № 3 (1). С. 114–122.
5. Горбань И.М. О численности синантропной популяции сойки в городе Львове и методе ее определения. *Охр. и воспр. птиц пригород. лесов и зеленых насажд.* 1992. С. 17–18.
6. Клауснитцер Б. Экология городской фауны. Москва, 1990. С. 52.

7. Кривицкий И.А., Чаплыгина А.Б., Зиоменко С.К. К гнездовой биологии певчего и черного дроздов в трансформированных ландшафтах долины р. Северский Донец: материалы 2 конф. «Изучение и охрана птиц Северского Донца», с. Гайдары – г. Харьков, 4–6 мая 1994 г. Харьков : ХНУ, 1994. С. 49.
8. Кукшин О.О., Бокотей А.А. Синурбизация та зміни чисельності дрозда чорного в Європі та Україні. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. 2016. Вип. 32. С. 91–102.
9. Кузьменко Т.М., Кузьменко Ю.В. Гніздова орнітофауна лісостепу Лівобережного Лісостепу. Бранта : Сборник трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. 2010. Вип. 13. С. 128–141.
10. Кузьо Г. Сучасний стан і перспективи досліджень орнітофауни передмість міста Львова. *Вісник Львівського університету. Серія : Біологічна*. 2016. С. 3–14.
11. Мальчевский А.С., Пукинский Ю.Б. Птицы Ленинградской области и сопредельных территорий. *История, биология, охрана*. Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. Вып. 2. С. 504.
12. Петрович О.З. Птахи ползахисних лісостепу у межах Вознесенського району Миколаївської області у гніздовий період. *News Biosphere Reserve "Askania Nova"*. 2014. Vol. 16. С. 46–55.
13. Сахвон В.В., Гричик В.В. Особенности выбора мест для гнездования певчим (*Turdus philomelos*) и черным (*T. merula*) дроздами в лесах различного типа в условиях биотопической симпатрии. Бранта : Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции, 2018. Вып. 21. С. 40.
14. Фридман В.С., Еремкин Г.С. Урбанизация «диких» видов в контексте эволюции урболандшафта. Москва. 2009. 139 с.
15. Франчук М.В. До гніздової біології співочого дрозда (*Turdus philomelos*) на природоохоронних територіях Західноукраїнського Полісся. *Вісник Львівського університету. Серія : Біологічна*. 2013. Вип. 62. С. 234–241.
16. Франчук М.В., Песков В.М., Тарасенко М.О. Гніздова екологія та екологічна сегрегація дроздів *Turdus* лісових екосистемах Західного Полісся. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. 2016. С. 73–82.
17. Хорняк М.М. Синурбизация припугня (*Columba palumbus* L.) у м. Львів. *Вісник Львівського університету. Серія : Біологія*. 2003. Вип. 34. С. 173–179.
18. Хохлова Т.Ю. Черный дрозд (*Turdus merula*) у северо-восточной границы ареала: особенности территориальных связей и миграций в период формирования периферийной популяции в Южной Карелии (обзор). *Зоологический журнал*. 2010. Т. 89. № 2. С. 212–221.
19. Чаплыгина А.Б. Біогеоценологія та популяційні адаптації птахів в трансформованих ландшафтах Північно-Східної України (на прикладі роду *Turdus*): автореф. дис. ... канд. біол. наук. Дніпропетровськ, 1998. С. 1–19.
20. Чаплыгина А.Б. Особливості розташування дроздів роду *Turdus* в трансформованих ландшафтах Північно-Східної України. *Беркут*. 2009. Вип. 1–2. С. 135–142.
21. Чаплыгина А.Б., Савинская Н.А. Современное состояние орнитофауны трансформированных ландшафтов Северо-Восточной Украины на примере Muscicapidae та Turdidae. *Русский орнитологический журнал*. 2016. Т. 25 С. 615.
22. Bokotey A. Number and distribution of the Magpie in the Lviv (Ukraine). *International Conference for Magpie Ecology. Abstracts*. Zielona Gora, 1995. P. 5–6.
23. Biaduń W. Ptaki Lublina. Lublin : Akademia Medyczna, 2004. S. 61–62.
24. Wysocki D. Nest site selection in the urban population of Blackbirds *Turdus merula* of Szczecin (NW Poland). *Acta orn.* 2005. Vol. 40. № 1. P. 61–69.
25. Wysocki D. Factors affecting between-season divorce rate in the urban populations of European Blackbird *Turdus merula* in north-western Poland. *Acta orn.* 2006. Vol. 41. № 1. P. 71–78.

ОСОБЛИВОСТІ БІОЛОГІЇ ТА ШКІДЛИВІСТЬ ЖУКІВ РОДИНИ *КОРОЇДИ (IPIDAE)* У ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ БУЧАЦЬКОГО ЛІСНИЦТВА ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Трускавецька І.Я.

Університет Григорія Сковороди в Переяславі
вул. Сухомлинського, 30, 08400, м. Переяслав, Київська область
irina-truskaveckaya@ukr.net

Уточнено видовий склад жуків родини *Ipidae*, з'ясовано особливості біології та їхню шкодочинність у лісових екосистемах Бучацького лісництва Черкаської області. Бучацьке лісництво на території Черкаської області складає 6 896 га лісового насадження, з яких 2 798 га займають хвойні ліси (ялина, сосна звичайна), дубові насадження – 1 784 га та молодняк і грабові формації – 2 314 га. На досліджуваній території обліковано 4 види жуків *Ipidae*, зокрема *Blastophagus piniperda* і *Blastophagus minor*, *Ips acuminatus* і *Ips sexdentatus*, які заселяли життєздатні дерева хвойних порід, що призводить до загибелі не тільки окремих дерев, а й цілих лісових масивів. Досліджено сезонну динаміку жуків *Ipidae*. За частотою заселення дерев домінував *Ips acuminatus* (65% проаналізованих відрізків дерев), дещо меншою мірою траплялися *Ips sexdentatus* (53%). *Blastophagus piniperda* і *Ips sexdentatus* заселяли переважно ділянки стовбурів із грубою корою (71,2 та 90,2% відповідно), *Blastophagus minor* – із тонкою та перехідною корою (49,2 і 40,5%), а *Ips acuminatus* – переважно з тонкою корою (73,8%). За результатами проведених досліджень з'ясовано, що фітофаги, які паразитують на стовбурах дерев поділяються на дві групи: шкідники, які харчуються корою й лубом і шкідники, які проникають у більш глибокі шари деревини. Кількість всохлих дерев у 2018 році на ділянках соснового лісу урочища Рожена криниця становила 15 і 17 дерев на 1,6 га, а на ділянках ялинового (1,2 га) – 14 і 11 дерев на першій та другій досліджених ділянках. У 2019 році кількість всохлих дерев збільшилась, а саме на ділянках соснового лісу – 18 і 21 дерев, а на ділянках ялинового лісу – 17 і 14 дерев. Тобто середній відхід дерев упродовж 2018–2019 років становить приблизно 3–4 дерева на 1 га хвойного лісу. Збільшення загальної чисельності видів жуків-короїдів, а також підвищення показників їх щільності на досліджуваних територіях соснового і ялинового лісу перш за все пов'язані з кліматичними умовами території. Зима 2018–2019 років була м'якою, з достатньою кількістю снігу, а літо – тепле і вологе. За таких оптимальних умов відбувається нормальне розмноження жуків-короїдів. **Ключові слова:** *Coleoptera*, *Ipidae*, біоценози, лісові екосистеми, видове різноманіття *Ipidae*, хвойні породи дерев, правобережжя Канівського водосховища, Бучацьке лісництво, урочище Рожена криниця.

Peculiarities of biology and harmfulness of beetles of the *Ipidae* family in forest ecosystems of the Buchachi forestry of Cherkasy region. Truskavetska I.

The species composition of beetles of the *Ipidae* family was clarified, the features of biology and their harmfulness in the forest ecosystems of Buchach forestry in Cherkasy region were determined. Buchach forestry in the territory of Cherkasy region is 6896 hectares of forest plantations, of which 2798 hectares are coniferous forests (spruce, pine), oak stands – 1784 hectares and young growth and hornbeam formations – 2314 hectares. There are 4 species of *Ipidae* beetles that inhabit viable coniferous trees in the study area, in particular *Blastophagus piniperda* and *Blastophagus minor*, *Ips acuminatus* and *Ips sexdentatus*, which leads to the death of not only individual trees but also entire forest areas. The seasonal dynamics of *Ipidae* beetles have been investigated. The frequency of tree population was dominated by *Ips acuminatus* (65% of the analyzed tree segments), with *Ips sexdentatus* (53%) occurring to a lesser extent. *Blastophagus piniperda* and *Ips sexdentatus* inhabited mainly trunk sections (71.2 and 90.2%, respectively), *Blastophagus minor* with thin and transitional bark (49.2 and 40.5%), and *Ips acuminatus* mainly with thin bark (73.8%). Research has shown that phytophages that parasitize on tree trunks are divided into two groups: pests that feed on bark and bark and pests that penetrate deeper layers of wood. The number of withered trees in 2018 in the areas of pine forest of Rozhena Krynitsia tract was 15 and 17 trees per 1.6 ha, and in the spruce (1.2 ha) sections – 14 and 11 trees in the first and second investigated areas. In 2019, the number of withered trees has increased, namely in the areas of pine forest – 18 and 21 trees, and in the areas of spruce forest – 17 and 14 trees. That is, the average tree care over the period 2018–2019 is approximately 3–4 trees per 1 ha of coniferous forest. Increasing the total number of species of bark beetles, as well as increasing their density in the study areas of pine and spruce forests are primarily related to the climatic conditions of the area. The winter of 2018–2019 was mild, with enough snow, and the summer was warm and humid. Under such optimal conditions, normal reproduction of bark beetles occurs. **Key words:** *Coleoptera*, *Ipidae*, biocenoses, forest ecosystems, species of *Ipidae*, coniferous tree species, right bank of Kaniv reservoir, Buchach forestry, Rozhena Krynitsia tract.

Постановка проблеми. В економіці нашої країни ліси відіграють важливу роль. Вони є високоякісною деревиною для промисловості, мають велике ґрунтозахисне, водоохоронне та кліматичне значення. Лісові екосистеми зберігають ріки від забруднення і висихання, забезпечують атмосферу вологою та великою кількістю кисню, є фільтратами атмос-

фери, поглинають з неї вуглекислий газ і пом'якшують клімат. Все це вимагає від нас раціонального використання лісових багатств [2, с. 45].

Однією з причин, що знижує продуктивність лісів, викликає всихання молодих дерев на великих площах і призводить до зниження якості лісової продукції, є комахи-шкідники. Особливо великої шкоди

завдають короїди. Пошкоджена ними деревина довго не зберігається, а в корі знижується якість дубильних речовин. Хвоя на деревах починає жовтіти і згодом стає бурого кольору, починаючи з верхівки і поступово поширюється вздовж стовбура, тому вивчення шкідників у лісових екосистемах є актуальною проблемою сьогодення.

Аналіз літературних джерел. Останнім часом на теренах України все більше уваги приділяється вивченню видового різноманіття шкідників лісових угруповань, зокрема хвойних дерев. За даними екологів Української кліматичної мережі усі хвойні насадження та дубові гаї України, в тому числі й Буцацького лісництва Черкаської області, знаходяться під загрозою знищення. Хвойні ліси набули рудого забарвлення, всихання дерев відбувається за верхівковим типом, що потерпають від шкідників-короїдів і є наслідком різкої зміни клімату [5, с. 35].

Життєві цикли комах-шкідників вивчали та розробляли засоби захисту від них І.Я. Шевирьов, О.І. Воронцов та український ентомолог С.О. Мокрецький.

І. Шевирьов – один із перших лісових ентомологів Російської імперії. Він установив особливості біології найпоширеніших видів шкідників лісу, започаткував вивчення комах степових штучних лісів. Зокрема, влітку 1890 року вивчав шкідників дерев у степовому Бердянському лісництві [10]. О. Воронцов дослідив екологію комах – біологію та екологію лісових шкідників: короїда дендроктона, соснових лубоїдів та інших. Він встановив зв'язок між інтенсивністю й періодами всихання лісів, з одного боку, і циклами сонячної активності, характером атмосферної циркуляції – з іншого [3].

Значний внесок у вивчення біології комах-шкідників зробив український ентомолог М.С. Грезе, який досліджував, як діяльність комах-листогризів впливає на приріст деревини, випробував хімічні методи боротьби з жуками-короїдами. Він одним із перших ентомологів ще у 1939 році розпочав дослідження штучних лісів та лісових смуг на пісках у Нижньому Придніпров'ї, вивчення біології таких важливих для лісу комах, як великий сосновий довгоносик, великий дубовий вусач, паразити жуків-короїдів [5].

Вивченням фауни комах-шкідників лісових формацій на початку ХХ ст. на території України й Черкаської області зокрема, займались О.Ю. Андрєєва (2008), В.Л. Мешкова (2002) та І.П. Усцький (1999). За дослідженнями В.Л. Мешкової, верхівковий короїд активно проявив себе як небезпечний шкідник соснових лісів у Італії та Білорусії [7].

Перші осередки усихання соснових лісів зафіксовані на теренах України в 2011 році Житомирської області. Станом на 2012 р. осередки масового усихання охоплюють Волинську, Житомирську, Київську, Львівську, Рівненську, Хмельницьку, Черкаську, Чернігівську області і продовжують поширюватися до сьогодення часу [6, с. 57].

За офіційними даними Державного агентства лісових ресурсів України, у 2018 р. на теренах України знищено короїдами 142 тисячі гектарів лісу. Відомий в Україні та за кордоном дендролог Василь Бородавка пише, що ситуація вкрай небезпечна, адже через пошесть цих комах-шкідників Україна може втратити п'яту частину лісів [3, с. 25]. Справа в тім, що для жуків-короїдів і решти шкідників лісу зміни клімату – це комфортні умови для збільшення популяції. Хоча природний цикл виведення потомства 2–2,5 місяці, жук, відклавши нащадків за 20 днів, перелітає на нове дерево, щоб вивести ще одне покоління.

Матеріали і методика досліджень. Для проведення досліджень нами обрано чотири пробних ділянки на території Буцацького лісництва Черкаської області, де здійснено аналіз чисельності комах-шкідників упродовж 2018–2019 років: дві ділянки ялинового лісу площею по 0,6 га і дві ділянки соснового лісу площею по 0,8 га. Кожна досліджувана ділянка розташована в різних кварталах Буцацького лісництва на відстані 0,5–1 км одна від одної.

Буцацьке лісництво – структурний підрозділ Канівського лісового господарства Черкаського обласного управління лісового та мисливського господарства. На території лісництва перебувають об'єкти природно-заповідного фонду ботанічна пам'ятка природи місцевого значення Вікові дуби та гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення Рожена криниця, лісовий фонд яких складає 6 896 га, із них 2 798 га становлять деревостани хвойних порід [11].

Ділянки ялинового і соснового лісу характеризуються однаковими умовами зростання і віком: для ялинових насаджень – 30–50 років, для соснових – 30–60 років.

На ділянках ялинового лісу площею по 0,6 га нараховується від 500 до 700 дерев, а на ділянках соснового лісу площею по 0,8 га – 800–900 дерев.

На кожній ділянці досліджуваного лісу закладено по 4 ловчих (модельних) дерев, на яких і здійснено аналіз чисельності комах-шкідників (4 дерева по кутках ділянки і 1 дерево в центральній частині досліджуваного лісу).

Модельні дерева зрубані й викладені з кроною в середині березня. Частина модельних дерев закладена із вітровальної деревини поточних років. Довжина модельних дерев різна: на досліджених ділянках ялинового лісу вона складає близько 14–16 м (стовбур 9–11 м), на ділянках соснового лісу – 12–14 м (стовбур 8–10 м); товщина модельних дерев складає 21–40 см для сосни і 18–30 см для ялини [11].

Для обліку чисельності шкідників із кожного модельного дерева пошарово знімалася практично вся кора стовбура (8–10 м) і частково луб, з метою визначення кількості маточних ходів жуків-короїдів, їх шлюбних камер і підрахунку молодого покоління, що потрібно для дослідження.

Також застосували метод збору на ловчі насипи і ями. У лісі свіжо зібрані гілки стоячих дерев склали

на купу висотою один метр, туди нагребли листя і все це перемішали. Такі насипи приваблюють короїдів, тому час від часу оглядали гілки, просіювали підстилку, яка знаходиться під насипом і збирали жуків.

Перед застосуванням модельних дерев проведено детальний огляд території дослідження. Визначено стан насаджень, видовий склад і основні скупчення жуків-короїдів. На пробних площах з'ясували перелік дерев за категоріями (здорові, ослаблені, сильно ослаблені, всихаючі, свіжий і старий сухостій), потім із числа свіжозаселених дерев методом ентомологічного аналізу визначили видовий склад шкідників та щільність популяції [9, с. 32].

Встановлення таксономічної належності комах здійснювали за допомогою визначників [8] та участі спеціалістів Буцацького лісництва, головний офіс яких знаходиться в с. Бучак, Черкаської області.

Результати досліджень та їх обговорення.

В останнє десятиріччя санітарний стан лісів різко погіршився внаслідок негативної дії комплексу факторів, в основному пов'язаних із глобальними змінами клімату, що призвело до зростання площ всихаючих насаджень і масового пошкодження їх шкідниками та хворобами. За останні роки по всій території України і Буцацького лісництва зокрема спостерігається масове всихання більшості лісоутворюючих порід (сосни звичайної, ялини, дуба, граба, вільхи), але найбільше занепокоєння викликає стан соснових насаджень, де пошкодження ослаблених лісів стовбуровими шкідниками, в основному сосновими короїдами, набули катастрофічних масштабів.

Насадження хвойних порід дерев (сосна, ялина, модрина) в лісництві становлять 78% від покритих лісом земель, із яких насадження сосни звичайної складають 67,3% [11].

У результаті дослідження упродовж 2018–2019 рр., життєздатні дерева хвойних порід Буцацького лісництва Черкаської області заселяли переважно чотири види короїдів (родина *Curculionidae* підродина *Scolytinae*): великий і малий соснові лубоїди (*Blastophagus piniperda* і *Blastophagus minor*), короїд верхівковий (*Ips acuminatus*) та короїд шести зубчастий (*Ips sexdentatus*) [22, с. 39].

Короїди (*Ipsidae*) – небезпечні шкідники лісів, які поселяються на деревах під корою і в корінні,

а частина видів проточує ходи в деревині. Заселяють короїди як зрубані дерева, їх рештки, так і практично здорові, але ослаблені з тих чи інших причин. Різні види заселяють різні частини дерев, де роблять специфічні для кожного з них складні ходи [6, с. 58].

За частотою виявлення у відрізках стовбурів хвойних порід на ділянках Буцацького лісництва домінував верхівковий короїд з індексом чисельності (ІД – 22,2%), дещо меншою мірою траплялися шести зубчасті короїди з індексом чисельності (ІД – 14,4%), малочисельними з індексом чисельності (ІД – 4,4%) – великий сосновий лубоїд та зрідка зустрічався малий сосновий лубоїд (ІД – 2,6%). Із результатів наших спостережень найбільш розповсюдженими на території Буцацького лісництва, зокрема на ділянках із сосною звичайною, є верхівковий короїд (ІП – 68%), поширеними шести зубчастий короїд (ІП – 56%) й великий сосновий лубоїд (ІП – 52%) та малопоширеними – малий сосновий лубоїд (ІП – 36%) від досліджуваних жуків.

Верхівковий короїд – комаха завдовжки 2,5–4 мм, темно-коричневого забарвлення, циліндричної форми. Личинки завдовжки до 3–4 мм, безногі, дещо зігнуті, а на грудних сегментах є мозолісті подушечки. За рік розвивається дві генерації. Шкодочинність лісовим насадженням завдають як дорослі особини, так і їхні личинки [4, с. 126].

Всихання сосни звичайної відбувається за верхівковим типом – короїд спочатку заселяє товсті гілки та частину стовбура з тонкою корою. Після проникнення жуків під кору, прогризання маточних ходів, відкладання яєць, вилуплення личинок і початку їхнього живлення, хвоя заселених дерев починає змінювати колір від зеленого на тьмяно-сіро-зелений, а в кінці – на рудий, відтак гілки відмирають, дерево гине. Одночасно ходами поширюється синява, спричинена дерево-забарвлювальними грибами. Причому першими засихають високі дерева з товстими стовбурами і широкою кроною. Якщо заселення було масовим, то в міру росту личинки виїдають шар кори, спричинюючи їхню загибель. Літ верхівкового короїда продовжується до середини жовтня.

Друге місце після верхівкового короїда в лісових угрупованнях урочища Рожена криниця посідає великий та малий сосновий лубоїд, а в найменшій кількості зустрічається шести зубистий короїд.

Таблиця 1

Поширення стовбурових комах у насадженнях урочища Рожена Криниця Буцацького лісництва

Вид	Район поселення	Індекс домінування (ІД)%	Індекс поширення (ІП)%
<i>Blastophagus piniperda</i> Лубоїд сосновий великий	Груба кора	4,4	52
<i>Blastophagus minor</i> Hart Лубоїд сосновий малий	Тонка кора	2,6	36
<i>Ips acuminatus</i> Верхівковий короїд	Груба кора	22,2	68
<i>Ips sexdentatus</i> Шести зубчастий короїд	Тонка кора	14,4	56

Лубоїди живляться хвоїнками та лубом, ніби підстригають крони дерев.

Великий сосновий лубоїд – шкідник різних видів сосен, рідше ялин і модрин. Шкодять імаго і личинки. Літ жуків починається раною весною при температурі + 6°C і триває до кінця квітня. Нападають на нижню частину ослаблених дерев і поселяються в основному в зоні товстої кори. Під час масового розмноження гніздяться під тонкою корою. Перші молоді лубоїди виходять з лялечок у другій декаді липня. Кілька днів харчуються біля лялечкових гнізд, а через деякий час виходять з-під кори, піднімаються в крони і вгризаються в верхні пагони сосен [3, с. 67]. Всередині жуки прогризають ходи до 8 см довжиною, у результаті чого пагін обламується і падає на землю. Після цього жук покидає його і знову піднімається в крону, де пошкоджує наступний пагін. З настанням осені лубоїди вгризаються в комлеву частину старих дерев сосни, проробляють там коротенькі, неправильні мінні ходи і там зимують.

Малий сосновий лубоїд – жук завдовжки 3,4–4,0 мм, довгастий, чорний, блискучий, вусики, лапки і надкрила іржаво-червоні. Самці можуть видавати звуки, що нагадують скрип. Зимують жуки під корою та в рослинній підстилці. Літ жуків починається у квітні і триває два – три тижні. Самки проточують поперечні маточні ходи під тонкою корою у верхній частині сосен. Жуки, що завершили відкладання яєць, залишають ходи розмноження і вбурюються у верхівкові пагони сосен для відновленого живлення. Пошкоджені пагони часто обламуються і падають на землю. Пошкодження такого типу продовжуються до осені [1, с. 8].

Шестизубий короїд заселяє ослаблені дерева в нижній частині стовбура і починає робити ходи по заболоні. У здорових деревах він не може робити отвори, тому що іде їх засмолювання, а у ослаблених дерев ця реакція зупиняється. Літ короїдів відбувається у квітні – травні. Молоді жуки з'являються в червні – липні і додатково живляться за рахунок травневих приростів.

Висновки. В Україні, як і в багатьох інших країнах світу, стрімко поширюється масове всихання хвойних лісів, пов'язане зі зміною клімату, зокрема

глобальним потеплінням. За підвищеної температури повітря та зменшеної кількості атмосферних опадів знижується рівень ґрунтових вод, що не є сприятливим для дерев, і вони втрачають опір до заселення шкідливими комахами та ураження збудниками хвороб.

Дослідження динаміки чисельності представників родини короїдів (Iridae) хвойних дерев проводилося протягом 2018–2019 років на території Бучацького лісництва, що розташоване в межах Канівського району Черкаської області.

Більшу територію лісництва займають соснові ліси, які утворені переважно сосною звичайною, а також незначними домішками сосни Банкса і веймутової. Ялинові ліси на території лісництва зростають невеликими ділянками площею 0,5–1 га посеред соснових насаджень. Модрина займає незначну площу серед хвойних лісів лісництва.

На території дослідження виявлено і визначено 4 види комах-шкідників хвойних насаджень з родини короїдів (Iridae): верхівковий короїд (*Ips acuminatus*), лубоїд сосновий малий (*Blastophagus minor* Hart.), лубоїд сосновий великий (*Blastophagus piniperda* L.), короїд шестизубчастий, або стенограф (*Ips sexdentatus* Voern). Досліджені види комах-шкідників родини короїдів (Iridae) є дрібними жуками, які наносять пошкодження як у фазі личинки, так і у фазі імаго, тому належать до дуже небезпечних шкідників хвойного лісу.

Жуки-короїди мають однорічні генерації і розвиваються з початку квітня до кінця серпня. Личинки цих короїдів прокладають численні ходи в корі, під корою, в лубі, інколи навіть пошкоднують заболонь і деревину. Верхівковий короїд є постійним мешканцем соснових лісів, але заселяє переважно поодинокі ослаблені та звалені дерева. Зараз шкідник заселяє гілки крон та вершини стовбурів (район тонкої та перехідної кори), де живиться поживними луб'яними тканинами, об'їдаючи та роблячи ходи в гілочках крони, заносючи при цьому спори грибів, які викликають посиніння деревини.

Лубоїди пошкоджують сосну, ялину та інколи модрину, призводячи до ослаблень лісостанів і навіть до повного всихання значних територій.

Література

1. Андреева О.Ю. Ствобурові шкідники в осередках усихання соснових насаджень ДП «Житомирське ЛГ» Житомирської області. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Серія «Фітопатологія та ентомологія». 2016. № 1–2. С. 7–12.
2. Бей-Биенко Г.Я., Асатур М.К. Практикум по сельскохозяйственной энтомологии. Ленинград : Колос, 1968. 360 с.
3. Воронцов А.И. Технология защиты леса: учебник для вузов по специальности «Лесное и садово-парковое хозяйство». Москва : Экология, 1991. 330 с.
4. Горанська О.М. Видове різноманіття комах-шкідників ряду Твердокрили у соснових лісах Горохівського району. *Біологічні дослідження: Збірник наукових праць V-Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених*. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2014. С.126–128
5. Грезе В.М. Про вплив первинних шкідників на приріст дерева. *Захист лісу*. Вип. 14 Київ, Полтава, 1936. С. 35–52
6. Давиденко К.В. Методичні аспекти оцінювання патогенного впливу офіостомових грибів, пов'язаних із короїдами, на саджанці сосни звичайної. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Серія «Фітопатологія та ентомологія». 2012. № 11. С. 57–63

7. Мешкова В.Л. Сроки развития стволовых вредителей сосны в Левобережной Украине. *Известия СПб лесотехнической академии*. СПб, 2015. Вып. 211. С. 59–67
8. Некрутенко Юрій. Жуки: довідник. Київ : Видавництво Раєвського, 2005. 232 с.
9. Фасулатти К.К. Полевое изучение наземных беспозвончных: учеб. пособие. Москва : Высшая школа, 1961. 227 с.
10. Шевырьов И.Я. Описание вредных насекомых степных лесничеств и способов борьбы с ними : монография. тип. И. Н. Скороходова, 1893. 143 с.
11. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Бучак>.

АНАЛІЗ ВІТАЛІТЕТНОЇ І ВІКОВОЇ СТРУКТУРИ МІСЦЕЗРОСТАНЬ БЕРЕКИ ЛІКАРСЬКОЇ (*SORBUS TORMINALIS* (L.) CRANTZ) У ЛІСАХ НПП «КАРМЕЛЮКОВЕ ПОДІЛЛЯ» ПІВДЕННО-ПОДІЛЬСЬКОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Шпак Н.П.

Національний природний парк «Кармелюкове Поділля»
вул. Шевченка, 48, 23652, смт. Кирнасівка,
Тульчинський район, Вінницька область
spaknina0@gmail.com

У статті висвітлено дослідження вікової та віталітетної структур ценопопуляцій *Sorbus torminalis* (L.) Crantz у лісових фітоценозах, типових для дубово-грабових насаджень Південно-Подільського Лісостепу України. Дослідженнями охоплено популяції *Sorbus torminalis* у 11 кварталах НПП «Кармелюкове Поділля» (Чечельницьке ЛГ). В аналізі структури популяції одним із важливіших показників є її віковий складник. Для характеристики вікової структури виділили такі ознаки: вік насадження, діаметр стовбура, висота середня, висота стовбура до перших сучків, категорія стану. Морфологічні показники виду на пробах площях залежать від місця зростання, рельєфу, складу деревостану, повноти та гідрокліматичних умов. Вікова структура ценопопуляції *Sorbus torminalis* визначається такими властивостями виду, як: періодичність плодоношення, швидкість переходу з одного вікового стану в інший, тривалість кожного стану, стійкість до захворювань та несприятливих природних умов. Ценопопуляції представлені всіма віковими категоріями. У 10 популяцій високий відсоток репродуктивних особин, які здатні до самовідновлення насінням, тому віднесені до нормальних повноцінних. За категоріями стану переважають дерева IV категорії (за Крафтом). У кварталі 84/1 ступінь пошкодження деревостану сильні, популяція знаходиться в постгенеративному періоді, вік 80–90 років (60 екз./га). Деревя цвітуть, але плоди опадають незрілі, самосів і підріст відсутній. Частина дерев (38 екз.) втратили повністю здатність до цвітіння і лише вегетують. Цю популяцію віднесли до регресивного типу, генеративне відтворення рослин у ній припинилося, відсутні особини окремих вікових станів, ділянка потребує лісгосподарського втручання. За останні 10 років *Sorbus torminalis* у цьому насадженні масово випадає. Аналіз віталітетної структури насаджень проводився в три етапи. В основному алгоритмі віталітетного аналізу особини в популяції поділили на три класи віталітету: «а», «б» і «с». Для кожної популяції визначали: індекс якості популяції (Q), який становить 0,33–0,45, індекс віталітету популяцій (Iq) – 1,35–5,67, індекс стану популяції (Is) – 1,89–4,03. Величина індексу якості Q виступає узагальненою характеристикою рівня життєвості деревостанів. За отриманими даними віталітетний тип популяцій розділили на процвітаючі (8) та врівноважені (3). Порівняльний аналіз віталітетної та вікової структур популяцій в лісових асоціаціях засвідчує, що віталітетні спектри *Sorbus torminalis* широко варіюють, а це вказує на чутливість популяцій до еколого-ценотичних умов й зумовлює високу інформативну цінність віталітетного аналізу. *Ключові слова:* *Sorbus torminalis* L., ценопопуляція, віталітетна структура популяції, вікові стани і періоди, НПП «Кармелюкове Поділля».

The vitality and age structure analysis of habitat of spesies *Sorbus Torminalis* (L.) Crantz in the forests of the NNP «Karmeliukove Podillia» of the south podilsky forest-steppe of Ukraine. Schpak N.

The article the age and vitality structure of *Sorbus torminalis* (L.) Crantz cenopopulations in forest phytocenoses typical of oak-hornbeam plantations of the South Podilsky Forest-Steppe of Ukraine were investigated. The studies populations the *Sorbus torminalis* in 11 quarters of the NNP “Karmeliukove Podillia” (Chehelnitsky Forestry) are covered. The age component is one of the most important indicators in analyzing the structure of a population. The following features to characterize the age structure: planting age, diameter of the trunks, average height, height of the trunk to the first knots, category of condition were established. The morphological characteristics of the species in the test areas depends on the place of growth, relief, composition of the stand, completeness, and hydroclimatic conditions. The age structure of the cenopopulation of *Sorbus torminalis* is determined by such species characteristics as: periodicity of bearing, speed of transition from one age state to another, duration of each state, resistance to diseases and adverse natural conditions. Cenopopulations are represented by all ages. In 10 populations are high percentage of reproductive individuals that are capable of self-regeneration by seeds are therefore classified as normal complete. The trees of class IV (by Kraft) by status categories are predominates. The degree of damage to the stand is strong in the quarter of 84/1, the population is in a postgenerational state, the age of 80–90 years (60 specimens / ha). Trees are blooming, but the fruits are unripe, there is no self-seed and reproduction. Part of the trees (38 specimens) have completely lost their ability to florescence and are only growing. This population to the regressive type was attributed, the generative reproduction of plants in it ceased, there are no individuals of individual age states, the site needs forestry intervention. The *Sorbus torminalis* has been massively drop out in this plantation over the last 10 years. The vitality structure of the plantations in three stages was analyzed. The individuals in a population were divided into three classes of vitality: “a”, “b” and “c” in the basic algorithm of vitality analysis. For each population: quality index (Q), which is 0.33–0.45, the population vitality index (Iq) – 1.35–5.67, the population index (Is) – 1.89–4.03 were determined. The value of the quality index Q characteristic of the level of vitality of tree stands is a generalized. The vitality type of population was divided into prosperous (8) and balanced (3) according to

the received data. A comparative analysis of the vitality and age structure of populations in forest associations shows that the vitality spectra of *Sorbus torminalis* vary widely, which indicates the sensitivity of populations to ecological-cenotic conditions and causes high informative value of vitality analysis. *Key words:* *Sorbus torminalis* L., coenopopulation, vitality structure of population, ages state and periods, National Nature Park "Karmeliukove Podillia".

Постановка проблеми. Аналіз вікової та віталітетної структур популяції має на меті оцінку життєздатності рослин на основі морфогенетичних ознак із подальшим встановленням співвідношення в популяції кількості особин різної життєздатності. У сформульованих Ю.А. Злобіним теоретичних основах й алгоритмах віталітетного аналізу лежить ідея про те, що продукційний процес, ріст і морфологічна структура особини, виявлені в кількісних параметрах, дають узагальнену оцінку її життєвого стану. Це стосується видів, які збережені в насадженнях природного походження і належать до числа зникаючих. Таким видом у цьому регіоні є *Sorbus torminalis* (L.) Crantz, який занесений до Червоної книги України (2009) та є асектатором у насадженнях. Вид має незначні перспективи щодо природного відновлення насіннєвим шляхом. Саме тому розвиток наукових досліджень та з'ясування стану видів та оселищ, цінних в рамках Смарагдової мережі, є важливим природоохоронним завданням.

Актуальність дослідження. Варто відзначити, що дослідження вікової та віталітетної структури насаджень та локальних місцезростань *Sorbus torminalis* не проводилися. Враховуючи еколого-ценотичну значущість лісів регіону та роль в них *Sorbus torminalis*, на основі застосування вікового та віталітетного аналізів, які на цей час ще мало використовуються для визначення життєвості деревостанів, сприятимуть розробці заходів зі збереження зникаючих видів. Дослідження структури насаджень *Quercus robur* за участю *Sorbus torminalis* є актуальним, особливо на південно-східній межі природного розповсюдження.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Згідно із Законом України «Про природно-заповідний фонд України» (1992) в НПП «Кармелюкове Поділля» розроблена «Програма зі збереження та відтворення береги лікарської (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) на території національного природного парку «Кармелюкове Поділля» на 2018–2021 роки». Життєздатність природних популяцій у різних лісових фітоценозах можна оцінити, проаналізувавши їх вікову та віталітетну структуру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиріччя віталітетний аналіз все ширше застосовується в популяційних дослідженнях і виявляється високоінформативним щодо стану популяцій рослин. Як відзначають Ю.А. Злобін, І.М. Коваленко, Г.Г. Жилиєв, І.В. Царик, результати віталітетного аналізу популяцій рослин мають цілком самостійне значення, вони не дублюють аналіз вікового складу популяцій. Здатність до модифікації онтогенезу

виступає як найважливіший механізм забезпечення стійкості популяцій [1; 2; 3; 4]. Стосовно деревних порід популяційні дослідження не завжди передбачають віталітетний аналіз, а без його використання важко обґрунтовано визначити життєздатність конкретної популяції.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою досліджень було надати оцінку вікової та віталітетної структур популяції *Sorbus torminalis* у лісових фітоценозах для визначення її життєздатності, прогнозу збереження та відтворення в типових для південно-східної території насадженнях.

Новизна. Критерії відбору виду для дослідження були такі: *Sorbus torminalis* – аборигенний, зникаючий вид, занесений у Червону книгу України, природна супутня порода в дубово-грабових насадженнях, слабе самовідновлення.

Методологічне або загальнонаукове значення. Аналіз віталітетної структури проводили згідно з методикою Ю.А. Злобіна [1]. Для оцінки стану насаджень проводили суцільний переоблік рослин з визначенням параметрів: діаметр крони, діаметр стовбура, висота дерева. Віталітет особин визначали за шкалою життєвого стану деревних рослин В.А. Алексєєва [5].

Аналіз віталітетної структури насаджень проводився в три етапи:

– перший етап – відбір кількісних ознак, які характеризують життєвий стан особин. Для оцінки віталітету *Sorbus torminalis*, а потім і популяції загалом використовували три ознаки: діаметр стовбура, висота дерева, категорія стану. Закладання пробних площ (польові дослідження) проводилися за типовими лісотаксаційними методиками.

– другий етап – оцінка віталітету конкретних особин рослин, які увійшли до вибірки. Цей етап проводився за суворим математичним алгоритмом. В основному алгоритмі віталітетного аналізу особини в популяції поділяли на три класи віталітету: «а», «б» і «с». Інтервал значень віталітету особин, які лежать в амплітуді від 0 до 1, поділяється на три рівні зони: більше 0,66 – вищий клас віталітету – клас «а», віталітет особини від 0,33 до 0,66 – клас «б» проміжний і особини, віталітет яких менше 0,33, клас «с» – особини нижчого класу віталітету. На наступному етапі досліджень у складі кожного фітоценозу визначалась частка рослин *Sorbus torminalis* різних класів віталітету та оцінювалась величина індексу якості (Q). Останній показник розраховувався за формулою: $Q = 1/2 (a + b)$. Величина індексу якості Q виступає узагальненою характеристикою рівня життєвості деревостанів. Індекс віталітету попу-

ляцій обчислювали за формулою: $I_q = (a + b)/2c$. Індекс стану популяції (I_c) обчислювали за формулою: $I_c = k_1x_1 + k_2x_2 + \dots / N$. За детально розробленими оціночними шкалами визначали санітарний стан деревостану.

Аналіз вікової структури районів місцезростань *Sorbus torminalis* проводили згідно з загальноприйнятою методикою та за рекомендаціями Е.М. Іоценка [6], І.В. Семечкіна [7]. Вікова структура ценопопуляцій визначається такими властивостями виду, як: періодичність плодоношення, швидкість переходу з одного вікового стану в інший, тривалість кожного стану, тривалість великого життєвого циклу, здатність до вегетативного розмноження, стійкість до захворювань та несприятливих природних умов тощо.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження вибрали лісові масиви національного природного парку «Кармелюкове Поділля» (далі – Парк), який створений згідно з Указом Президента України № 1057/2009 від 16 грудня 2009 року. Парк розташований у південно-східній частині Вінницької області в Тростянецькому та Чечельницькому районах. До території Парку в установленому порядку включено 20 203,4 га земель державної власності, в тому числі 17 457,0 га земельні лісові ділянки, вкриті лісовою рослинністю. Для оцінки кількісних та якісних параметрів стану насаджень доцільним є засто-

сування популяційного аналізу. Здатність природних популяцій до самозбереження можна оцінити, проаналізувавши їх вікову і віталітетну структури.

Вивчалися фітоценози, які репрезентують такі угруповання класу *Quercus-Fagetea* з участю *Quercus robur* L. та *Quercus petraea* L. У підліску переважають *Cornus mas* L., *Swida sanguinea* (L.) Opiz, *Viburnum lantana* L. У трав'яному ярусі домінують *Carex brevicolis* DC, *Carex pilosa* Scop., *Stellaria holostea* L. та інші, значно поширені *Allium ursinum* L. та *Hedera helix* L.

В аналізі структури популяції одним із важливих показників є її віковий складник. Віковий стан – це етап індивідуального розвитку рослини, на якому вона має певні екологічні і фізіологічні властивості. У життєвому циклі виділяють періоди: передгенеративний, генеративний, постгенеративний. Для характеристики вікової структури виділили такі ознаки: вік насадження, діаметр стовбура, висота середня, висота стовбура до перших сучків, категорія стану. Зверталася увага на місце зростання досліджуваного об'єкта. Обстежили 4 498 дерев, з них *Sorbus torminalis* становить 672 особини. Щільність виду коливається в середньому від 60 до 240 екз./га. Основні характеристики об'єктів, за допомогою яких оцінювали життєвий стан виду і деревостану, приведені в табл. 1, 2.

Середні висоти дерев генеративного віку *S. torminalis* змінювалися в межах 10,8–19,3 м, діа-

Таблиця 1

Характеристика *Sorbus torminalis* у природних насадженнях на постійних пробних площах в Бритавському і Дохнянському лісництвах

№ ППП	Квартал, виділ	Породний склад	К-ть екз., шт./га	Кількісні морфометричні ознаки				
				A	D	H	H ₁	Σg
7	30/7	4Дз2Гз2Яз1Клг 1Бер+Чш+Брс	126	50	20,6	19,3	3,5	6,8
8	79/1	7Дз2Гз1Бер+Яз	84	115	18,7	17,1	3,7	2,24
9	81/1	6Дз2Дз2Бер + Яз+Чш+Клг	190	110	17,9	16,9	3,8	4,16
12	84/1	7Дз2Гз1Яз +Бер+Клг	60	100	17,1	19,0	3,7	1,4
13	86/2	7Дз1Гз1Яз1Бер +Клг+Брс	86	95	16,3	14,5	3,6	1,86
14	82/4	8Дз1Гз1Бер+Клг +Яз+Лпд+Чш	80	54	10,9	13,2	3,5	2,46
16	86/7	6Дз2Гз2Бер +Клг+Чш+Брс	212	81	17,3	18,0	3,6	9,24
17	34/9	6Бер1Чш1Дз1Яз 1Лпд	240	45	12,9	10,8	3,5	14,98
19	5/7	5Дз3Гз2Яз+Бер +Лпд+Клг+Чш	80	64	17,8	19,2	3,6	2,96
20	13/8	5Дз2Гз2Яз1Бер +Клг+Лпд+Чш	120	60	15,5	13,8	3,7	2,78
21	16/7	3Дз3Гз2Яз1Бер 1Лпд+Клг+Чш	68	57	23,6	19,3	3,5	2,06

Примітка. Дз – дуб звичайний, Гз – граб звичайний, Яз – ясен звичайний, Бер – берека лікарська, Лпд – липа дрібнолиста, Брс – берест, Чш – черешня, Клг – клен гостролистий; А – середній вік дерев, років; D – середній діаметр, см; H – середня висота, м; H₁ – висота стовбура до перших сучків, м. Σg – сума площ перерізу м²/га.

Таблиця 2

Стан популяції *Sorbus torminalis* (2019 р.)

№ ПП	Квартал виділ	Категорії стану						Ic	Ступінь пошкодження	Санітарний стан	Середня категорія стану
		I	II	III	IV	V	VI				
7	30/7	-	4	15	36	7	1	1,89	слабкий	ослаблений	2
8	79/1	-	-	8	30	4	-	1,95	слабкий	ослаблений	2
9	81/1	1	3	24	54	6	7	3,86	сильний	всихаючий	4
12	84/1	-	-	8	15	5	2	4,03	сильний	всихаючий	4
13	86/2	-	2	6	30	3	2	3,5	середній	сильно ослаблений	3
14	82/4	-	1	8	25	6	-	3,5	середній	сильно ослаблений	3
16	86/7	18	25	30	33	1	2	2,5	слабкий	ослаблений	2
17	34/9	9	20	38	44	7	2	3,22	середній	сильно ослаблений	3
19	5/7	-	8	14	13	3	2	3,43	середній	сильно ослаблений	3
20	13/8		4	10	33	7	6	4,01	сильний	всихаючий	4
22	16/5	2	8	8	9	2	3	3,17	середній	сильно ослаблений	3

Примітка: I, II, III, IV, V, VI – категорії за Крафтом; Ic – індекс стану популяції.

Таблиця 3

Віталітетна структура популяції *Sorbus torminalis* у природних дубово-грабових насадженнях

Квартал, виділ	Частка особин за класами віталітету			IVC	Q	Iq	Віталітетний тип
	а	б	с				
30/7	0,30	0,57	0,13	1,13	0,44	3,35	процвітаюча
79/1	0,19	0,71	0,10	1,79	0,45	4,5	процвітаюча
81/1	0,19	0,57	0,24	1,79	0,33	1,58	врівноважена
84/1	0,27	0,5	0,23	1,23	0,33	1,35	врівноважена
86/2	0,19	0,70	0,12	1,79	0,45	3,7	процвітаюча
82/4	0,23	0,63	0,15	1,48	0,43	2,86	процвітаюча
86/7	0,38	0,55	0,07	0,89	0,45	5,67	процвітаюча
34/9	0,51	0,37	0,12	0,67	0,44	3,66	процвітаюча
5/7	0,50	0,33	0,13	0,68	0,43	3,35	процвітаюча
13/8	0,23	0,55	0,22	1,48	0,33	1,8	врівноважена
16/5	0,52	0,26	0,15	0,65	0,44	2,6	процвітаюча
Середнє значення	0,34	0,62	0,14				
ISP (Індекс розмірної пластичності)				2,75			

метр стовбура коливався від 10,9 до 23,6 см (окремі особини мають діаметр 32–56 см), висота стовбура до перших сучків 3,50–4,80 м, діаметр крони 3,4–8,6 м. Амплітуда коливання отриманих показників властива популяціям *S. torminalis* у насадженнях НПП «Кармелюкове Поділля». Морфологічні показники виду на пробних площах залежать від місця зростання, рельєфу, складу деревостану, повноти та гідрокліматичних умов. Порівнявши суми площ поперечних перерізів (Σg) до числа дерев і об'єму їх стовбурів, не виявили значних відмінностей.

За категоріями стану переважають дерева IV категорії (за Крафтом). Після стихійних явищ (льодоламу, сильних вітрів та інших) у частини дерев обламани скелетні гілки, ріст у висоту випереджує ріст стовбура у товщину, що приводить до згинання верхівки і пригнічення швидкоростучими породами (табл. 2).

За шкалою оцінки ступеня пошкодження *Sorbus torminalis* у 3 кварталах насаджень визначили слабкий ступінь пошкодження, за санітарним станом – ослаблені, насаджень знаходяться в оптимальних умовах. У цих популяцій високий відсоток генеративних особин, які здатні до самовідновлення насінням, тому їх віднесли до нормальних повноцінних.

У 5-х кварталах ступінь пошкодження середній. У цих кварталах *Sorbus torminalis* становить від 5 до 35%, дерева в пригніченому стані, підріст ослаблений і всихаючий, і, відповідно, популяції містить значно менше генеративних особин. Категорію I і II мають переважно молоді особини, які перебувають в передгенеративному періоді. У кварталі 34/9 для переходу до повноцінної популяції ділянка потребує прорідження.

У кварталах 84/1, 84/1, 13,8 ступінь пошкодження деревостану сильний. На ділянці моніторингу щіль-

ність *Sorbus torminalis* 60–190 особин на гектар. Рослини знаходяться в нормальних умовах, але генеративних особин у популяції мало, більшість знаходиться в постгенеративному періоді, вік 80–100 років. Деревя цвітуть, але плоди опадають недозрілі, самосів і підріст відсутній. Частина дерев втратили повністю здатність до цвітіння і лише вегетують. Ці популяції віднесли до регресивного типу, генеративне відтворення рослин у них припинилося, ділянки потребують лісгосподарського втручання і можливе їх існування за рахунок занесення насіння з інших ценопопуляцій або штучного поновлення. За останні 10 років *Sorbus torminalis* у насадженні масово випадає.

Для оцінки віталітетної структури популяцій загалом використовували три ознаки: діаметр стовбура, висота дерева, категорія стану. Дані відображені у таблиці 3.

За індексом якості популяції 8 з них відповідають статусу процвітаючих, які відображають перевагу в деревостані сумарної частки особин класів «а» і «б». Три популяції відповідають статусу врівноважених, в яких індекс якості не перевищує 0,33. Залежать віталітетні параметри від кількості особин

за класами віталітету. За А.І. Федоровим, всі популяції можна віднести до процвітаючих, у яких індекс Iq більший за одиницю.

Висновки. На підставі комплексного аналізу вікової та віталітетної структур популяції виду *Sorbus torminalis* можна стверджувати, що загалом стан оцінено як задовільний. У віталітетній структурі більшості деревостанів переважає III категорія життєвого стану. За показниками Q, Iq, Ic визначили 8 процвітаючих і 3 врівноважених популяції. Результати віталітетного аналізу популяцій мають цілком самостійне значення, вони не дублюють аналіз вікового складу популяцій.

Перспективи використання результатів досліджень. Життєвий стан *Sorbus torminalis* у дубово-грабових насадженнях є однією з найголовніших діагностичних характеристик популяційного рівня під час оцінки загального стану районів місцезростань і сприятимуть розробці заходів по збереженню зникаючого виду. Визначені квартали для лісгосподарських робіт, які сприятимуть переходу ослаблених популяцій до повноцінних, а також природному відновленню виду в регіоні.

Література

1. Злобин Ю.А. Компьютерные программы для анализа популяций растения. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агронія і біологія»*, 2012. Вип. 2 (23). С. 3–6.
2. Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Мельник Т.И. Концепция континуума и градиентный анализ на уровне особей и популяций растения. *Журн. общ. Биологии*. 1996. Т. 57. № 6. С. 684–695.
3. Жиляев Г.Г. Жизнеспособность популяций растения. Львов : Институт
4. екологии Карпат, 2005. 304 с.
5. Жиляев Г.Г., Царик И.В. Концепция життєдіяльності популяції рослин високогір'я Українських Карпат. Львів : Меркатор, 2000. С. 7–16.
6. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. *Лесоведение*. 1997. № 4. С. 51–57.
7. Иошенко Е.Н., Лашинский Н.Н. Пространственно-возрастная структура древостоя как функция биологии древесных пород. *Успехи экологической морфологии растений и ее влияние на смежные науки*. Москва : 63, 1994. С. 63–64.
8. Семечкин И.В. Динамика возрастной структуры древостоев и методы ее изучения. *Вопросы лесоведения*. 1970. Т. 1. С. 422–444.
9. Жукова Л.А., Глотов Н.В. Морфологическая поливариантность онтогенеза в природных популяциях растения. *Онтогенез*. 2001. Т. 32, № 6. С. 455–461.
10. Кирик А.И., Никулин А.В. Оценка виталитетного состава ценопопуляции, как показателя напряженности конкуренции. *Успехи современного естествознания*. 2003. № 9. С. 70–72.
11. Кривец С.А. Виталитетная структура древостоев кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) на юго-востоке Западной Сибири. *Вестник Томского госуд. Университета*, 2008. № 313. С. 225–231.

ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 504.06: 623.094: 004

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.6>

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ОПЕРАТИВНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПОЖЕЖАМ НА ТОРФОВИЩАХ

Климчик О.М.

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

Екологічна безпека виступає як один із головних факторів сталого розвитку регіону. Загрозу їй можуть становити такі чинники, як забрудненість довкілля, техногенна небезпека, антропогенне навантаження та природні стихійні лиха. Усе це зумовлює потребу в повній інформації для оцінки поточного стану довкілля, прогнозування розвитку потенційно небезпечних явищ і розроблення відповідних природоохоронних заходів.

Одним із найнебезпечніших факторів впливу на природне середовище Поліського регіону України є процес горіння покладів торфу і надмірна забрудненість викидами, що виділяються під час їх згорання. Виникнення пожеж на торф'яних полях негативно впливає на навколишнє середовище та здоров'я людей, а під час їх гасіння зумовлює значну небезпеку для працівників виробничих підрозділів і пожежних команд. У зв'язку з цим надзвичайно важливим є систематичний оперативний контроль температурного стану торфовищ і прогнозування напрямку поширення пожежі для прийняття відповідних управлінських рішень. Перспективними засобами такого контролю виступають безпілотні літальні апарати (БПЛА).

У статті надано характеристику пожеж на торфовищах і розкрито їхній вплив на навколишнє середовище. На підставі виконаних досліджень встановлено можливості застосування сучасних БПЛА та засобів візуального спостереження для моніторингу торфовищ із метою виявлення можливих осередків їх загорання. Обґрунтовано вибір класу БПЛА та інфрачервоних датчиків для контролю температурного режиму на торф'яних полях.

Обґрунтовано вибір програмного продукту ГІС-технологій і розроблено основи методики його використання під час планування застосування БПЛА для контролю температурного режиму торф'яних полів. Запропоновано спосіб цифрового картографування тематичної інформації щодо ділянок ймовірного загорання торфовищ у Житомирській області для створення візуального банку даних результатів моніторингу на основі програмного продукту «Digitals для Windows», придатного для оцінки, аналізу та опрацювання даних, планування застосування засобів для оперативного реагування на ймовірні пожежі у межах окремих районів Поліського регіону та розроблення відповідних природоохоронних заходів. *Ключові слова:* торфовища, температурний режим, пожежі на торфовищах, безпілотний літальний апарат, засоби візуального спостереження, ГІС-технології, умовні знаки, цифрова карта.

Application of operational observation means for peat fields fire prevention. Klymchuk O.

Environmental security is one of the main factors for the sustainable development of the region. Factors such as environmental pollution, technogenic hazards, anthropogenic factors and natural disasters may pose a threat for it. All this necessitates complete information to assess the current state of the environment, predict the development of potentially dangerous phenomena and develop appropriate environmental measures.

One of the most dangerous factors affecting the natural environment of the Polissia region of Ukraine is the process of burning of peat deposits and excessive pollution of the emissions during their combustion. The occurrence of fires in peat fields adversely affects the environment and human health, and during their extinguishing poses a significant danger to production units' workers and fire crews. In this regard, it is extremely important to systematically control the temperature of peat fields and to predict the direction of fire propagation in order to make appropriate management decisions. Unmanned aerial vehicles (UAV) are promising means of such control. The characteristics of fires in peat fields are described and their impact on the environment is revealed in the article. On the basis of the performed researches the possibilities of modern UAVs and visual surveillance tools using for monitoring peat fields in order to identify possible foci of their ignition have been established. The choice of UAV class and infrared sensors for peat fields temperature control is justified. The choice of the GIS technology software product is grounded and the basics of the method of its use in planning the use of UAV for the control of the temperature regime of peat fields are developed. A method of digital mapping of thematic information on areas of probable burning of peat fields in the Zhytomyr region is proposed to create a visual database of monitoring results based on the «Digitals for Windows» software, which is suitable for estimating, analyzing and processing data, planning the use of means for prompt response to possible fires within individual areas of the Polissia region and development of appropriate environmental protection measures. *Key words:* peat fields, temperature regime, fires on peat fields, unmanned aerial vehicle, visual surveillance tools, GIS technologies, symbols, digital map.

Постановка проблеми. Одним із найнебезпечніших факторів впливу на природне середовище Поліського регіону України є процес горіння покладів торфу і надмірна забрудненість викидами, що виділяються під час їх згорання. Пожежі на торфовищах несуть небезпеку населеним пунктам і вироб-

ничим об'єктам, що розташовані поблизу них. Ліквідувати спалах торфу набагато складніше, ніж запобігти йому. Для запобігання причинам виникнення пожеж у природних екосистемах вживаються різноманітні профілактичні заходи, до яких, зокрема, належать наземний та повітряний контроль території

торфовищ. З метою підвищення екологічної та протипожежної безпеки як безпосередньо потенційно небезпечних об'єктів і прилеглих населених пунктів, так і людей, які ведуть боротьбу з пожежею, потрібен оперативний контроль.

Важливим завданням є не тільки отримання інформації, але й її раціональне зберігання, обробка і представлення. На етапі обробки й аналізу даних виникає необхідність пов'язувати дані одне з одним, порівнювати їх, проглядати у зручному і наочному вигляді, створюючи на їхній основі, наприклад, потрібну таблицю, схему, креслення, карту, діаграму тощо. Застосування гео-інформаційних систем (ГІС) і технологій для накопичення, аналізу, обробки та надання опрацьованих даних щодо моніторингу торфовищ є важливим заходом для прийняття відповідних управлінських рішень.

Актуальність дослідження. Виникнення пожеж на торф'яних полях негативно впливає на навколишнє середовище та здоров'я людей, а під час їх гасіння зумовлює велику небезпеку для працівників виробничих підрозділів і пожежних команд. У зв'язку з цим надзвичайно важливим є систематичний оперативний контроль температурного стану торфовищ і прогнозування напрямку поширення пожежі для прийняття відповідних рішень і розроблення природоохоронних заходів. Перспективними засобами такого контролю виступають безпілотні літальні апарати (БПЛА), що є складовим елементом безпілотного авіаційного комплексу (БпАК).

Постановка завдання. Наразі питання застосування БпАК щодо забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища ще не досить висвітлюються в літературі. Інформація щодо використання БПЛА як засобів оперативного спостереження за станом складників довкілля також обмежена. Тому метою досліджень було встановлення можливості застосування БПЛА для вирішення завдань контролю за температурним режимом торфовищ із метою підвищення екологічної та протипожежної безпеки у визначеному районі у реальному часі. Завдання полягало в такому: охарактеризувати причини пожеж на торфовищах та їхні наслідки; обрати сучасний клас БПЛА та інфрачервоних датчиків для контролю температурного режиму торфовищ; обґрунтувати параметри візуалізації даних моніторингу; розробити необхідні умовні позначення для візуалізації інформації; розробити основи методики використання ГІС-технологій під час застосування БПЛА для контролю температурного режиму торфовищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання щодо ролі та функцій торфовищ в екологічних системах, специфіки їхньої морфолого-генетичної будови на території України, особливостей їхнього комплексного використання як торфопо-земельного ресурсу розкрито у наукових працях Р. Трускавецького, В. Гаськевича, М. Нецик та інших авторів [10]. Заходи щодо запобігання

пожежам на торфовищах детально розглянуті у роботах таких авторів, В. Коніщук і Н. Мельник [4]. Особливостям застосування сучасних БпАК у цивільній сфері присвячено дослідження В. Харченко, Д. Прусова та інших [11].

Найбільш небезпечні торф'яні пожежі виникають на осушених торфовищах. Особлива небезпека полягає в тому, що торф не горить відкритим вогнем – він тліє, виділяючи велику кількість диму. Пожежі на торфовищах відрізняються від решти пожеж тривалістю їхньої ліквідації та потенційною можливістю збільшення масштабів. Складність гасіння таких пожеж полягає ще й у тому, що горять і більш глибокі шари торфу.

Методика досліджень. У процесі проведення досліджень було використано загальнонаукові та спеціальні методи досліджень. Основні результати досліджень отримано на підставі принципів роботи БПЛА [2; 11], методик застосування ГІС-технологій [7]. Для вибору необхідного програмного продукту ГІС-технології з урахуванням сумісності його з програмним забезпеченням комп'ютерної техніки, особливостей процесу створення бази даних і можливості подальшого опрацювання даних, занесених до цієї бази, обрано аналітичний та узагальнюючий методи досліджень. Розроблення основ методики використання ГІС-технологій під час застосування БпАК для контролю температурного режиму торф'яних полів базувалось на положеннях Наказу Міністерства оборони України «Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України» [5].

Як картографічну основу з метою відпрацювання методики використання ГІС-технологій під час планування застосування БпАК використано цифрову фізичну карту Житомирської області. Під час розроблення необхідних умовних позначень для візуалізації інформації даних екологічного моніторингу торфовищ із метою створення нових шарів даних на електронній карті Житомирської області використано наукові здобутки А. Багмета [1] та особисто розроблений понятійний апарат для розпізнавання зазначених позначень. Практичне відпрацювання основних положень методики використання ГІС-технологій під час застосування БпАК для контролю температурного режиму торфовищ виконувалось відповідно до порад користувачу ГІС для створення цифрових карт і планів «*Digital*s для *Windows*» [7].

Виклад основного матеріалу. За деякими оцінками, світові запаси торфу становлять від 250 до 500 млрд тон [6]. Геологічні запаси торфу в Україні, поклади яких зосереджені переважно на Поліссі, оцінюються у 2,17 млрд т, а площа торфових родовищ становить близько 1 млн га [6].

Доволі часто ґрунтові торф'яні пожежі є причиною низової лісової пожежі [4]. Торф'яні пожежі охоплюють великі площі й важко піддаються гасінню, коли горить шар торфу значної товщини. Торф'яні



Рис. 1. Задимленість Богунського р-ну м. Житомир унаслідок горіння торфовищ у Житомирській області (04.09.2015 р., фото автора)

пожежі рухаються повільно, по декілька метрів на добу. Причому торф може горіти в усіх напрямках, незалежно від напрямку й сили вітру, а під ґрунтом він горить навіть під час помірної дощу й снігопаду. Вони небезпечні раптовими проривами вогню з-під землі й тим, що їхній край не завжди помітний. Температура всередині товщі торфу, охопленого пожежею, досягає понад сотень градусів.

Основною природною причиною, що зумовлює виникнення пожеж на торфовищах, є температурний режим довколишнього середовища, зокрема повітря і верхніх шарів гранту. Наприклад, доволі спекотне літо має досить негативні наслідки для природи, зокрема й торфовищ, оскільки викликає їх самозаймання. Підвищений рівень задимленості атмосферного повітря внаслідок горіння торф'яників негативно впливає на людей через отруєння продуктами горіння, хвороби шкіри та алергічні прояви, загострення серцево-судинних, легених та інших хронічних захворювань (рис. 1).

Дим від великих торф'яних пожеж у концентрації, небезпечній для здоров'я, може поширюватися на відстань до кількох сотень кілометрів.

Своєчасно виявити торф'яну пожежу дуже складно – набагато важче, ніж лісову, що пов'язано з відсутністю відкритого вогню. Тому вирішальну роль у ранньому виявленні торф'яних пожеж відіграє регулярне обстеження особливо небезпечних територій.

Наразі для вирішення широкого кола завдань, виконання яких пілотованими літальними апаратами

з різних причин недоцільно, застосовуються невідомі БпЛА [2]. Такими завданнями є моніторинг повітряного простору, земної й водної поверхонь, моніторинг обстановки в надзвичайних ситуаціях будь-якого походження, спостереження за пожежною обстановкою тощо [8].

Основною особливістю БпЛА (у літературі застосовується синонім – «дрон») є відсутність людини на борту апарата. Це дає змогу зменшити ризик втрат льотного складу, зняти обмеження присутності літального апарату в зонах, які мають численні фактори шкідливого впливу на людину. Головною особливістю БпЛА є те, що майже всі апарати виконують свої завдання в автоматичному режимі. Візуальна інформація з БпЛА може бути отримана в режимі реального часу або після доставки та обробки в день здійснення польоту (спостереження).

Нині в Україні створено низку сучасних БпЛА: «Фурія», *Spectator*, *PD-1* та інші (рис. 2) [8].

Для здійснення ДЗЗ в інфрачервоному діапазоні на борту БпЛА можливе встановлення ІЧ-датчиків (тепловізійних камер – тепловізорів). Наразі сучасною і досить поширеною тепловізійною камерою, що застосовується на БпЛА, є *Flir* серії *Tau 2* з об'єктивом 19 мм і компактним охолоджуваним тепловізійним модулем [9]. Зйомка в ІЧ-діапазоні дає можливість спостерігати межі розподілу температурних режимів знятої ділянки місцевості. Накопичення інформації та подальший її аналіз дає змогу оцінювати і прогнозувати напрями поширення процесів підвищення



Рис. 2. Безпілотні літальні апарати «Фурія» (а) та «Spectator» (б)

температури торфовища та наближення її до критичної точки – самозаймання. З аналізу характеристик сучасних тепловізорів випливає, що за співвідношенням «ціна – якість» найкращим вибором для контролю температурного режиму торф'яних полів є тепловізійна камера *Flir Vue Pro R 640*, що поєднує середню ціну, високі оптичні показники з можливістю встановлення на будь-яку платформу [2; 9].

Проведений аналіз свідчить, що для вирішення завдань контролю за температурним режимом торфовищ у межах Поліського регіону, зокрема Житомирської області, доцільно використовувати літальні апарати легкого та середнього класу II–IV категорії, що мають висоту польоту понад 2 км і тривалість польоту понад 2 години. Такими є БпЛА модельного ряду «Фурія» та «PD-1» [2].

Можливість експлуатації обраних типів БпЛА вносить низку обмежень щодо їхнього застосування в певних умовах. Наприклад, для запуску і посадки БпЛА типу «Фурія» необхідна розчищена некам'яниста ділянка місцевості площею мінімум 100 x 100 м. Умови запуску і посадки БпЛА модельного ряду «PD-1» є більш жорсткими. З урахуванням габаритів і способу зльоту (посадки) БпЛА вищезазначеного типу дозволяється експлуатувати виключно з підготовлених злітно-посадкових смуг (ЗПС) [5]. Такими можуть бути аеродроми військової, цивільної та сільськогосподарської авіації. За зрозумілих причин робота зі ЗПС першого і другого типу вкрай ускладнена. Найпростіше використовувати ЗПС третього типу.

Організація спостереження за температурним станом торфовищ і процесами, що відбуваються у них, передбачає планування маршрутів польоту літального апарату з використанням картографічної інформації, зокрема цифрових карт, на яких можливо графічними засобами програмного забезпечення наносити райони спостереження торфовищ, райони заборони польоту БпЛА, прокладати маршрути польоту та іншу необхідну графічну інформацію [1; 2].

Під час планування польотів БпЛА для контролю температурного режиму торфовищ доцільно дотримуватися положень Наказу Міністерства оборони України «Планування польотів» стосовно цивільної установи (розділу 3) [5]. Для проведення польотів на кожну льотну зміну складається планова таблиця польотів відповідно до Правил виконання польотів Державної авіації України. Вона може складатися в декількох варіантах залежно від завдань, які вирішуються, площі району спостережень, очікуваних метеорологічних умов тощо. У таблиці обов'язково вказуються маршрути польоту [5].

Ліквідувати спалах торфу складніше, ніж запобігти йому. Тому такий аналіз сприятиме ранньому виявленню територій із найбільш ймовірним самозайманням, плануванню та втіленню профілактичних заходів, які запобігають виникненню пожеж на торфовищах.

Інформаційне забезпечення системи контролю за станом торфовищ має містити певні тематичні пласти інформації [1; 7]. Одним із найважливіших елементів системи контролю є планування застосування технічних засобів контролю (БпЛА) відповідно до чинного законодавства України та дані про об'єктивний стан об'єкта контролю.

Для створення візуального банку даних було обрано програмний продукт «*Digitalis* для *Windows*» розроблений ТОВ «Аналітика» (м. Вінниця), оскільки ця програма дає змогу робити збір векторної інформації з растрових зображень [7]. Технологія виводу даних ГІС «*Digitalis* для *Windows*» дає змогу оперативно одержувати візуальне представлення картографічної інформації з різним змістом і наповненням, переходити від одного масштабу до іншого, представляти атрибутивні дані в табличній, текстовій або графічній формі.

На цифрову карту в активному режимі користувач (група планування) може наносити специфічну інформацію відповідно до його вимог, дотримуючись правил використання повітряного простору та забезпечення безпеки польоту БпЛА [1; 2; 5]. З цією метою за топографічною картою та знімками ДЗЗ були уточнені межі об'єкта контролю. Надалі було складено перелік елементів (об'єктів та явищ), які будуть додатково відображатися на цифровій карті: район контролю, поле торфорозробки, зона заборони польоту БпЛА, злітно-посадковий майданчик, маршрут польоту БпЛА, напрям польоту тощо. Далі було визначено категорії конкретних елементів і відповідних їм умовних позначень у ГІС «*Digitalis*». Було визначено перелік необхідних параметрів та їхню розмірність для категорії елементів, які будуть занесені в базу даних: для району контролю та ділянки торфорозробки – назва родовища, температура торфу, дата останнього контролю; для зони заборони польоту БпЛА – час заборони польоту; для злітно-посадкового майданчику – назва, довжина та ширина ЗПМ, метеоумови, напрям і швидкість вітру; для маршруту польоту БпЛА – висота й час відкритого простору.

У програмі «*Digitalis* для *Windows*» було створено нові умовні позначення поодиноких (позамасштабних) та лінійного об'єктів. Ці умовні знаки мають свої порядкові номери та категорію знака в базі даних програми: (поодинокий – Og, лінійний – Ln) – 38 Og, 39 Og, 42 Og та 41 Ln.

У результаті досліджень і практичного відпрацювання основних положень методики використання ГІС-технологій під час застосування БпЛА було отримано цифрову карту та базу даних, які характеризують умови застосування БпЛА для контролю температурного режиму торфовищ Житомирської області (рис. 3). У разі необхідності в план застосування БпЛА перед польотом можливе оперативне внесення змін, які наочно будуть відображені на цифровій карті.



Рис. 3. Цифрова карта ГІС «Digitals для Windows 95/98/NT» з планом застосування БпЛА (витяг, варіант)

Головні висновки. Встановлено, що сьогодні в Україні БпАК переважно використовуються для вирішення військових завдань. З огляду на перспективність розвитку вітчизняної безпілотної авіаційної техніки з'являється можливість оперативного отримання інформації щодо екологічного стану певного району у реальному часі із застосуванням БпЛА II–IV класів. З метою оперативного контролю температурного стану торфовищ для запобігання пожежам на них доцільно використовувати БпЛА типу «Фурія» або «PD-1» з тепловізійною камерою *Flir Vue Pro R 640*.

Запропонована методика використання оцінки та візуалізації даних екологічного моніторингу на основі програмного продукту «Digitals для Windows» передбачає створення банку даних для оцінки, оперативного їх опрацювання, прогнозування ймовірних пожеж на торфовищах, а також можливість безперервного поповнення масивів даних з оці-

нюваних об'єктів, що зумовлює його універсальність і пристосованість до конкретних умов оцінки стану пожежної безпеки досліджуваних територій. Це дасть змогу запобігти виникненню та поширенню пожеж на торфовищах, підвищити екологічну і протипожежну безпеку об'єктів і населених пунктів певного регіону.

Перспективи використання результатів досліджень. Інформацію щодо результатів застосування БпАК для контролю температурного режиму торфовищ можна використовувати під час планування наступного сеансу проведення контролю; під час внесення змін маршруту та параметрів траєкторії польоту; для нанесення результатів дешифрування температурного режиму торфовищ; під час планування відповідних профілактичних заходів і пропозицій щодо підвищення протипожежної безпеки торфовищ; для виявлення найбільш небезпечних ділянок торфовищ за температурним режимом; для виявлення ділянок торфовищ, де найбільш імовірно виникнення осередків тління торфу; для визначення місця розташування протипожежних розривів і видалення рослинного покриття; під час здійснення заходів щодо двостороннього регулювання водного режиму торф'яних полів; для прогнозу напрямів поширення пожежної небезпеки.

Застосування невійськових БпАК та аналітичних можливостей ГІС сприяє оперативному отриманню інформації про стан навколишнього природного середовища у визначеному районі у реальному часі, допомагає отримати більш точну інформацію, створити базу даних, представляти необхідні дані у найбільш повній та зручній для сприйняття формі; спрогнозувати той чи інший розвиток подій, знайти найкраще рішення щодо застосування можливостей підрозділів ДСНС під час гасіння торф'яних пожеж.

Література

1. Багмет А.П., Ковальчук С.В. Геоинформационное обеспечение мониторинга экосистем в районах разработки природных ресурсов. *Сучасні проблеми збалансованого природокористування* : зб. наук. праць. Спецвипуск: матеріали VII наук.-практ. конф., м. Кам'янець-Подільський, 27 листопада 2012 р. С. 117–118.
2. Климчик О.М., Ковальчук С.В. Можливості застосування безпілотних літальних апаратів для забезпечення екологічної безпеки регіону. *Наука. Освіта. Практика* : матеріали наук.-практ. конф., 12 жовтня 2017 р. Житомир, 2017. 368 с. С. 192–196.
3. Климчик О.М., Ковальчук С.В. Упередження пожежі на торф'яних полях. *Наука. Молодь. Екологія – 2018* : зб. мат-лів XIV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 17 травня 2018 р. Житомир, 2018. С. 190–195.
4. Коніщук В.В., Мельник Н.М. Пожежі на торф'яних полях і заходи їх упередження. *Біологічні дослідження* : зб. наук. пр. Житомир, 2018. С. 358–359.
5. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотною авіаційними комплексами державної авіації України : Наказ Міністра оборони України від 8 грудня 2016 р. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE29899.tml.
6. Потенціал добычи торфа в Україні. URL: <http://www.biowatt.com.ua/informatsiya/dobycha-torfa-v-ukraine>.
7. Програмное обеспечение для создания цифровых карт и планов *Digitals для Windows*, версия 5.0. Руководство оператора. ООО «Аналитика», Винница, 2015. URL: <https://vinmap.net/?act=ind>.
8. Стан та перспективи розвитку безпілотних літальних апаратів в Україні. URL: <http://www.docme.ru/doc/1513123/stan-ta-perspektivi-rozvitku-bezpilotnih-litalnih-aparatov>.
9. Тепловизор для дрона. Зачем нужны, принцип работы, подборка. URL: <http://mykvadrocopter.ru/teplovizor-dlya-drona>.
10. Трускавецький Р.С. Торфові ґрунти і торфовища України : монографія. Харків : Міськдрук, 2010. 278 с.
11. Харченко В.П., Прусов Д.Е. Аналіз застосування безпілотної авіаційних систем у цивільній сфері. *Вісник НАУ*. 2012. № 1. С. 118–130. URL: http://www.er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/22426/1/Kharchenko_Prusov.pdf.

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

Ляшенко О.М., Ложкін Р.С.

Херсонський національний технічний університет

Бериславське шосе, 4, 73008, м. Херсон

olenakntu@gmail.com, ruslanlozhkin@gmail.com

В останні десятиліття в Україні окреслилася стійка тенденція зростання числа НС. Джерелами НС є небезпечні природні явища, результатом впливу яких є зниження рівнів економічного, соціального та екологічного потенціалів країни. У цих умовах актуальним є розроблення інформаційної системи оперативного реагування на НС, головним призначенням якої є підвищення рівня знань про потенційну небезпеку об'єктів НС та поліпшення інформаційного обслуговування фахівців із ліквідації НС в режимах повсякденного функціонування, підвищеної готовності (у разі загрози виникнення НС) та надзвичайної ситуації (у разі виникнення НС та її ліквідації). В статті описано основні напрями роботи інформаційної системи, серед яких найбільш важливими є постійний моніторинг і прогнозування зони можливого поширення НС та масштабів можливих наслідків. Наведено структуру інформаційної системи, яка складається з п'яти взаємопов'язаних підсистем: підсистеми оперативного доступу, підсистеми ведення бази ситуаційних планів дій під час загрози, виникнення та ліквідації НС, підсистеми прогнозування (моделювання), сховища даних та інформаційно-довідкової підсистеми. Наведено структуру сховища даних інформаційної системи. Описано архітектуру програмного додатку в середовищі розроблення Borland Delphi. Для розв'язання науково-прикладної проблеми моделювання та розроблення інформаційної технології оперативного реагування на НС використано методологію об'єктно-орієнтованого проєктування програмних систем, методи інтелектуального аналізу даних, моделі та методи прийняття рішень. Використання запропонованих у роботі програмних засобів і технологій дасть змогу зменшити тривалість ліквідації НС завдяки використанню оперативної інформації про обстановку в зоні НС та мінімізувати ресурсні й матеріальні витрати завдяки своєчасному коректуванню й уточненню планів дій із ліквідації наслідків НС. *Ключові слова:* інформаційна система, надзвичайні ситуації, прогнозування, моніторинг.

Development of information technology for operational response to emergencies. Liashenko O., Lozhkin R.

In recent decades, Ukraine has seen a steady upward trend in the number of emergencies. Sources of emergencies are dangerous natural phenomena, the result of which is a decrease in the level of economic, social and environmental potentials of the country. Under these conditions, it is urgent to develop an information system for emergency response, the main purpose of which is to increase the level of knowledge about the potential danger of emergencies and to improve the information services of emergency response specialists in daily operation, high alert (in case of emergency) and emergency situations (in case of emergency and elimination of consequences). The paper describes the main directions of the information system, among which the most important is the constant monitoring and forecasting of the zone of possible spread of emergencies and the extent of possible consequences. The structure of the information system is presented, which consists of five interconnected subsystems: operational access subsystems, subsystems for maintaining a database of situational action plans for threats, emergencies and emergency response, forecasting subsystems (modeling), data warehousing and information and reference subsystems. The structure of the data warehouse information system. The software application architecture in the Borland Delphi development environment is described. To solve the scientific and applied problem of modeling and development of information technology for rapid response to emergencies, we used the methodology of object-oriented design of software systems, data mining methods, models and decision-making methods. Using the software and technologies proposed in this work will reduce the duration of emergency response due to the use of operational information about the situation in the emergency zone and minimize resource and material costs due to timely adjustment and refinement of emergency response plans. *Key words:* information system, emergencies, forecasting, monitoring.

Постановка проблеми. В останні десятиліття в Україні окреслилася стійка тенденція зростання числа надзвичайних ситуацій (далі – НС).

Джерелами НС є небезпечні природні явища, наслідком впливу яких є зниження рівнів економічного, соціального та екологічного потенціалів країни.

Отже, науково-прикладною проблемою дослідження є моделювання та розроблення інформаційної технології оперативного реагування на НС природного та техногенного характеру.

Застосування інформаційної технології дасть змогу підвищити рівень знань про потенційну небезпеку об'єктів НС та поліпшити інформаційне обслуговування фахівців під час ліквідації наслідків НС.

Актуальність дослідження. На території України можливе виникнення практично всього спектра небезпечних природних явищ і процесів геологічного, гідрогеологічного, метеорологічного, а також медико-біологічного походження, які є джерелами НС – масштабних процесів, що призводять до людських жертв, великих екологічних та економічних збитків.

У цих умовах актуальним є розроблення інформаційної технології оперативного реагування на НС, головним призначенням якої є отримання оперативної інформації про загрозу або виникнення НС, характеристики уражаючих факторів із метою визначення масштабів поширення і тяжкості наслідків від їхнього виникнення.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано відповідно до пріоритетних цілей, сформульованих у «Стратегії державної екологічної політики України на період до 2030 року». Також тема дослідження є складовою частиною науково-дослідних робіт (далі – НДР), що проводяться в Херсонському національному технічному університеті в межах держбюджетних НДР «Розроблення теоретичних та методологічних основ формування системи управління лісовими ресурсами регіону» (№ 0113U007939) та «Моделювання процесів координаційного керування та прийняття рішень в умовах виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру» (№ 0117U007290).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині найбільш активним напрямом досліджень є інформаційні технології, предметна галузь яких пов'язана саме з ліквідацією наслідків НС.

Аналіз робіт [1–4] показав, що досить широка аудиторія дослідників ставила перед собою завдання інформаційної підтримки під час ліквідації наслідків НС.

Зокрема, в роботі [1] запропоновано моделі сценаріїв управління ліквідацією НС, характерними особливостями яких є облік міжрівневих інформаційних зв'язків в ієрархічній структурі системи управління, а також облік зв'язків і взаємодії процесів розвитку небезпечних факторів НС і дій із їхньої ліквідації. Використання запропонованих моделей дає змогу оперативно прогнозувати сумарні втрати від НС з урахуванням обраного плану ліквідації. Також у роботі [1] запропоновано структуру і функціональний елементний склад системи, використання яких під час реалізації інформаційного забезпечення систем запобігання та ліквідації НС дає змогу підвищити оперативність і ефективність формування планів управління, розширити функціональні можливості учасників ліквідації в частині оцінки й оптимізації реалізованих сценаріїв управління.

У роботі [2] запропоновано модель СППР, що дає змогу координувати дії сил, засобів і відомств суміжних держав, що залучаються для ліквідації НС транскордонного характеру. Запропонована в роботі [2] технологія дала можливість об'єднати різноманітні ресурси, а також закласти основи для створення інтегрованих інформаційних СППР з управління аварійно-рятувальними роботами в разі виникнення НС та пожеж транскордонного характеру.

У роботі [3] предметом дослідження є процеси прийняття управлінських рішень під час ліквідації пожеж і НС з використанням багатоагентного підходу. Для вдосконалення прийняття рішень керівниками пожежно-рятувальних підрозділів у роботі запропоновано методи інтелектуального аналізу даних і механізми розподілу ресурсів. Також у роботі [3] запропоновано метод моделювання організаційної структури системи управління

пожежно-рятувальними підрозділами з використанням технології багатоагентних систем, що дає змогу з урахуванням наявних людських ресурсів і можливостей визначити, які саме люди повинні обійняти ті чи інші посади в структурі управління. В роботі також запропоновано схему узгодження рішення для організації взаємодії різних підрозділів під час ліквідації пожеж і НС.

У роботі [4] запропоновано технологію побудови ситуативної бази знань ІС підтримки прийняття рішень, сутність якої полягає у формалізації концептуальних знань про НС в ситуативній базі знань (далі – СБЗ). СБЗ заснована на взаємодії трьох моделей подання знань: у формі прецедентів, у формі правил і у формі об'єктних моделей процесу управління.

Основою технології розроблення СБЗ є запропонований автором об'єктно-орієнтований аналіз, у процесі якого відбувається формування понять предметної галузі й визначення відносин між ними на підставі об'єктно-орієнтованих моделей на мові UML.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття. Важливу роль у зниженні тяжкості наслідків від НС різного походження відіграє процес оперативного реагування.

Організація оперативного реагування на НС полягає в поетапному здійсненні організаційних і управлінських заходів від планування реагування на НС, інформування, переведення органів управління і сил у вищі ступені готовності, безпосереднього управління ними, організації взаємодії та всебічного забезпечення до забезпечення безпеки людей у зоні НС.

Отже, виникає необхідність у моделюванні та розробленні інформаційних технологій для розв'язання завдань оперативного реагування в умовах невідомості та неповноти інформації про параметри поширення НС, необхідні темпи ліквідації, необхідний обсяг ресурсів, а також рівень складності робіт із ліквідації НС.

Новизна. У дослідженні поставлено та вирішено науково-прикладну проблему моделювання та розроблення інформаційної технології оперативного реагування на НС.

Для вирішення поставленої науково-прикладної проблеми використано методологію об'єктно-орієнтованого проектування програмних систем, методи інтелектуального аналізу даних, моделі та методи прийняття рішень.

Методологічне або загальнонаукове значення. Запропоновані програмні засоби і технології забезпечать підвищення рівня знань про потенційну небезпеку об'єктів НС та поліпшать інформаційне обслуговування фахівців із ліквідації НС у режимах повсякденного функціонування, підвищеної готовності (у разі загрози виникнення НС) та надзвичайної ситуації (у разі виникнення НС та її ліквідації). Також використання інформаційної технології дасть

зможу зменшити тривалість ліквідації НС завдяки використанню оперативної інформації про обстановку в зоні НС та мінімізувати ресурсні та матеріальні витрати завдяки своєчасному коректуванню й уточненню планів дій із ліквідації наслідків НС.

Виклад основного матеріалу. Реагування на надзвичайні ситуації – це скоординовані дії щодо реалізації планів дій (аварійних планів), уточнених в умовах конкретного виду та рівня надзвичайної ситуації з метою надання невідкладної допомоги потерпілим, усунення загрози життю та здоров'ю людей.

Організація оперативного реагування на НС полягає в поетапному здійсненні організаційних і управлінських заходів від планування реагування на НС, інформування, переведення органів управ-

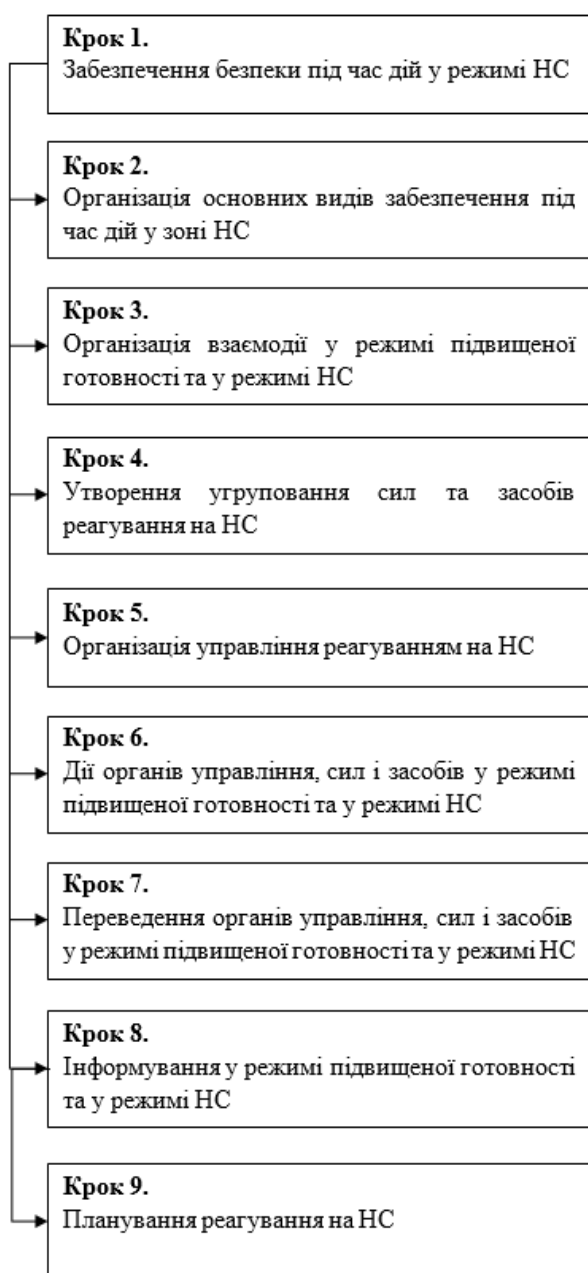


Рис. 1. Алгоритм оперативного реагування на НС

ління і сил у вищій ступені готовності, безпосереднього управління ними, організації взаємодії та всебічного забезпечення до забезпечення безпеки людей у зоні НС [5].

Алгоритм оперативного реагування на НС подано на рис. 1.

Здійснення інформаційної підтримки фахівців із ліквідації наслідків НС забезпечує інформаційна система оперативного реагування на НС. Структуру ІС подано на рис. 2.

Застосування системи спрямовано на підвищення рівня знань про потенційну небезпеку об'єктів НС та поліпшення інформаційного обслуговування під час ліквідації наслідків НС.

Головним призначенням інформаційної системи (далі – ІС) є отримання оперативної інформації про загрозу або виникнення НС, характеристики уражаючих факторів із метою визначення масштабів поширення і тяжкості наслідків від їхнього виникнення.

Отже, основними напрямками роботи ІС є такі:

- визначення зони надзвичайної ситуації;
- здійснення постійного прогнозування зони можливого поширення надзвичайної ситуації та масштабів можливих наслідків;
- розроблення ситуаційних планів дій в умовах виникнення НС;
- уточнення (у разі потреби) планів реагування на надзвичайні ситуації, здійснення заходів щодо запобігання їхньому виникненню;
- організація робіт із локалізації та ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, залучення для цього необхідних сил і засобів;
- уточнення (у разі потреби) планів та організація і здійснення заходів щодо життєзабезпечення постраждалого населення;
- уточнення (у разі потреби) планів та організація і здійснення радіаційного, хімічного, біологічного, інженерного та медичного захисту населення і території від наслідків надзвичайної ситуації;
- здійснення безперервного контролю за розвитком надзвичайної ситуації та обстановкою на аварійних об'єктах і прилеглих до них територіях.

ІС складається з п'яти взаємопов'язаних підсистем: підсистеми оперативного доступу, підсистеми ведення бази ситуаційних планів дій у разі загрози, виникнення та ліквідації НС, підсистеми прогнозування (моделювання), СД та інформаційно-довідкової підсистеми.

Підсистему оперативного доступу призначено для вибору режиму роботи ІС. Залежно від масштабу й особливостей НС, що прогнозується або виникла в межах конкретної території, встановлюється один із таких режимів функціонування ІС:

- повсякденного функціонування;
- підвищеної готовності (у разі загрози виникнення НС);
- надзвичайної ситуації (у разі виникнення НС та її ліквідації).

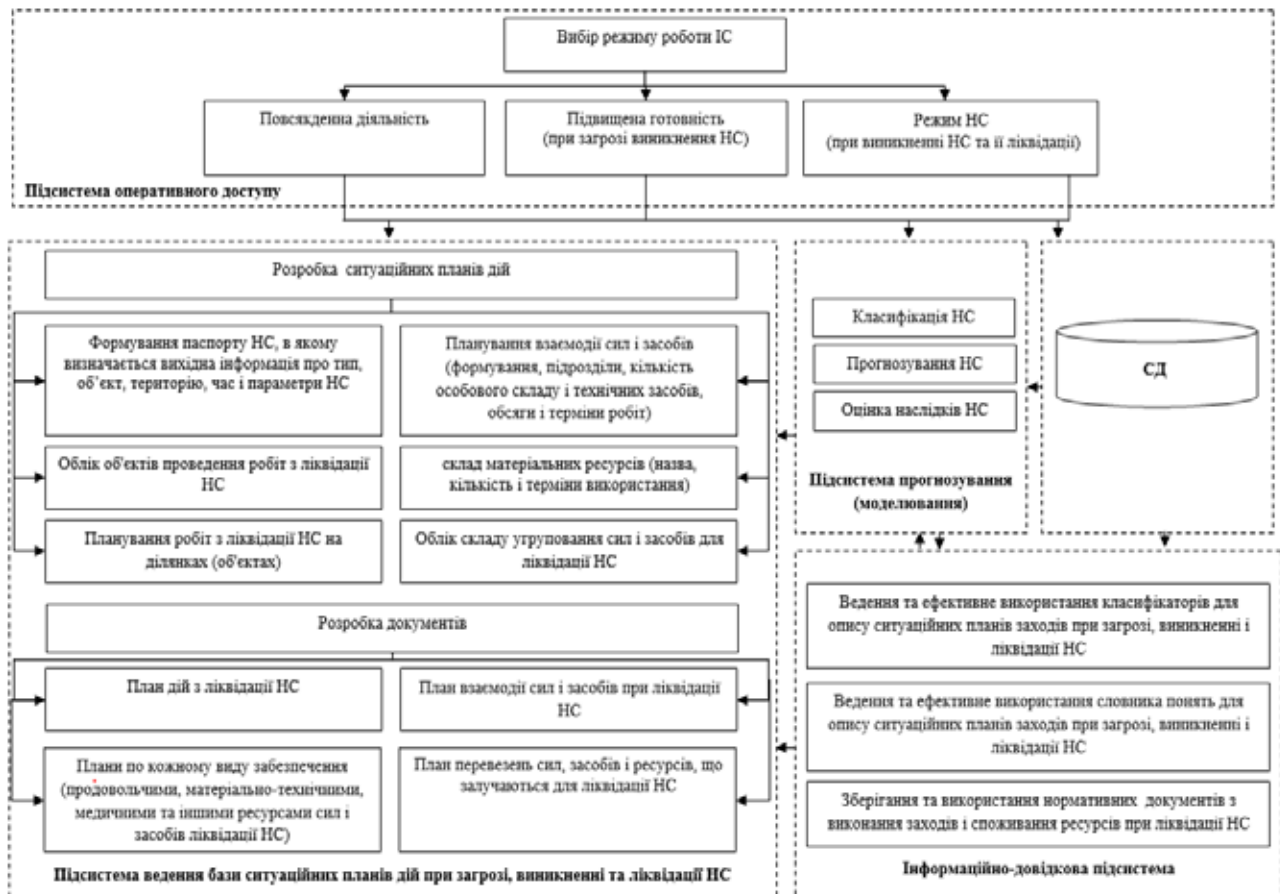


Рис. 2. Структура ІС

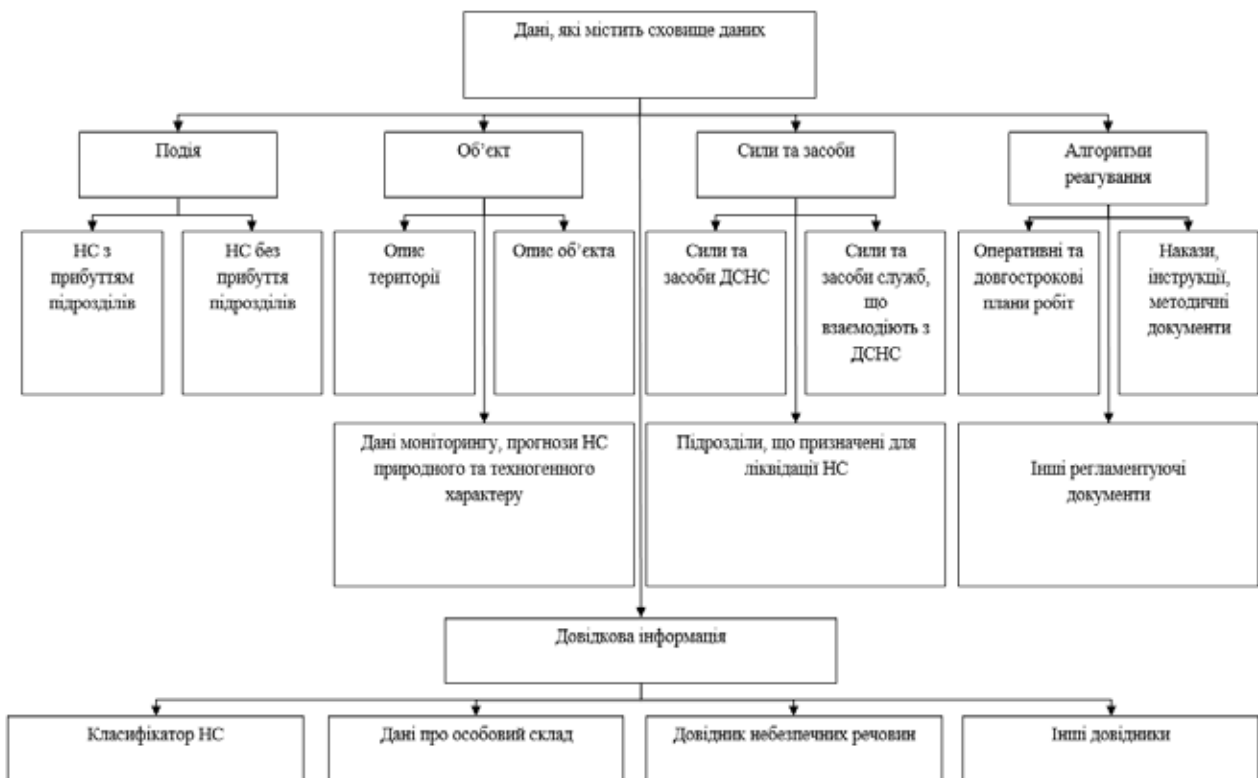


Рис. 3. Структура даних сховища даних ІС

Підсистему ведення бази ситуаційних планів дій у разі загрози виникнення та ліквідації НС призначено для розроблення ситуаційних планів дій і документів, що необхідні для успішної реалізації цих планів.

Підсистему прогнозування (моделювання) призначено для здійснення прогнозування масштабів і наслідків НС.

Основою ІС є сховище даних (далі – СД). СД – це особлива форма організації бази даних (далі – БД), що призначена для зберігання в погодженому вигляді агрегованої інформації, яка отримується з різних систем і зовнішніх джерел.

СД характеризуються предметною орієнтацією, інтегрованістю, підтримкою хронології, незмінністю і мінімальною надлишковістю [6].

Предметна орієнтація. Дані в СД організовані відповідно до основних напрямів діяльності фахівців із ліквідації наслідків НС. У цьому полягає відмінність СД від організації оперативної БД, в якій дані подаються відповідно до процесів. Предметна організація даних не лише спрощує аналіз, а й значно прискорює проведення аналітичних розрахунків.

Інтегрованість. Первинні дані оперативних БД перевіряються, певним чином заповнюються, приводяться до одного вигляду, необхідною мірою агрегуються (тобто розраховуються їхні сумарні показники) і завантажуються в СД. Такі інтегровані дані набагато простіше аналізувати.

Підтримка хронології. Дані, які вибираються з оперативних БД, нагромаджуються в СД у вигляді «історичних пластів», кожен із яких характеризує певний період часу. Це дає змогу проводити аналіз зміни показників у часі.

Незмінність. Дані СД, що характеризують кожен «історичний пласт», в жодному разі не підлягають зміні. Це теж є суттєвою відмінністю даних, що зберігаються у СД, від оперативних даних. Оперативні дані можуть дуже часто змінюватися, а до даних сховища можна застосувати лише операції їхнього первинного завантаження, пошуку та зчитування.

Мінімальна надлишковість. Незважаючи на те, що інформація в СД завантажується з БД, це не призводить до надлишковості даних. Зведення до мінімуму надлишковості даних забезпечується тим, що, перш ніж завантажувати дані до сховища, їх фільтрують і певним чином очищають від таких даних, які не потрібні і не можуть бути використані в системах.

Отже, основа СД – це дані, які зберігаються в ньому і які є ключем для реалізації процесу координаційного управління в умовах виникнення НС. Тому до даних у СД висуваються такі вимоги: достовірність, повнота, несуперечливість, ненадлишковість, актуальність, цілісність, надіндексованість, денормалізованість.

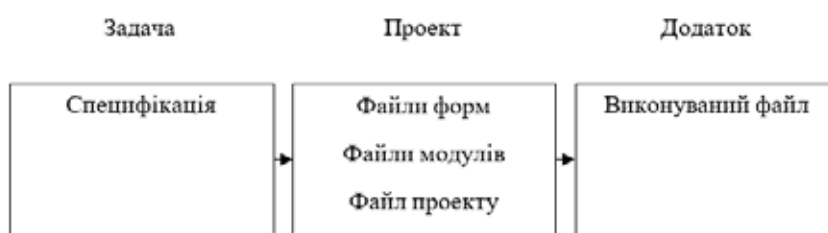


Рис. 4. Процес створення програмного додатка в середовищі Borland Delphi

Індекси використовуються для швидкого доступу до даних і є критичними для виконання запитів, що обробляються в СД.

Сховище даних містить свідомо надлишкову інформацію (тобто містить архіви та історичні дані). Денормалізація сприяє швидкому виконанню запитів. Процес нормалізації використовується для групування атрибутів спеціальними засобами, для мінімізації збитковості і функціональної залежності даних. Для СД цей процес має суб'єктивний характер, оскільки висока нормалізація даних уповільнює виконання запитів.

Структуру даних сховища даних ІС оперативного реагування на НС наведено на рис. 3.

Для програмної реалізації ІС було обране середовище розроблення програмних додатків Borland Delphi.

Програмний додаток складається з багатьох елементів: форм, програмних модулів, зовнішніх бібліотек, картинок, піктограм та іншого. Кожен елемент розміщується в окремому файлі і має строго певне призначення. Набір усіх файлів, необхідних для створення програмного додатка, називається проектом.

Компілятор послідовно обробляє файли проекту та будує з них виконуваний файл. Основні файли проекту можна розділити на кілька типів:

1. Файли опису форм – текстові файли з розширенням DFM, що описують форми з компонентами. У цих файлах запам'ятовуються початкові значення властивостей, що встановлені у вікні властивостей.

2. Файли програмних модулів – текстові файли з розширенням PAS, що містять вихідні програмні коди на мові Delphi. У цих файлах описано методи обробки подій, що генеруються формами і компонентами.

3. Головний файл проекту – текстовий файл із розширенням DPR, що містить головний програмний блок. Файл проекту підключає всі використовувані програмні модулі і містить оператори для запуску програми. Цей файл програмне середовище Borland Delphi створює і контролює самостійно.

На підставі сказаного вище можна представити процес створення програмного додатка в середовищі Borland Delphi від постановки завдання до отримання готового виконаного файлу (рис. 4).

Крім основних файлів проекту, є низка додаткових файлів:

1. Файл із розширенням ФО (Delphi Опції файлу), де зберігаються задані розробником параметри компіляції і збірки проекту.

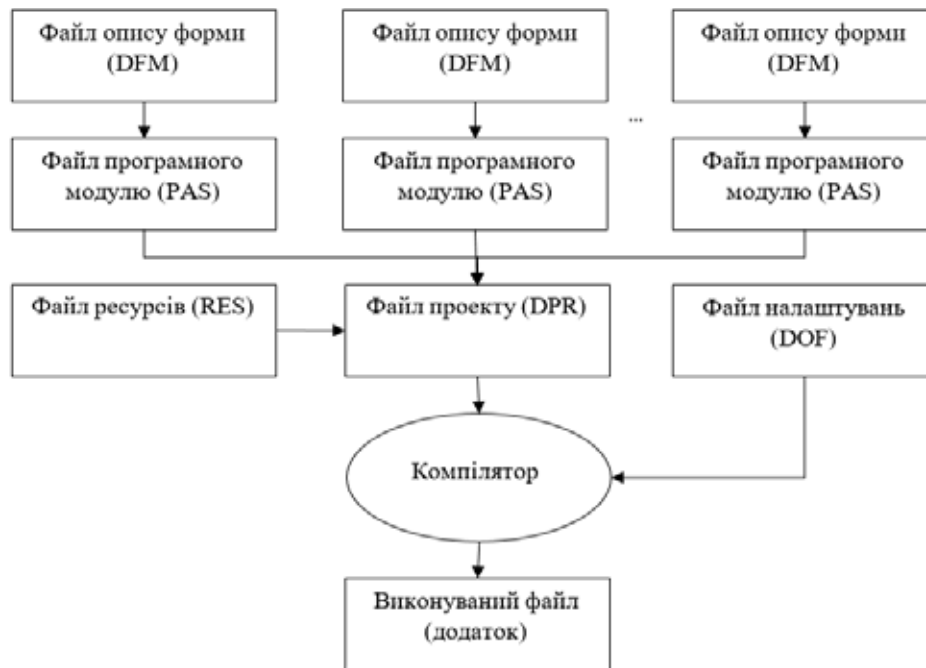


Рис. 5. Склад проекту в середовищі Borland Delphi

2. Файл із розширенням DSK (Desktop), де зберігаються налаштування середовища Borland Delphi для цього проекту. Щоб середовище Borland Delphi зберігало свої налаштування в DSK-файлі, необхідно вибрати команду «Інструменти → Налаштування оточення» і в діалоговому вікні «Параметри навко-

лишнього середовища» на вкладці «Налаштування» в групі «Налаштування» автозберігання зазначити пункт «Project Desktop».

3. Файл із розширенням CFG (Конфігурація), де зберігаються налаштування для консольного варіанта компілятора.

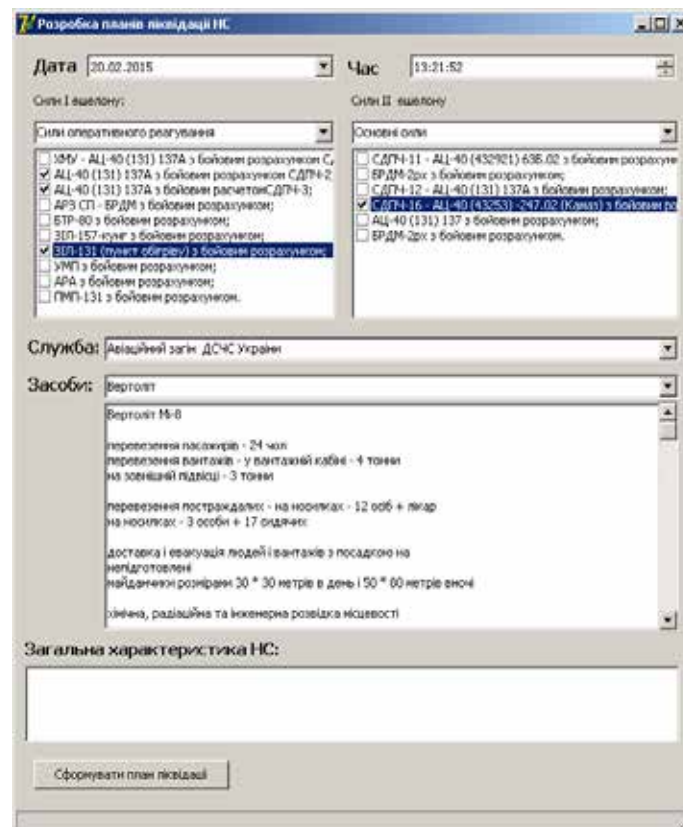


Рис. 6. Розроблення планів ліквідації НС

4. Файл із розширенням DCI (Delphi CodeInsight), де середовище Borland Delphi зберігає налаштування для програмного «суфлера» (CodeInsight).

5. Файл із розширенням DCT (Delphi Компонент Шаблони), де зберігаються заготовки компонентів.

6. Файл із розширенням DMT (Delphi Шаблони меню), де зберігаються заготовки меню.

7. Файл із розширенням DRO, де зберігаються налаштування і додатки до сховища компонентів.

8. Файл із розширенням TODO – записник для зберігання завдань на розроблення і коротких приміток.

9. Файл із розширенням DDP (Delphi Схема Портфоліо), де зберігаються графічні схеми, що наочно пояснюють взаємозв'язки між компонентами.

10. Файл ресурсів із розширенням RES (ресурси). У ньому, наприклад, зберігається значок програми, який відображається на панелі завдань. У проєкт можуть входити також логічно автономні елементи: точкові рисунки (BMP-файли), значки (ICO-файли), файли довідки (HLP-файли) тощо, проте ними керує сам розробник.

На рис. 5 наведено склад проєкту в середовищі розроблення Borland Delphi.

Приклад екранної форми програмного додатка наведено на рис. 6.

Головні висновки. Розроблено ІС оперативного реагування на НС, головним призначенням якої є підвищення рівня знань про потенційну небезпеку об'єктів НС та поліпшення інформаційного обслуговування фахівців із ліквідації НС у режимах повсякденного функціонування, підвищеної готовності (у разі загрози виникнення НС) та надзвичайної ситуації (у разі виникнення НС та її ліквідації).

Наведено структуру та опис основних підсистем ІС: підсистеми оперативного доступу, підсистеми ведення бази ситуаційних планів дій у разі загрози виникнення та ліквідації НС, підсистеми прогнозування (моделювання), СД та інформаційно-довідкової підсистеми.

Описано архітектуру програмного додатка в середовищі розроблення Borland Delphi.

Література

1. Kulikov A. Informational decision support on the basis of management scenarios modeling in the course of eliminating of technogenic emergencies. *PhD Thesis*. Ufa : Ufa State Aviation Technical University, 2002. P. 150.
2. Berdashev B. Model of adaptive management system of information of disaster management of cross-border nature. *PhD Thesis*. Moscow : Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2014. P. 155.
3. Semenov A. Improvement of fire-rescue control system of units at eliminating of large fires and emergencies. *PhD Thesis*. Moscow : Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2006. P. 161.
4. Андрощук О.С. Ситуаційна база знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в управлінні органами охорони державного кордону. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*. 2008. Вип. 3 (18). С. 171–174.
5. Гузенко В.А., Камардаш О.І., Неклонський І.М., Самарін В.О. Організація та управління ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій : конспект лекцій. Харків : НУЦЗУ, 2014. 163 с.
6. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. Санкт-Петербург : БХВ. Петербург, 2004. 336 с.

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ МІНІЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА ДАХАХ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ СПАЛЬНОГО РАЙОНУ М. МИКОЛАЄВА

Патрушева Л.І., Венгер Н.О.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, 54003, м. Миколаїв
lpatruseva2@gmail.com, pulashkin09@gmail.com

Стаття присвячена актуальному питанню використання альтернативних джерел енергії. Автори приділяють увагу сонячній енергетиці, тому що вона має найкращі перспективи розвитку на Півдні України. У статті авторами проведено аналіз придатності поверхонь плоских дахів багатоповерхових будинків, компактно розміщених у межах спального району, для розташування сонячної мініелектростанції. Авторами розроблено рекомендації щодо проведення інвентаризації корисної площі дахів багатоквартирних будинків, придатних для розміщення сонячної електростанції, на основі загальнодоступних космічних знімків із використанням картометричних способів. Роботу з вивчення потенційної можливості розміщення сонячних панелей на дахах багатоповерхівок цілого мікрорайону для нашого міста проведено вперше. Авторами представлено критерії та надано класифікацію дахів. Критеріями поділу всіх будинків на окремі групи визначено такі: експозицію будинку або оберненість щодо сторін горизонту; наявність під'їздних надбудов; наявність вентиляційних споруд; довжину осьової лінії; кількість під'їздів. За результатами аналізу сформовано 8 однотипних груп будинків для спрощення процедури інвентаризації дахів. Зроблено оцінку площ дахів, придатних для розташування сонячних панелей, та запропоновано оптимальну схему їхнього розміщення. В результаті роботи автори сформулювали такі висновки: 1. Будинки розташовані без врахування пріоритетної характеристики, за сторонами світу. Для розміщення сонячних панелей оптимальною є південна експозиція, яка дасть змогу отримати максимальну кількість сонячної енергії. 2. На наявних будинках корисна поверхня придатна для розташування сонячних панелей становить близько 60–70 %, оскільки на дахах є під'їзні надбудови та вентиляційні споруди. 3. Загальна кількість панелей, які можна встановити на плоских дахах багатоповерхових будинків дослідженого мікрорайону, становить 11 040 штук. Номінальна сумарна потужність усіх панелей, які можна розмістити на дахах становить 3 091 200 Вт. *Ключові слова:* спальний район, дахи багатоповерхових будинків, сонячна енергія, мініелектростанція, генерована електроенергія.

Assessment of the possibility of location of mini power plant on the roofs of multistorey buildings of the microdistrict Mykolayev city. Patrusheva L., Venher N.

The article deals with the pressing issue of using alternative energy sources. The authors pay attention to solar energy because it has the best prospects for development in southern Ukraine. The authors of the article analyze the suitability of flat roofs of multi-storey buildings compactly located, within the residential area, for the location of a solar mini power plant. The authors have developed recommendations for inventorying the usable roof area of apartment buildings suitable for solar power plant placement, based on publicly available space imagery using cartometric methods. The work on the study of the potential of solar panels on the roofs of multi-storey buildings of the whole sleeping area, for our city, was carried out for the first time. The authors presented the criteria and provided a classification of roofs. The criteria for dividing all the houses into separate groups are determined: the exposure of the house or the inversion relative to the sides of the horizon; presence of access superstructures; availability of ventilation structures; the length of the centerline; number of entrances. According to the results of the analysis, 8 homogeneous groups of houses were formed to simplify the roof inventory procedure. The roof areas suitable for the location of solar panels have been evaluated and the optimal layout for their placement has been proposed. As a result of the work, the authors formulated the following conclusions: 1. The houses are located without taking into account the southern exposure. For solar panels placement, the southern orientation is optimal, which will allow you to get the maximum amount of solar energy. 2. On existing homes, the usable surface for solar panels is about 60–70 %, since the roofs have access aisles and ventilation structures. 3. The total number of panels that can be installed on the flat roofs of multi-storey buildings of the studied residential area is 11 040 pieces. The rated total power of all panels that can be placed on the roof is 3 091 200 wt. *Key words:* sleeping area, roofs of multi-storey buildings, solar energy, mini power plant, electricity generated.

Постановка проблеми. Обмеженість запасів енергоресурсів і нерівномірний перерозподіл, їхня вартість і складність у транспортуванні, сучасні геополітичні події і катастрофічні зміни клімату змусили людство на сучасному етапі розвитку шукати дешеві, невичерпні та легкодоступні джерела енергії. Вони є альтернативними до вуглеводнів, які традиційно використовувало людство багато століть поспіль. Тим більше, що потреби господарства в цьому виді енергії щороку поступово зростають. Такими енергоресурсами є сонячна радіація, енергія

вітру, внутрішня енергія Землі тощо. Ці різні за походженням і характером дії види енергії за допомогою спеціальних пристроїв перетворюються на електроенергію, потрібну в господарстві.

Актуальність дослідження. Питання використання альтернативної енергії є особливо актуальним для України. На сучасному етапі нам потрібно шукати нові джерела енергії, оскільки: ми не маємо достатньої кількості викопних ресурсів для повного забезпечення власних потреб, а період експлуатації реакторів атомних станцій підходить до

завершення. Україна робить важливі кроки для розширення використання відновлюваних джерел енергії (далі – ВДЕ) та альтернативних видів палива в межах своєї більш широкої стратегії щодо зниження залежності від традиційних викопних видів палива. Підраховано, що наша країна має потенціал, щоб до 2030 року вдсятеро збільшити використання відновлюваної енергії та на 15 % скоротити споживання природного газу [1].

Одним із видів відновлюваних енергоресурсів є сонячна радіація. Вона є одним із найперспективніших і динамічних ВДЕ. Її використання є найбільш вигідним у тому регіоні, де її показник є досить високий, тобто на півдні країни. Розміщення сонячних панелей на дахах багатоповерхових будинків є раціональною ідеєю, яка активно впроваджується в західноєвропейських країнах, проте в Україні вона не має масового поширення. Тому ми вирішили присвятити своє дослідження аналізу можливостей використання для цього плоских дахів багатоповерхівок у місці їхнього компактного розташування.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Стратегічний європейський курс і намагання переходу до сталого розвитку формують нові сучасні виклики для України. Одним з основних є потреба в покращенні енергетичної безпеки. Це можливо лише за умов використання власних відновлюваних енергетичних ресурсів. Наша країна взяла на себе зобов'язання дотримуватися всіх нормативних вимог щодо виробництва електроенергії, створених на основі міжнародного та вітчизняного законодавства [2–4].

Основними законами, що регулюють праввідносини в галузі альтернативної енергетики, є Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо стимулювання заходів з енергозбереження», прийнятий Верховною Радою України (ВРУ) у 2012 році [4]. Питання можливості виробництва електроенергії окремими домогосподарствами врегульовує Закон України «Про альтернативні джерела енергії щодо врегулювання питання генерації електричної енергії приватними домогосподарствами» за 2019 рік [2]. Механізм продажу виробленої енергії представлений у Законі України «Про ринок електричної енергії» 2019 року [3] та в Постанові НКРЕКП «Про затвердження Змін до Порядку встановлення, перегляду та припинення дії “зеленого” тарифу на електричну енергію для суб'єктів господарської діяльності, споживачів електричної енергії, у тому числі енергетичних кооперативів, та приватних домогосподарств, генеруючі установки яких виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії» [5].

Експерти зазначають, що нововведення створило додаткові стимули для інвестицій у сектор відновлюваної енергетики України, в сегменти сонячної та вітрової енергії протягом останніх років і перебуває в процесі швидкого розвитку [6].

Проте представники компаній, що працюють на українському ринку альтернативної енергетики, зазначають, що чинне законодавство є недосконалим і потребує значних змін та уточнень. Європейський і світовий досвід мають допомогти Україні стати на правильний шлях до повної енергетичної незалежності та високих екологічних стандартів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У 2018 році зросло використання поновлюваних джерел енергії у світі на понад 4 %. У галузі електроенергії частка «чистих» джерел зросла на 45 % [7]. Перехід на поновлювані джерела енергії вкрай важливий, адже дає змогу скоротити частку викопного палива, використання якого призводить до збільшення викидів парникових газів. Як відомо, концентрація вуглецю в атмосфері викликає глобальне потепління, яке призводить до змін клімату.

Пошук шляхів виходу від енергозалежності та розуміння небезпеки планетарного масштабу, пов'язаної з кліматом, змушують учених ретельно досліджувати цю проблему. Сучасні та майбутні аспекти розвитку альтернативної енергетики у світі та Україні представлено в роботах Г. Гелетухи, В. Геєця, М. Бенменні, М. Кузнєцова, В. Хілько, Б. Герасимчука, С. Сівцької, В. Филенка та інших. Відновлювані джерела енергії для багатьох розвинених країн світу вже перестали бути альтернативними. Україна ж володіє чималим потенціалом розвитку альтернативної енергетики, який досі не використовують належним чином. Темпи її розвитку істотно відстають від провідних країн із розвиненими ринковими економіками, що й зумовлює актуальність подальших досліджень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Розвиток альтернативної енергетики в Миколаєві є надто повільним. Встановленням сонячних панелей на дахах приватних будівель опікуються лише їхні власники. Своєю роботою ми намагаємося продемонструвати можливість використовувати вільні площі багатоквартирних будинків – об'єктів колективної власності. У розробленому та представленому наприкінці 2019 року Генеральному плані міста подібні пропозиції відсутні.

Новизна. Роботу з вивчення потенційної можливості розміщення сонячних панелей на дахах багатоповерхівок цілого мікрорайону для нашого міста проведено вперше.

Методологічне або загальнонаукове значення. В роботі представлено рекомендації щодо проведення інвентаризації корисної площі дахів багатоквартирних будинків, придатних для розміщення сонячної електростанції, на основі загальнодоступних космічних знімків.

Виклад основного матеріалу. Миколаївська область має найвищий потенціал для розвитку сонячної енергетики у зв'язку з південним розташуванням і континентальністю клімату, що впливає на

Показник сонячної інсоляції у м. Миколаєві

	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04

кількість прямої сонячної радіації, яка надходить до земної поверхні. Головним показником, що характеризує сонячну активність як енергетичний ресурс, є сонячна інсоляція – це світлове та ультрафіолетове опромінення прямими сонячними променями приміщень і територій. Просторовий перерозподіл сонячної інсоляції на території України коливається в межах від 1600 МДж/м² на північному заході до 2400 МДж/м² на півдні. Оскільки Миколаївська область розташована в південній частині країни,

саме тут один із найбільших показників сонячної інсоляції. А відповідно, є найбільший потенціал для розвитку сонячної енергетики.

Річний розподіл інсоляції для Миколаєва представлено в таблиці 1. За величиною цих показників Миколаївська область посідає 2–3 місце порівняно з іншими областями.

Для власних досліджень ми обрали спальний мікрорайон із компактним розташуванням багатоповерхівок.

Намив – мікрорайон Миколаєва, частина Заводського району. Розташований на заході міста (рис. 1). Його будівництво розпочалося у 1980-ті роки. У мікрорайоні Намив мешкає близько 30 000 жителів.

У роботі проаналізовано будинки з рівним дахом. Вимірювання проводилися на космічних знімках Google Maps із використанням картометричних прийомів.

Нами розглянуто особливості розташування майданчиків на дахах відповідно до напрямку падіння сонячних променів. Щоб отримати максимальну кількість енергії, кут падіння сонячних променів на поверхню панелі має бути максимально можливим, тобто вона повинна мати південну експозицію. Тому всі осові лінії мають південний напрямок незалежно від орієнтування будинку.

Обчислення кількості сонячних панелей відбувалось із врахуванням затіненості поверхні даху будівлями ліфтових і витяжних шахт (рис. 2).

Для зручності ми згрупували всі багатоповерхові будинки, розташовані в межах досліджуваної території.

Критеріями їх об'єднання стали такі:

– експозиція або оберненість щодо сторін горизонту;

– наявність під'їздних надбудов – на всіх будинках наявні під'їзні надбудови висотою 2 м. Вони дають тінь 4 м. Тому під час монтажу панелей ми це враховуємо. Їхня довжина варіюється від 8 до 10 м, ширина становить 5–7 м. Кількість надбудов відповідає кількості під'їздів у будинку;

– наявність вентиляційних споруд – на будинках виявлено як вентиляційні шахти, так і вентиляційні дефлектори. Але вони наявні не на всіх дахах. Витяжні шахти розміщені біля під'їздної надбудови, а от витяжні дефлектори можуть бути розміщені як біля надбудов, так і окремо на даху. Вентиляційна шахта має висоту 0,5 м, витяжний дефлектор – 0,34 м;

– довжина осової лінії впливає на кількість рядів на будинку;

– кількість під'їздів.

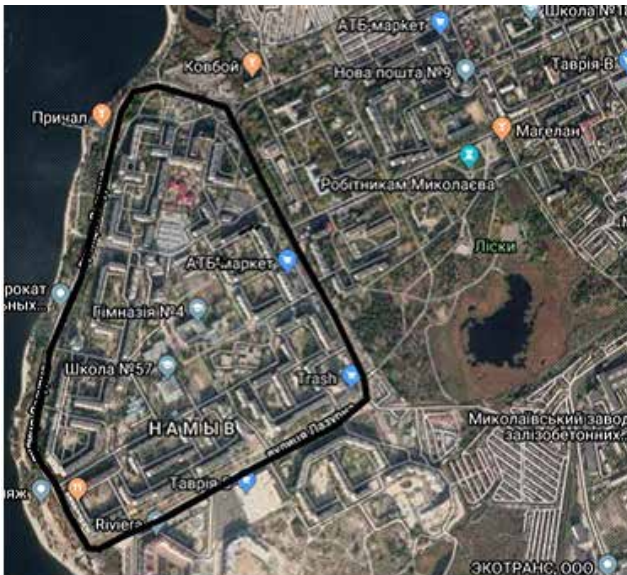


Рис. 1. Розташування мікрорайону Намив

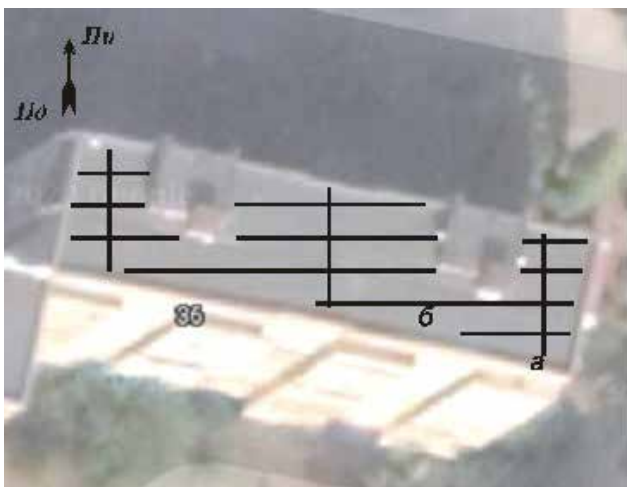


Рис. 2. Схема проведення вимірів на даху одного з будинків:
а – осова лінія, що визначає південну експозицію;
б – ряди сонячних панелей

За результатами аналізу всіх дахів із врахуванням вищенаведених критеріїв нами сформовано 8 однотипних груп, що дало змогу промірювати лише один будинок із групи і переносити отримані параметри на всі інші будинки. Отже, процедуру інвентаризації корисної поверхні дахів було значно спрощено.

Отримавши інформацію про метричні характеристики дахів ми провели розрахунок кількості панелей котрі можна там встановити. Для цього нам також потрібні були наступні характеристики: розмір панелей та відстань між рядами. Враховуючи різноманіття сучасних сонячних панелей котрі представлені в Україні, ми розглядали варіант встановлення монокристалічних сонячних панелей розміром 2м*1.05 м. Оптимальним кутом нахилу для панелей у нашому регіоні є кут 40° [8], тому відстань між рядами з панелями, щоб не було затінення, має становити 4 м. Під час обчислення кількості панелей в одному ряді ми виключали елементи, які дають тінь і які порушують суцільний ряд.

Кількість панелей, які можна розташувати на будинках, коливається в діапазоні від 29 шт. (2 під'їзди, західна експозиція) до 511 шт. (6 під'їздів, південна експозиція). Загальна кількість панелей, які можна встановити на плоских дахах багатопверхових будинків дослідженого мікрорайону, становить 11 040 штук.

Ми розраховували номінальну сумарну потужність усіх панелей, які можна розмістити на дахах з урахуванням номінальної потужності однієї панелі 280 Вт. Вона становить 3 091 200 Вт.

Головні висновки. Минула забудова мікрорайону Намив багатопверховими будинками з плоскими дахами відбувалась близько 30–40 років тому. Вона не передбачала цілеспрямованого загального використання поверхонь дахів, тому будинки розташовані без врахування пріоритетної характеристики, що найвідчутніше впливає на кількість отриманої енергії, це є орієнтування за сторонами світу.

Для розміщення сонячних панелей оптимальною є південна експозиція, яка дасть можливість отримати максимальну кількість сонячної енергії.

На наявних будинках корисна поверхня придатна для розташування сонячних панелей становить близько 60–70 %, оскільки на дахах є під'їзди надбудови та вентиляційні споруди, які займають місце, а також дають тінь, що теж впливає на кількість панелей, що можна там розмістити. Усе залежить від кількості під'їздів і конфігурації надбудов.

Загальна кількість панелей, які можна встановити на плоских дахах багатопверхових будинків дослідженого мікрорайону, становить 11 040 штук. Номінальна сумарна потужність усіх панелей, які можна розмістити на дахах з урахуванням номінальної потужності однієї панелі 280 Вт, становить 3 091 200 Вт.

Перспективи використання результатів дослідження. У результаті проведених досліджень було сформульовано рекомендації для міської влади, якими доцільно скористатися під час планування міської забудови.

У майбутньому бажано враховувати особливості експозиції будинків для подальшого використання їхніх дахів під час встановлення сонячних панелей із метою отримання найбільшої потенційно можливої кількості електроенергії.

На дахах багатопверхових будинків бажано всі під'їзди надбудови розташовувати компактно, по можливості, щоб вони не заважали розміщенню сонячних панелей.

Оскільки цей напрям розвитку електроенергетики є перспективним для міської ради, бажано було б провести облік дахів багатопверхівок для розташування подібних електростанцій по всій території міста Миколаєва і розрахувати економічний ефект від їхнього розташування та використання.

Література

1. Сонячна енергетика в Україні. *Avenston*. 2019. URL: <https://avenston.com/articles/solar>.
2. Закон України «Про альтернативні джерела енергії щодо врегулювання питання генерації електричної енергії приватними домогосподарствами». *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2019. № 32. Ст. 126. 2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-19>.
3. Закон України «Про ринок електричної енергії». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2020. № 11. Ст. 64. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
4. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо стимулювання заходів з енергозбереження». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2012. № 44–45, № 46–47, № 48. Ст. 552. 2012. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/760-16>.
5. Про затвердження Змін до Порядку встановлення, перегляду та припинення дії «зеленого» тарифу на електричну енергію для суб'єктів господарської діяльності, споживачів електричної енергії, у тому числі енергетичних кооперативів, та приватних домогосподарств. *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*. Постанова № 158. 2020. URL: <https://www.nerc.gov.ua/index.php?id=48713>.
6. Сонячні електростанції встановлять на багатопверхівках – проект Міненерго. *Na chasi*. 2018. URL: <https://nachasi.com/2018/09/04/minenerho-proponuye-vstanovlyuvaty-ses-na-dakhakh-bahatopoverkhivok>.
7. Гутерреш А. Общемировые тенденции и перспективы в области сырьевых товаров. *Организация Объединенных Наций*. 2019. URL: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/a74d232_ru.pdf.
8. Куц Т. Від чого залежить ефективність сонячних установок? *Енергія природи*. 2019. URL: <https://alternative-energy.com.ua/uk/vid-chogo-zalezhit-efektivnist-sonyachnih-ustanovok>.

ПЕРСПЕКТИВИ ОТРИМАННЯ БІОЕЛЕКТРИКИ В ПАРКОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ МІСТ

Русин І.Б.¹, Медведєв О.В.², Патлатюк О.Ю.¹

¹Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів
gib7@i.ua; mov2@ukr.net

²Філія Науково-дослідного інституту автомобілебудування «Еталон»
вул. Городоцька, 174, 79022, м. Львів

Представлено результати дослідження біоелектричного потенціалу, який генерують рослинно-мікробні угруповання міських паркових та лісопаркових екосистем. Моніторинг біоелектрики проводили *in situ* в паркових та лісопаркових зонах міста Львова із трав'яним покривом довкола дерев або з інтенсивно розвинутим нижнім ярусом у вигляді паростків молодих дерев та шару опалого листя довкола дерев, а також у паркових зонах з інтенсивним антропогенним навантаженням з відсутнім рослинним покривом довкола. Виявлено високі значення середнього біоелектричного потенціалу в лісопарках і парках міста, 1076.7 мВ і 1041.8 мВ, відповідно. У занедбаних паркових екосистемах із високим ступенем витоптування та переущільненим ґрунтом значення біоелектричного потенціалу не високі та складали в середньому 861.2 мВ. Виявлено ефект зниження біоелектричного потенціалу рослинно-мікробної асоціації в міру віддалення від стовбура поодиноким ростучим деревом без супутнього трав'яного покриву чи листяного опаду. Зміни біоелектричного потенціалу є незначними з віддаленістю від стовбура дерева в густих насадженнях дерев із молодими паростками дерев та листяним опадом через формування майже безперервних оптимальних зон розвитку електрико-генеруючих мікроорганізмів завдяки секреції органічних продуктів фотосинтезу коренями паростків і віддаленими кореневими системами сусідніх дерев та продуктами розпаду органічного опаду. Стабільні протягом весняно-осіннього періоду значення біоелектрики рослинно-мікробних асоціацій ґрунту паркових та лісопаркових екосистем, що займають істотну частку від загальної площі міста і невеликою мірою залежні від зниження вологості розкривають перспективи використання їх як відновлювального джерела енергії. Подальша розробка електробіотехнології відкриває можливості екосистем урбанізованих територій паркових та лісопаркових зон міст як джерела зеленої енергії. *Ключові слова:* парки, лісопарки, біоелектрика, відновлювальна енергія.

Prospects of obtaining bioelectricity in urban parks. Rusyn I., Medvedev O., Patlatyuk O.

The article presents the results of the study of bioelectric potential generated by plant-microbial associations of ecosystems of urban parks and forest park zones. Bioelectricity monitoring was carried out *in situ* in park and forest areas of the city of Lviv with grass cover around trees or with intensively developed lower tier of sprouts of young trees and a layer of fallen leaves around trees, as well as in park areas with intensive anthropogenic loading without grass cover around. High values of the average bioelectric potential, 1076.7 mV and 1041.8 mV, were revealed in forest parks and city parks, respectively. In abandoned parklands with a high degree of trampling and over-compacted soil the bioelectric potential values were not high and averaged 861.2 mV. The effect of reducing the bioelectric potential of the plant-microbial association as the distance from the single-growing tree trunk without accompanying grass cover or leaf fall was detected. Changes in the bioelectric potential are insignificant with the distance from the tree trunk in dense tree plantations with young tree sprouts and deciduous litter through the formation of almost continuous optimal zones for the development of electro-generating microorganisms due to the secretion of organic photosynthesis products by root systems of neighboring trees, the directly root excretions of sprouts and the decay products of organic litter. Bioelectricity of plant-microbial soil associations was stable during the spring-autumn period in park and forest park zones, occupying a significant proportion of the city's total area and was slightly dependent on humidity reduction reveals prospects for their use as a sustainable energy source. Further development of electrobiotechnology opens the possibilities of ecosystems of urban areas of park and forest park zones of cities as a source of green energy. *Key words:* parks, forest parks, bioelectricity, renewable energy.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Отримання біоелектрики з рослинних екосистем є інноваційним способом альтернативної енергетики, що активно розвивається в останнє десятиліття [1]. Суть методу полягає у зборі біоелектрики, яку продукують ґрунтові електрико-генеруючі мікроорганізми, що живляться кореневими продуктами фотосинтезу рослин та продуктами розкладу листяного опаду за допомогою електродних систем, внесених у товщу ґрунту [2, 3]. Рослинні екосистеми боліт [4] і заболочених лісів [5] та рисових полів Японії та Індонезії [6–8] охарактеризовані як перспективні джерела рослинно-мікробної біоелектрики.

Зважаючи на значну частку від площі міст, яку займають паркові екосистеми, вони могли би слугувати важливим джерелом мікробно-рослинної біоелектрики, проте їхня біоелектро-продуктивність залишалася недослідженою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Парки є невід'ємною частиною кожного міста, як його біофільтри, важливі клімато-регулятори та місце рекреації городян [9; 10; 11]. Паркові насадження займають вагомий частину від загальної площі міст, так, наприклад, у м. Львові 4.4 тис. га заняті під паркові зони, що становить 26% від площі міста, у Києві – 5,5 тис. га (6,5%), у Харкові – 3,4 тис. га

(9,7%), у Варшаві (Польща) – 12,8 тис. га (25% від території міста). У сучасному містобудуванні під парки відводиться великі території через їхню вирішальну роль для здоров'я та самопочуття міських мешканців, враховуючи просторову доступність кожному [11; 12]. Значні території міських зелених зон, рівномірно розподілених на карті сучасних міст як інструментарій антиглобально-кліматичних змін, зможуть набути ще одного важливого значення та виступати альтернативним джерелом енергії і тим самим зменшувати CO₂-залежні енерговитрати, пов'язані з інфраструктурою парків. У разі розробки ефективних технологій рослинно-мікробна біоелектрика паркових зон могла би забезпечувати освітлення паркових територій та дитячих майданчиків, а в перспективі – живити точки доступу вай-фаю, служити для енергозабезпечення зон автономної роботи з ноутбуками, заряду мобільних телефонів, електросамокатів, енергозабезпечення інтерактивних лавок.

Дерева можуть виступати важливим індуктором розвитку прикореневої електрико-генеруючих мікроорганізмів. Надлишкові продукти фотосинтезу рослин, що виводяться кореневою системою в ґрунт, як і рослинний опад, виступають субстратами для розвитку бактерій, що продукують біоелектрику в ґрунтах [2; 3]. Тому ефективність збору біоелектрики довкола дерева може залежати від розташування його кореневої системи, яка зосереджена неглибоко та в горизонтальному напрямку зменшується по мірі віддалення від стовбура дерева. У поверхневому шарі ґрунту парків зосереджено до 70% всіх коренів клена гостролистого, берези бородавчатої, в'язи звичайного, до 80% коренів липи дрібнолистої, ясеня пухнастого [13; 14]. На відстані до 1,2 м від стовбура дерева локалізується основна маса кореневої системи, до 88% коренів у клена гостролистого, берези бородавчатої, в'язи звичайного, липи дрібнолистої та на відстані 1 м у ясеня пухнастого, хоча поодинокі горизонтальні корені можуть простягатися до 2–2,5 м у в'язи звичайного, берези бородавчатої, 3,5–4,5 м у клена гостролистого та липи дрібнолистої [13; 14]. Щоб перевірити дану гіпотезу нами було проведено наступні дослідження.

Метою даного дослідження було оцінити можливість використання міських парків та лісопарків як джерела рослинно-мікробної біоелектрики. Ми поставили перед собою завдання:

1. Проаналізувати біоелектричний потенціал міських парків із різним ступенем розвитку рослинного покриву довкола дерев: занедбаних паркових зон з ущільненим ґрунтом та із бідним або і взагалі відсутнім рослинним покривом довкола дерев, доглянутих парків із розвинутим трав'яним покривом довкола дерев та лісо-паркових екосистем з інтенсивно розвинутим нижнім ярусом та молодими паростками дерев.

2. Оцінити біоелектропродуктивність ділянок довкола дерев залежно від віддалення від стовбура дерева як основного джерела субстратів для розвитку електрико-генеруючих мікроорганізмів.

3. Проаналізувати сезонні коливання біоелектричного потенціалу протягом 6 місяців із квітня по вересень.

Методи дослідження. Об'єктом досліджень була біоелектрика мікробно-рослинних асоціацій 10 видів дерев, найбільш широко представлених у паркових екосистемах м. Львова та України [15; 16]: клен білий *Acer pseudoplatanus* L., граб звичайний *Carpinus betulus* L., ясен пухнастий *Fraxinus pubescens* L., бук лісовий *Fagus sylvatica* L., в'яз гладкий *Ulmus laevis* Pall., гірकोкаштан *Aesculus hippocastanum* L., липа серцеволиста *Tilia cordata* Mill., береза повисла *Betula pendula* Roth., тополя чорна *Populus nigra* L. та в'яз граболистий *Ulmus carpinifolia* Gled. Діаметр стовбурів дерев в середньому становив 0.41 м. Ґрунт біля дерев був вкритий газонною травою або шаром органічного опаду листя чи був повністю витоптаний і позбавлений трав'яного покриву. Вимірювання біоелектричного потенціалу проводилося з 30 зразками кожного виду дерев *in situ*.

Експерименти моніторингу біоелектричного потенціалу проводилися *in situ* в паркових та лісо-паркових зонах міста Львова із 3 типами ділянок: 1) із трав'яним покривом довкола дерев; 2) з інтенсивно розвинутим нижнім ярусом, паростками молодих дерев, трав'яним покривом та шаром опалого листя, довкола дерев, а також 3) у паркових зонах із інтенсивним антропогенним навантаженням з бідним або і взагалі відсутнім рослинним покривом довкола внаслідок витоптування та ущільненим ґрунтом (рис. 1).

Електроди розміщували стаціонарно у ґрунті протягом усього експерименту на відстані 0,5 – 3,0 м від стовбура дерева та глибині 0,3 – 0,4 м. Локалізація електродів у ґрунті зумовлена тим, що кореневі системи в умовах міських парків в основній масі зосереджені, подібно як і у лісах: не глибоко, у горизонті до 0,4 м [17]. Електроди розміщували в чотирьох різних напрямках від стовбура дерева через можливу асиметричність корневих систем [18]. Покази біоелектричного потенціалу реєстрували щоденно з квітня по вересень та обраховували їхнє середнє значення.

Для реєстрації біоелектричного потенціалу використовували розроблену нами моно-електродну систему [19] із графітових катодів, розміром 90 мм (висота) x 30 мм (ширина) x 15 мм (товщина) та оцинковано-стальних анодів, розміром 292 мм (висота) x 30 мм (ширина) x 0.8 мм (товщина) з під'єднаними до них полівінілхлорид-ізолюваними мідними дротами. Електродну систему розташовували стаціонарно на глибині у ґрунті, безпосередньо в зоні асоціації рослинного коріння та мікроорганізмів, де відбувається вивільнення електронів та протонів. Закінчення мідних дротів виводили на ґрунтову

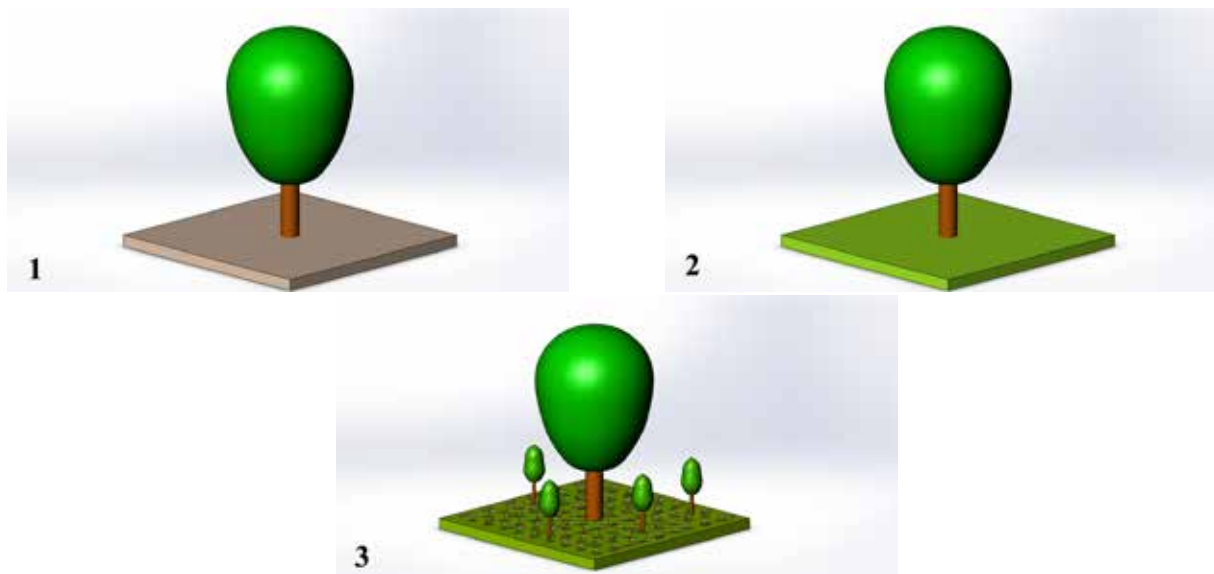


Рис. 1. Види експериментальних ділянок моніторингу біоелектричного потенціалу в паркових та лісопаркових зонах: 1 – ділянки з ущільненим ґрунтом та із бідним або і взагалі відсутнім рослинним покривом довкола дерев, 2 – ділянки з розвинутим трав'яним покривом довкола дерев, 3 – лісопарковій екосистемі з інтенсивно розвинутим нижнім ярусом та молодими паростками дерев

поверхню. За допомогою цифрового мультиметра, щупи якого закріплювали на дротах, що виходили на поверхню з глибини субстрату, знімали покази біое-

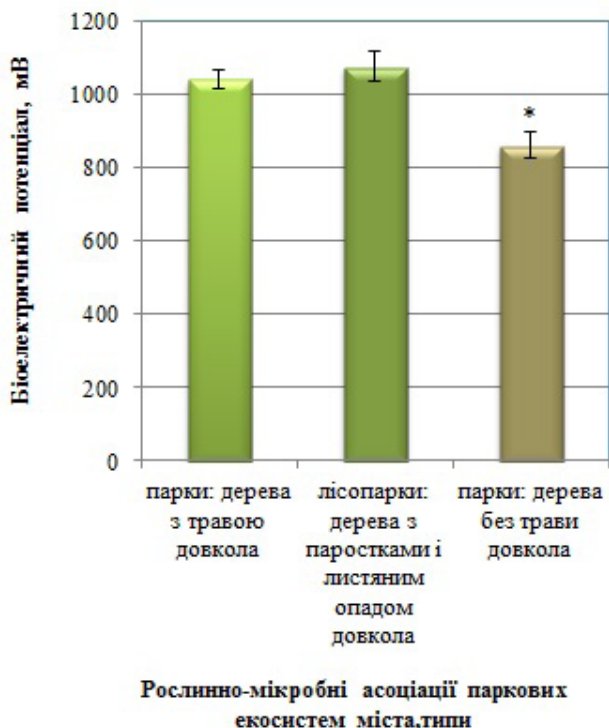


Рис. 2. Середній біоелектричний потенціал мікробно-рослинних асоціацій міських паркових та лісопаркових зон протягом 6 місяців спостережень ($\bar{x} \pm SE$, $n=30$)

* Біоелектричний потенціал біля дерев із вибитаним ущільненим ґрунтом істотно відрізняється від потенціалу біля дерев із трав'яним покривом довкола, а також лісопаркових екосистем ($P < 0.05$).

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

Виклад основного матеріалу. Проведені дослідження в паркових та лісопаркових екосистемах показали достатньо високі показники значень біоелектричного потенціалу. У лісопаркових зонах із розвинутим нижнім ярусом рослинності – численними паростками молодих дерев та шаром листяного опаду – зафіксовані найвищі значення біоелектричного потенціалу – 1076.7 мВ, що були дещо вищі від екосистем паркових дерев із трав'яним покривом ($p > 0.516$) та істотно відрізнялися від паркових зон із вибитаною трав'ю ($P < 0.05$) (рис. 2). Середній біоелектричний потенціал найбільш поширених у парках мікробно-рослинних асоціацій дерев із розвинутим трав'яним покривом довкола них становив 1041.8 мВ (рис. 2). Сукупний вплив кореневих виділень дерев і трав створює оптимальні умови для розвитку електрико-генеруючих мікроорганізмів у паркових зонах без антропогенного навантаження. Зіткнутість крон дерев, що не допускають активного випаровування вологи, так важливої для розвитку електро-активних мікроорганізмів, сукупний вплив кореневих систем молодих та материнських дерев, розвиток мікоризи, ефект листяного опаду забезпечують сприятливі умови для генерації біоелектричного потенціалу в лісопаркових зонах міст.

Важливою екологічною проблемою парків України є вибитування їхніх територій, таких як землі займають до 10% в багатьох парках України [15; 16]. Щоб з'ясувати, чи можуть вибит-

тані ґрунти в парках виступати джерелом енергії, ми провели дослідження електропродуктивності таких зон спресованого переуцільненого ґрунту біля дерев без трав'яного покриву. Водночас такі ділянки є зручним об'єктом для вивчення впливу на генерацію біоелектрики виключно корневих виділень дерев за умов відсутності іншого рослинного покриву та листяного опадів. У середньому покази біоелектричного потенціалу зон з інтенсивним антропогенним навантаженням є значно нижчими, 861.2 мВ, ніж зафіксовані в паркових екосистемах з трав'яним покривом та лісопаркових зонах ($P < 0.05$) (рис. 2). Величина біоелектричного потенціалу екосистем із спресованим ґрунтом відрізняється на 180.6 мВ та 215 мВ від паркових екосистем з неуцільненим ґрунтом та розвинутим нижнім ярусом рослинності ($P < 0.05$). Переуцільненість ґрунту є негативним фактором для розвитку електро-активних мікроорганізмів, оскільки таким ґрунтам властивий порушений аеро-вологообмін.

Максимальні середні значення біоелектричного потенціалу в цих умовах, 948,9 мВ, є отримані на відстані 0,5 – 1,5 м від стовбура дерев, далі із віддаленням від стовбура до 3 м – біоелектричний потенціал падає на 125,8 мВ, незважаючи на однакові умови спресованості, вологості, рН ґрунту (рис. 3). Це підтверджує вирішальну роль корневих виді-

лень дерев для життєдіяльності електрико-продукуючих мікроорганізмів, оскільки основна сукупність горизонтальної кореневої системи зосереджена на відстані до 1 – 1.5 м від стовбура, а з її подальшим різким зниженням зникають сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів [13; 14]. Ущільнений ґрунт із пошкодженим аеро-водним режимом та утрудненим внутрішньоґрунтовым транспортом речовин гальмують продукування біоелектрики у витоптаних зонах парків міст.

Динаміка зміни біоелектричного потенціалу в міру віддаленості від стовбура дерева із трав'яним покривом залежить від наявності дерев довкола та супутнього нижнього рослинного покриву. У парках із деревами та трав'яним покривом довкола найвищі значення спостерігаються на віддалі 0,5 – 1,5 м. Із подальшим віддаленням від стовбура дерева значення біоелектричного потенціалу дещо спадають і знову зростають на відстані 3 м, очевидно, через приєднання органічних виділень горизонтальних корневих систем суміжних дерев (рис. 3). Збільшення концентрації корневих систем веде до максимізації органічних виділень, необхідних для розвитку ґрунтових електро-активних мікроорганізмів. Так, наприклад, біоелектричний потенціал мікробно-рослинної паркової асоціації липи серцеволистої *T. cordata* з газонною травою довкола на

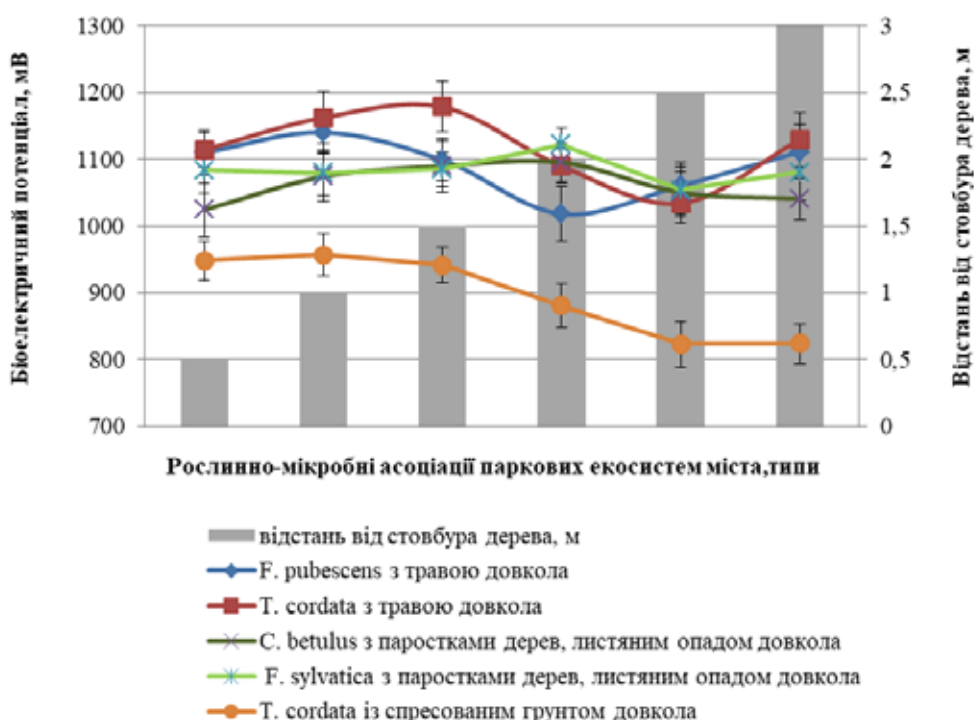


Рис. 3. Зміна значень біоелектричного потенціалу рослинно-мікробних асоціацій дерев паркових екосистем за віддаленості від стовбура дерева ($\bar{x} \pm SE$, $n=30$)

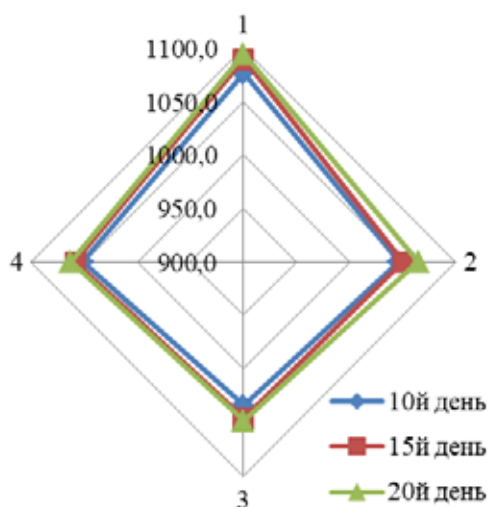
Примітка: біоелектричний потенціал знижується по мірі віддалення від позначки 1,0-1,5 м від стовбура дерева та знову зростає за наявності поруч інших дерев. У лісопаркових екосистемах із паростками дерев та опалим листям зміни біоелектричного потенціалу незначні із віддаленістю від стовбура.

відстані 0,5 – 1,5 м від стовбура дерева становить 1114,5 – 1178,5 мВ, із подальшим віддаленням від стовбура дерева знижується на 88,9 мВ на віддалі 2 м та ще на 55,4 мВ на віддалі 2,5 м від стовбура та знову зростає на віддалі 3 м на 95,3 мВ (рис. 3).

Екосистеми лісопаркових зон характеризуються більш складною картиною зміни біоелектричного потенціалу в міру віддаленості від стовбура дерева, ймовірно, через вплив корневих виділень паростків молодих дерев, розташованих довкола стовбура материнського дерева (рис. 3). Найвище значення біоелектричного потенціалу зареєстровано на відстані

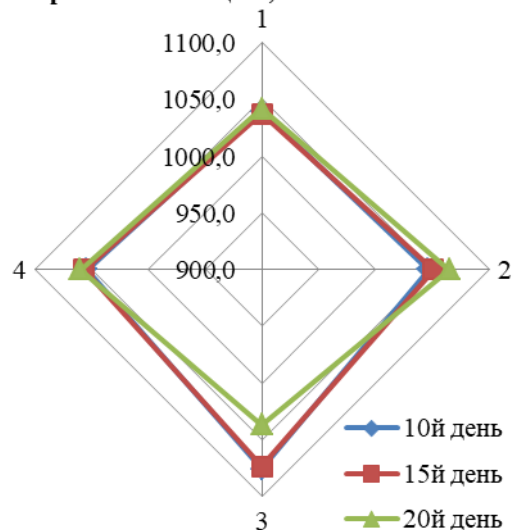
1,5 м від стовбура дерева та становить 1392.1 мВ, а мінімальне – на відстані 2,5 м від стовбура дерева та складає 984,5 мВ. У більшості напрямків від дерева, незалежно від відстані від стовбура дерева, спостерігаються невеликі коливання біоелектричного потенціалу, очевидно, через вплив паростків молодих дерев та лісового опадів, розподілених по доколійній площі, та зростання в точках розташування паростків. Так, наприклад, коливання біоелектричного потенціалу з відстанню від стовбура рослинно-мікробної густо насадженої лісопаркової асоціації бука лісового *F. sylvatica* та граба звичай-

Біоелектричний потенціал, мВ



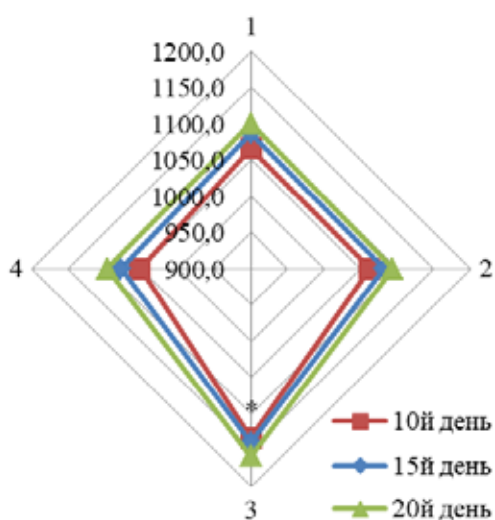
A

Біоелектричний потенціал, мВ



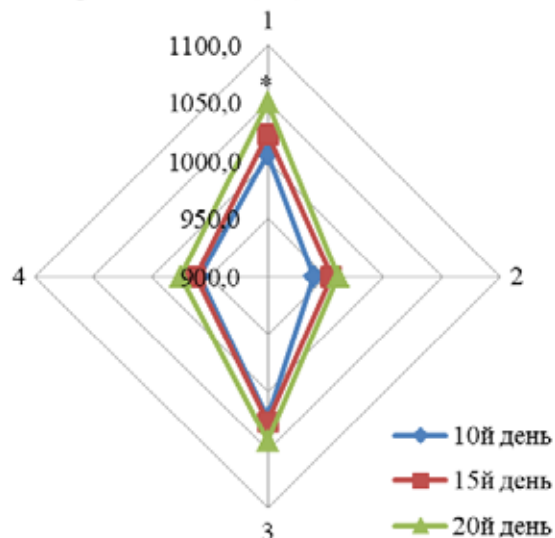
B

Біоелектричний потенціал, мВ



C

Біоелектричний потенціал, мВ



D

Рис. 4. Середні значення біоелектричного потенціалу фіто-мікробіоценозів у 4 протилежних напрямках довкола дерев 10-го, 15-го і 20-го дня експерименту ($\bar{x} \pm SE$, $n=20$)

Примітка: середні значення біоелектричного потенціалу рослинно-мікробних асоціацій *F. pubescens* (A) та *T. cordata* 1 (B) є близькими у всіх 4 напрямках довкола дерева, а різниця в межах однієї екосистеми статистично незначима ($p > 0.286$). *Асиметрія біоелектричного потенціалу вздовж 3-го напрямку від дерева *A. pseudoplatanus* на 10-й день експерименту (C) та 1-го і 3-го напрямків від дерева *T. cordata* 2 (D) 10-го і 20-го дня експерименту є статистично суттєвою в порівнянні з іншими напрямками ($P < 0.05$)

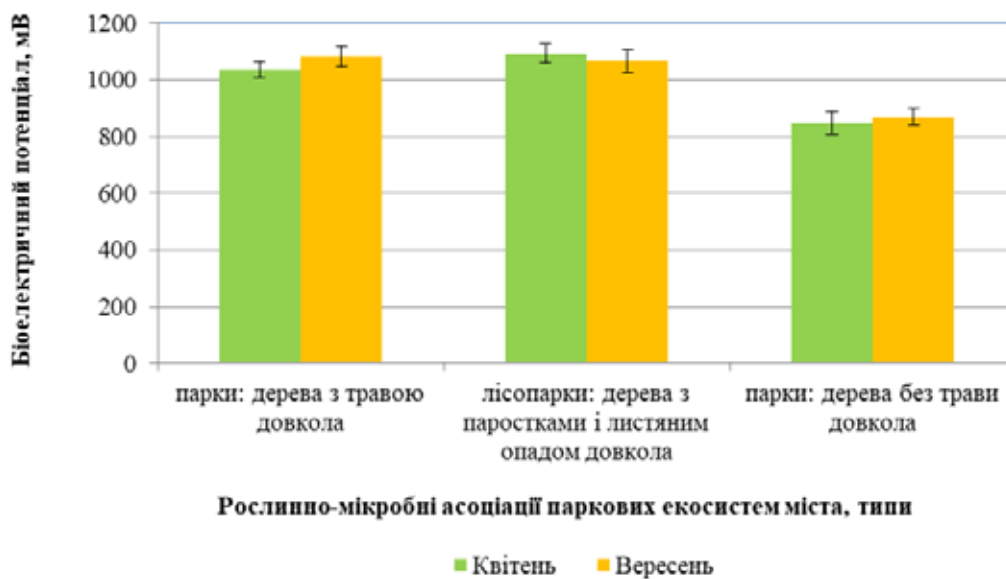


Рис. 5 Середній біоелектричний потенціал рослинно-мікробних асоціацій паркових та лісопаркових екосистем у квітні та вересні ($\bar{x} \pm SE$, $n=30$)

Примітка: сезонні зміни рівня біоелектричного потенціалу є статистично несуттєвими ($P > 0,05$).

ного *C. betulus* із паростками дерев та листяним опадом становить лише 67,5 – 71,2 мВ, у той час як у паркових екосистемах із рідко насадженими деревами ясена пухнастого *F. pubescens* і липою серцеволистою *T. cordata* та газонною травною коливання вольтажу складає 122,4 – 144,3 мВ (рис. 3). У деяких напрямках від дерева прослідковується картина спадання та наступного зростання біоелектричного потенціалу в максимальній віддаленості від стовбура дерева, через, очевидно, приєднання кореневих виділень сусідніх дерев.

У процесі аналізу даних середнього біоелектричного потенціалу рослинно-мікробних асоціацій паркових дерев у 4 різних взаємно протилежних напрямках довкола стовбура в частини зразків виявлена його асиметрія, що зберігається в часі або особливо посилюється в несприятливих умовах вологості, освітлення тощо (рис. 4). У частини екосистем у той самий день, у двох чи трьох напрямках від дерева середні значення біоелектричного потенціалу є близькими із статистично несуттєвими коливаннями, проте в одному чи двох напрямках значення значно відрізняються від значень, отриманих в інших напрямках. Даний факт може бути зумовлений як асиметрією кореневої системи в одному чи двох напрямках, так і впливом кореневих систем сусідніх дерев, органічні виділення яких сумуються та інтенсифікують розвиток електро-активних мікроорганізмів. В інших екосистемах паркових дерев значення середнього біоелектричного потенціалу статистично несуттєво коливаються в усіх чотирьох напрямках довкола стовбура дерева.

Так, наприклад, середній біоелектричний потенціал є майже однаковим в усіх 4 напрямках від стовбура дерева *F. pubescens* та несуттєво відрізняється

по різних напрямках ($p > 0,255$): на 4.9 – 29.9 мВ 10-го дня експерименту, на 4.7 – 38.4 мВ на 15й день експерименту, на 1.9 – 28.9 20го дня експерименту, тобто, аналогічна динаміка зберігається у часі (рис. 4А). Подібна симетрія біоелектричного потенціалу довкола *T. cordata* 1, різниця між біоелектричним потенціалом довкола дерева в різних напрямках несуттєва і становить 7.0 – 29.7 мВ ($p > 0,316$) (рис. 4 В).

Довкола *A. pseudoplatanus* спостерігається зовсім інша картина. Середній біоелектричний потенціал між 1им, 2им та 3им напрямками довкола дерева відрізняється незначно: на 13,7 – 23,3 мВ 10-го дня експерименту, на 4,0 – 7,9 мВ 15го дня експерименту і на 3.2 – 6.5 мВ на 20-й день експерименту. Але різниця між середнім біоелектричним потенціалом 4-ого напрямку і середніми по інших трьох напрямках є більше, як на 60 мВ та складає 81.3 мВ ($P < 0,05$), 62.4 мВ ($p > 0,885$), 65.3 мВ ($p > 0,927$) на 10-й, 15-й і 20-й день експерименту, відповідно (рис. 4С). Аналогічна асиметрія біоелектричного потенціалу відмічається довкола *T. cordata* 2 (рис. 4D). Середній біоелектричний потенціал в двох напрямках від дерева складає 955.1 та 965.1 мВ, і різняться не суттєво що 5 днів, в межах 8.7 – 13.9 мВ, в двох інших напрямках середній біоелектричний потенціал 1026.2 та 1030.2 мВ, з 5-денною різницею в межах 3.2 мВ – 27.2 мВ. Різниця між середнім біоелектричним потенціалом 1-2 напрямку та 3-4 напрямку від дерева складає 82.9 мВ ($P < 0,05$), 71.1 мВ ($p > 0,940$), 89.3 мВ ($P < 0,05$) на 10-й, 15-й і 20-й день експерименту, відповідно.

Сезонні коливання біоелектричного потенціалу в паркових зонах є незначними. Протягом першого тижня після інтеграції в ґрунт електродів для збору біоелектрики зафіксовано зростання показників біо-

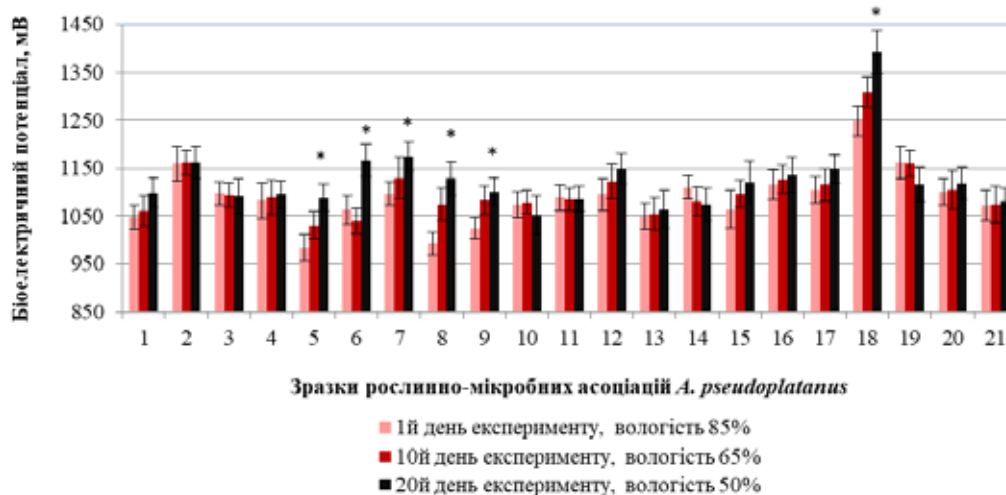


Рис. 6. Вплив зниження вологості ґрунту від 85% до 50% протяжі 20 днів експерименту на генерацію біоелектричного потенціалу 21 мікробно-рослинних асоціацій *A. pseudoplatanus* паркової екосистеми ($\bar{x} \pm SE$, $n=20$)

* Зростання рівня біоелектричного потенціалу із зниженням вологості є статистично суттєвою у зразків 5-9 та 18 ($P < 0,05$)

електричного потенціалу, а далі показники залишаються стабільними з невеликими коливаннями, протягом всього експерименту, що, очевидно, залежить від фотосинтетичної активності рослин, рівня корневих виділень, метеорологічних факторів (рис. 5).

Початкове зростання значень біоелектричного потенціалу в даному випадку може бути як результатом осадки ґрунту, що веде до більш щільного контакту електродів із ґрунтом, так і наслідком колонізації електродів мікроорганізмами, адже у природі електро-активні мікроорганізми прикріплюються до різноманітних матеріалів за допомогою клейких речовин та формують нановолокна, через які передають електрони [20]. Середньо-місячний біоелектричний потенціал у квітні та вересні статистично суттєво не відрізняється, різниця становить від 21,5 мВ до 48,6 мВ ($p > 0,683$, $p > 0,383$, $p > 0,311$) (рис. 5).

Паркові екосистеми формують сприятливий режим вологості для розвитку електрико-генеруючих мікроорганізмів. Втрата вологи в паркових зонах є мінімальною порівняно з відкритими газонами через зімкнутість крон, що запобігають випаровуванню. Проте під час посушливої погоди і в цих зонах відбувається зниження вологості ґрунту, що може несприятливо вплинути на розвиток фіто-мікробіоценозу. Але зниження вологості від оптимальних 85% до 50% за однакових умов освітлення 800 Люкс та температури 21,5°C протягом 20 днів експерименту має істотний пригнічуючий вплив на біоелектричний потенціал лише невеликої кількості рослинно-мікробних асоціацій паркових екосистем. У більшості зразків при зниженні вологості біоелектричний потенціал залишається на такому ж рівні із статистично неістотними коливаннями ($p > 0,193$) або навіть суттєво зростає ($P < 0,05$) (рис. 6).

Так, наприклад, з 21 проаналізованих мікробно-рослинних асоціацій *A. pseudoplatanus* паркової екосистеми біоелектричний потенціал у 9 фіто-мікробіоценозів був без істотних коливань, зміна потенціалу становила 3 – 21 мВ ($p > 0,193$), у 3 зразків біоелектричний потенціал падав на від -6 до -45 мВ ($p > 0,540$). У 9 мікробно-фітоценозів спостерігалось зростання біоелектричного потенціалу, що становило від 44 – 54 мВ ($p > 0,733$) до 77 – 143 мВ ($P < 0,05$) (рис. 6). Даний факт відсутності пригнічення генерації біоелектричного потенціалу при зниженні вологості пов'язаний із акумуляцією вологи потужними деревами та активними фотосинтезом рослин та, відповідно, інтенсивними корневими виділеннями, що стимулюють ріст електро-активних мікроорганізмів.

Головні висновки. Розкрито потенціал екосистем міських паркових та лісопаркових зон як джерела біоелектрики, що характеризуються стабільною генерацією біоелектричного потенціалу протягом весняно-осіннього періоду. Паркові зони, що підпадають під інтенсивне антропогенне навантаження, не можуть використовуватися як джерело зеленої енергії, середні значення біоелектричного потенціалу в цих умовах спостерігаються невисокі. Ураховуючи виявлене явище асиметрії середнього біоелектричного потенціалу мікробно-рослинних асоціацій довкола дерев та точки максимальної генерації біоелектричного потенціалу на певній відстані від стовбура дерева, можна більш ефективно використовувати їх як джерело зеленої енергії. Подальше вдосконалення біотехнології відкриває перспективи експлуатації паркових та лісопаркових екосистем міста як джерела відновлюваної екологічної енергії.

Література

1. Nitorisavut R., Regmi R. Plant microbial fuel cells: A promising biosystems engineering. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 76. P. 81–89. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.064.
2. 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.
3. Timmers R.A., Rothballer M., Strik D.P.B.T.B., Engel M., Schulz S., Schlöter M., Hartmann A., Hamelers B., Buisman C. Microbial community structure elucidates performance of *Glyceria maxima* plant microbial fuel cell. *Applied Microbiology & Biotechnology*. 2012. Vol. 94, № 2. P. 537–548. doi: 10.1007/s00253-012-3894-6.
4. Wetser 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. Dai J., Wang J.-J., Chow A.T., Conner W.H. Electrical energy production from forest detritus in a forested wetland using microbial fuel cells. *Global Change Biology Bioenergy*. 2015. Vol. 7. P. 244–252. doi: 10.1111/gcbb.12117.
6. 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.
7. Ueoka N., Sese N., Sue M., Kouzuma A., Watanabe K. Sizes of Anode and Cathode Affect Electricity Generation in Rice Paddy-Field Microbial Fuel Cells. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2016. Vol. 6, № 1. P. 10–15. doi: 10.4236/jsbs.2016.61002.
8. 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.
9. Русин І.Б. Урбоекологія. Львів, 2013. 115 с.
10. Bertram C., Rehdanz K. The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*. 2015. Vol. 120. P. 139–152. doi: 10.1016/j.ecolecon.2015.10.013.
11. Karade R.M., Kuchi V.S., Salma Z. The Role of Green Space for Sustainable Landscape Development in Urban Areas. *International Archive of Applied Science & Technology*. 2017. Vol. 8. P. 76–79. doi:10.15515/iaast.0976-4828.8.2.5154.
12. Huseynov E.F. Planning of sustainable cities in view of green architecture. *Procedia Engineering*. 2011. Vol. 21. P. 534–542. doi: 10.1016/j.proeng.2011.11.2048.
13. Day S.D., Wiseman P.E., Dickinson S.B. & Harris J.R. Arboriculture & Urban Forestry. *Contemporary Concepts of Root System Architecture of Urban Trees*. 2010. Vol. 36, № 4. P. 149–159.
14. Moore G.M. Managing Urban Tree Root Systems. *Proceedings of the 20th National Street Tree Symposium*. (Adelaide, 5-6 September 2019). Adelaide, 2019. P. 1–7.
15. Федоровський В.Д., Терлига Н.С., Юхименко Ю.С., Данильчук О.В., Данильчук Н.М., Лаптева О.В. Видовий склад та життєвий стан деревно-чагарникової рослинності парків та скверів м. Кривий Ріг. *Інтродукція рослин*. 2013. Т. 3. С. 73–79.
16. Денисюк Н. Аналіз стану зелених насаджень парку молоді міста Рівне. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки, Серія: Біологічні науки*. 2018. Т. 8, № 381. С. 33–39. doi:10.29038/2617-4723-2018-381-33-39
17. Watson G.W., Neely D. The Landscape Below Ground. *Proceedings of an International Workshop on Tree Root Development in Urban Soils*. (Illinois, September 30–October 1, 1993). Illinois, 1994. P. 1–5.
18. Ganatsas P., Spanos I. Root system asymmetry of Mediterranean pines. *Plant and Soil*. 2005. Vol. 278. P. 75–83. doi: 10.1007/978-1-4020-5593-5_12.
19. 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.
20. Lovley D.R., Ueki T., Zhang T., Malvankar N.S., Shrestha P.M., Flanagan K.A., Aklujkar M., Butler J.E., Giloteaux L., Rotaru A.E., Holmes D.E., Franks A.E., Orellana R., Risso C., Nevin K.P. Geobacter: the microbe electric's physiology, ecology, and practical applications. *Advances in Microbial Physiology*. 2011. Vol. 59. P. 1–100. doi: 10.1016/B978-0-12-387661-4.00004-5.

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ВІЛЬНОРАДИКАЛЬНОГО ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ ТА СТУПЕНЯ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ В ТКАНИНАХ *ALLIUM SATIVUM L.*

Боброва М.С., Данилків О.М.

Центральноукраїнський державний педагогічний університет

імені Володимира Винниченка

вул. Шевченка, 1, 25006, м. Кропивницький

kazna4eeva@gmail.com, danilkiv_o@ukr.net

У статті розкрито залежність ступеня вільнорадикального перекисного окиснення та антиоксидантного захисту від здатності рослинних тканин до фотосинтезу. Зазначено роль прооксидантно-антиоксидантної системи для організму рослин і тварин. Експериментальним шляхом виявлено рівень вільнорадикального перекисного окиснення ліпідів як основних компонентів плазмалеми та мембранних структур клітини, що першими реагують на дію стресових факторів навколишнього середовища. Досліджено фоновий та стимульований рівень малонового діальдегіду, що є одним з основних продуктів перекисного окиснення ліпідів, слугує маркером окисного стресу, призводить до гідрофілізації мембран, зниженням їхньої в'язкості, порушенням структури та локалізації рецепторів, ферментів та електричного заряду з можливим подальшим виникненням пор, розриву мембран та осмотичного шоку, що викликає вільнорадикальний некробіоз. Досліджено активність основного ферментного антиоксиданту – каталази, яка є першою лінією захисту від активних форм Оксигену. Виявлено рівень основного низькомолекулярного антиоксиданту – аскорбінової кислоти, що синтезується будь-якими рослинами і потрапляє до нашого організму як вітамінна добавка саме з продуктами рослинного походження. Здійснено порівняльний аналіз усіх перерахованих показників у тканинах *Allium sativum L.*, різних за здатністю до фотопродукції. Виявлено, що здатність тканин до фотосинтезу стимулює рівень вільнорадикального перекисного окиснення в них біополімерів та одночасно посилює активність ферментних і низькомолекулярних антиоксидантів. У тканинах фотосинтезуючих листків часнику каталаза є більш потужним антиоксидантом порівняно з аскорбіновою кислотою. Встановлено від'ємне значення приросту рівня малонового діальдегіду в тканинах *Allium sativum L.*, що може свідчити про високий загальний антиоксидантний потенціал рослини.

У результаті проведеного дослідження сформульовано висновки про залежність рівня вільнорадикального перекисного окиснення та ступеня антиоксидантного захисту в тканинах *Allium sativum L.* від їхньої здатності до фотопродукції. *Ключові слова:* прооксиданти, антиоксиданти, малоновий діальдегід, каталаза, аскорбінова кислота, *Allium sativum L.*

Research levels of free radical oxidation and the degree of antioxidant protection in *Allium sativum L.* tissues. Bobrova M., Danylkiv O.

The article deals with the dependence of the degree of free radical peroxidation and antioxidant protection on the ability of plant tissues to photosynthesis. The role of prooxidant-antioxidant system for plant and animal organism is stated. The level of free radical lipid peroxidation was found experimentally as the main components of plasma and membrane structures of cells, which are the first to respond to environmental stressors. Background and stimulated levels of malondialdehyde were investigated. Malonic dialdehyde is one of the main products of lipid peroxidation, serves as a marker of oxidative stress, leads to hydrophilization of membranes, reducing their viscosity, impaired structure and localization of receptors, enzymes and electrical charge with possible subsequent pore formation, rupture of membranes causes free radical necrobiosis. The activity of the main enzyme antioxidant – catalase, which is the first line of protection against the active forms of Oxygen, was investigated. The level of the main low molecular weight antioxidant – ascorbic acid, which is synthesized by any plant and gets into our body, as a vitamin supplement with the products of plant origin, has been revealed. A comparative analysis of all listed indicators in the tissues of *Allium sativum L.* different in ability to photoproduction. It has been found that the ability of tissues to photosynthesis stimulates the level of free radical peroxidation in them of biopolymers and, at the same time, enhances the activity of enzymatic and low molecular weight antioxidants. In the tissues of photosynthetic garlic catalase leaves are a more potent antioxidant than ascorbic acid. A negative value of the increase in the level of malondialdehyde in the tissues of *Allium sativum L.* was established, which may indicate a high overall antioxidant potential of the plant. As a result of the study, conclusions were drawn regarding the dependence of the level of free radical peroxidation and the degree of antioxidant protection in the tissues of *Allium sativum L.* on their ability to photoproduce. *Key words:* prooxidants, antioxidants, malonic dialdehyde, catalase, ascorbic acid, *Allium sativum L.*

Постановка проблеми. Постійна генерація активних форм Оксигену (далі – АФО) в процесі фотосинтезу є обов'язковим атрибутом більшості рослин і додатковим стимулом розвитку спеціалізованих ферментативних і неферментних антиоксидантів для підтримки окисного гомеостазу фототрофних організмів. Проблема балансу прооксидантно-антиоксидантної системи (далі – ПАС) рослин має такі особливості, не всі з яких висвітлені в літературі:

1) додаткове фотосинтетичне утворення активних форм кисню, зокрема синглетних, що значно посилює вплив прооксидантної ланки [1; 2];

2) не досить висвітленим залишається зміна активності і концентрації основних антиоксидантів у фотосинтезуючих частинах рослин і тих, що не здійснюють фотопродукцію;

3) досить актуальним є визначення вмісту антиоксидантів і продуктів перекисного окиснення біополімерів, що надходять до нашого організму з продуктами харчування рослинного походження [3].

Мета дослідження – порівняння стану компонентів ПАС в фотосинтезуючих тканинах *Allium sativum L.*, та тих, що не здійснюють фотосинтез.

Актуальність дослідження. В умовах несприятливої екологічної ситуації, що визначає створення імунного дефіциту не лише у людини та тварин, але й у рослин виникає необхідність вивчення компонентів і факторів стійкості та ПАС. Це є біохімічним підґрунтям для підтримки високого імунного статусу рослинних і тваринних організмів.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

1. Виявити рівень вільнорадикального перекисного окиснення біополімерів і ступінь антиоксидантного захисту в тканинах *Allium sativum L.* залежно від їхньої здатності до фотосинтезу.

2. Порівняти ступінь захисту ферментних і низькомолекулярних антиоксидантів.

3. Порівняти активність прооксидантної та антиоксидантної ланок у тканинах *Allium sativum L.*

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значення АФО у процесах ВРПО та механізми АОЗ розкрито в працях таких учених, як N. Smirnoff, K. Apel, H. Nirt, Л.В. Хрипач, Ю.А. Рєвазова, Ю.Е. Колупаєв, В.А. Костюк, В.В. Бараненко, Ю.В. Карпець, О.Г. Полєска, та інших дослідників [1–7]. Загальноприйнятим є твердження що основною ціллю АФО є клітинні мембрани, ліпіди яких зазнають ферментативного та вільнорадикального перекисного окиснення (далі – ВРПО), яке першочергово пошкоджує молекули поліненасичених жирних кислот [1]. Одним з основних продуктів ВРПО макромолекул, зокрема ліпідів, є малоновий діальдегід (МДА, малондіальдегід $O=HC-CH_2-CH=O$), що слугує маркером окисного стресу [4]. МДА утворюється під час дії синглетного Оксигену ($*O_2$) та гід-

роксил-радикалу ($\bullet OH$) на молекули поліненасичених жирних кислот, зокрема лінолевої, в 9-, 12-, 13-, 16-положеннях для $\bullet OH$ та в 9-, 10-, 12-, 13-, 15-, 16-положеннях для $*O_2$. Утворення МДА призводить до гідрофілізації мембран, порушення гідрофобного бар'єра та пов'язаних із цим збільшенням проникності і текучості мембрани, зниження їхньої в'язкості, порушення структури та локалізації рецепторів, ферментів та електричного заряду з можливим подальшим виникненням пор, розриву мембран та осмотичного шоку, що викликає вільнорадикальний некробіоз [4]. МДА також гальмує реплікацію та синтез білка, утворює міжмолекулярні зшивки за аміногрупами. Взаємодія МДА здатна реагувати з ДНК (зокрема, гуанозином), утворюючи ДНК-аддукти, передусім мутагенний M_1G , який спричинює канцерогенез у тварин. У зв'язку з генерацією АФО хлоропластами в процесі фотосинтезу рослини повинні мати більш потужну систему ферментних і неферментних антиоксидантів [1]. Прикладом неферментних антиоксидантів класу α, β -дієнолів є аскорбінова кислота (улактон 2,3-дегідрол-гулонової кислоти), що не лише знешкоджує АФО, а й відновлює окиснені форми багатьох антиоксидантів (залізовмісні оксидази, цитохроми, вітаміни тощо), бере участь в електронному транспорті та активації АТФ-синтетази, стимулює імуностійкість і гальмує канцерогенез [3] у дуже високих дозах, тому що діє як прооксидант, руйнуючи клітини, які під час мітозів дуже чутливі до активних форм кисню [4]. Потужним ферментним антиоксидантом є каталаза – гемвмісний тетрамерний фермент класу оксидоредуктаз (КФ 1.11.1.6), що каталізує розклад перекису водню з утворенням кисню і води [3]: $2H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H_2O$. Це один з основних ферментів, що руйнують АФО та один із найактивніших ензимів [4]. Згідно з літературними даними, фотосинтетично зумовлене посилення прооксидантної ланки рослин повинне зумовлювати компенсаторне підвищення антиоксидантної активності [1; 7], тому з метою одержання кількісної оцінки рівня генерації АФО та вмісту основних антиоксидантів у продуктах рослинного походження, а також порівняння цих показників для фотосинтетичних органів рослин і тих, що не здійснюють фотопродукцію, нами було проведено низку експериментальних досліджень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не досить дослідженими є зв'язок функціональної активності тканин рослин зі змінами рівня вільнорадикального пошкодження біополімерів в їхніх клітинах і ступеня антиоксидантного захисту.

Новизна. У роботі вперше здійснено аналіз зміни компонентів прооксидантної та антиоксидантної ланок тканин листків *Allium sativum L.* залежно від їхньої здатності до фотосинтезу. Визначено рівень вільнорадикального перекисного окиснення макромолекул і значення показників низькомолекулярних і ферментних антиоксидантів.

Методологічне або загальнонаукове значення.

На основі проведених досліджень експериментально виявлено найбільшу залежність значення показників стану ПАС від здатності тканин до фотосинтезу.

Результати, отримані під час виконання роботи, використовуються в наукових дослідженнях кафедри біології та методики її викладання та в навчальному процесі природничо-географічного факультету Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка під час викладання курсів «Фізіологія рослин», «Біохімія», «Екологія» та «Основи сільського господарства».

Виклад основного матеріалу.

Кількісний аналіз компонентів стану ПАС *Allium sativum* L. здійснювали на тканинах підземних видозмін (зубків) і фотосинтезуючих листків часнику сорту «Дюшес» (середньостійкий сорт – 7 клас стійкості до хвороб, посухи та холоду, 9 клас продуктивності, рання група стиглості). Зразки для біохімічного аналізу часнику добували з поперечного зрізу середини зубків, верхівки та середини фотосинтезуючих листків. Кожна дослідна група включала 10 проб.

Методи дослідження. Визначення біохімічних показників здійснювали згідно із загальноприйнятими методиками: фоновий рівень малонового діальдегіду (МДА₀) (мкмоль/кг) оцінювали шляхом нагрівання проби в кислому середовищі з 2-тіобарбітуровою кислотою та подальшим фотометруванням утвореного триметинового комплексу за 540 нм у кюветі на 1 см проти контролю, що не містив гомогенату. Для ініціації приросту рівня МДА (МДА_{1,5}) пробу інкубували 90 хвилин у прооксидантному залізо-аскорбінатному буферному розчині за 24 °С. Величину приросту рівня ΔМДА, що оберненопропорційна антиоксидантному запасу тканини, виражали як різницю між МДА₀ та МДА_{1,5} в мкмоль/кг та у відсотках від початкового рівня. Визначення концентрації аскорбінової кислоти (ммоль/кг) проводили за методом Тільманса, окислюючи в дослідній пробі аскорбінову кислоту до дегідроаскорбінової 0,001 н розчином 2,6-дихлорфеноліндофенолятом натрію. З метою руйнування аскорбінату в контрольній пробі її кип'ятили з 3%-вим розчином H₂O₂. Активність каталази (мкмоль/г·хв) оцінювали, згідно з методом А.Н. Баха та А.І. Зубкової, шляхом визначення кількості 1%-ного розчину H₂O₂, що залишився після дії на нього каталази, титруванням 0,1 н розчином KMnO₄ у кислому середовищі. Руйнування каталази в контроль-

ній пробі здійснювали термічно [14]. Статистична обробка цифрових результатів дослідження проводилася згідно із загальноприйнятими методиками. Достовірно різними вважались результати за p<0,05.

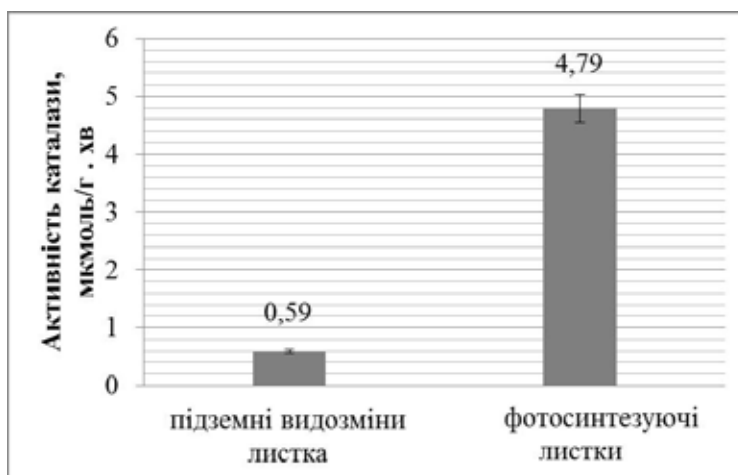


Рис. 1. Порівняння активності каталази в тканинах *Allium sativum* L.

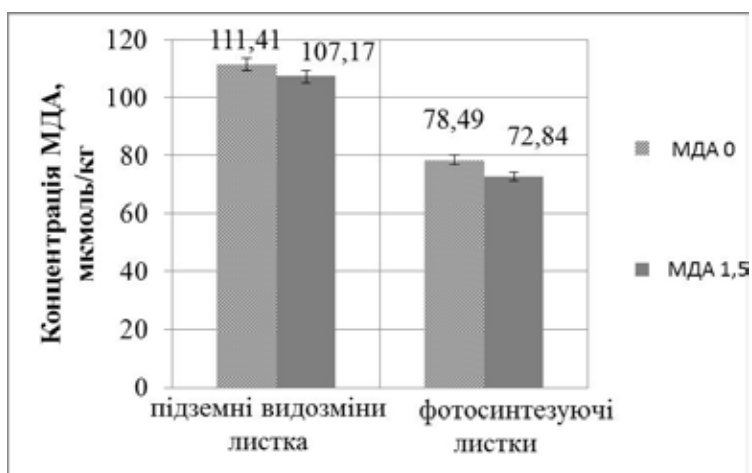


Рис. 2. Порівняння концентрації аскорбінової кислоти в тканинах *Allium sativum* L.

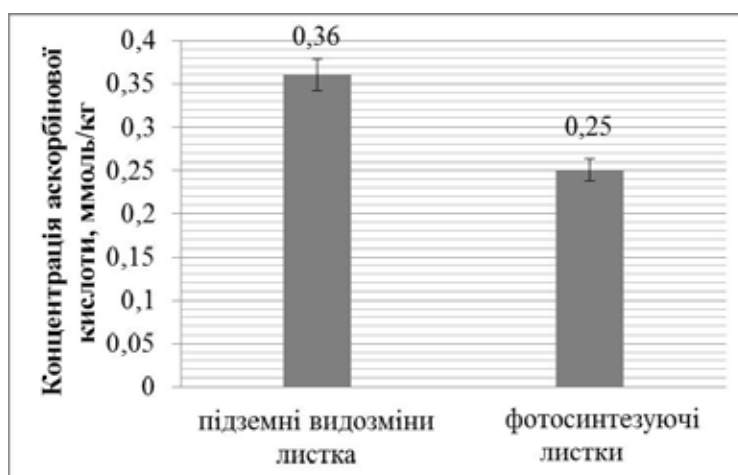


Рис. 3. Порівняння вмісту МДА в тканинах *Allium sativum* L.

Результати дослідження свідчать, що активність каталази в перах часнику ($4,79 \pm 0,02$ мкмоль/гхв) в 8,12 разів вища, ніж у зубках ($0,59 \pm 0,01$ мкмоль/гхв) ($p_1 < 0,001$) (рис. 1). Такий розподіл пояснюється значним посиленням продукції синглетного Оксигену ($*O_2$) в результаті фотосинтетичних процесів. Час існування синглетного Оксигену незначний, тому він одразу перетворюється на супероксиданіон-радикал ($*O_2^-$) та перекис водню ($O_2 + \lambda\eta \rightarrow *O_2 + e^- \rightarrow *O_2^- + e^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2$), підвищення концентрації якого і зумовлює потребу в посиленні антиоксидантного захисту, зокрема активності каталази.

Концентрація аскорбінової кислоти в зелених листках часнику в 1,44 рази достовірно ($p < 0,001$) нижча, ніж у зубках (рис. 2). Тож можна припустити, що каталаза порівняно з аскорбіновою кислотою є значно потужнішим антиоксидантом фотосинтетичних органів рослин, де з гідроксил-радикалу утворюється велика кількість пероксиду водню.

Фоновий рівень МДА₀ характеризується значно нижчими величинами в листках часнику ($78,49 \pm 2,83$ мкмоль/кг) порівняно із зубками ($111,41 \pm 2,14$) з різницею в 1,42 рази ($p < 0,001$), що, можливо, пояснюється значним антиоксидантним запасом фотосинтезуючих тканин листка, зокрема високою активністю каталази (рис. 3).

Після інкубації проб в прооксидантному залізо-аскорбінатному буферному розчині приріст рівня МДА виявився негативним порівняно з фоновим в обох випадках. Наприклад, для зубків часнику цей показник становить -6,35% ($4,25$ мкмоль/кг), а для листків -7,79% ($5,65$ мкмоль/кг). Різниця між результатами не є достовірною ($p > 0,1$), що може свідчити про порівняно близькі значення рівня загального антиоксидантного захисту тканин часнику сорту «Дюшес». Це додатково підтверджується достовір-

ною різницею рівнів МДА_{1,5} в 1,47 разів у зубках і перах часнику відповідно. Від'ємний приріст рівня МДА до та після інкубації проб свідчить про досить високий загальний антиоксидантний захист тканини зубків і листків часнику сорту «Дюшес».

Отже, фотосинтетична продукція АФО зумовлює компенсаторне посилення активності ферментних (каталаза) і низькомолекулярних (аскорбінова кислота) антиоксидантів, які гальмують процеси вільнорадикального пошкодження біополімерів і зменшують показник рівня МДА.

Головні висновки. 1. Здатність тканин до фотосинтезу стимулює рівень вільнорадикального перекисного окиснення в них біополімерів та одночасно посилює активність ферментних і низькомолекулярних антиоксидантів. 2. Каталаза є більш потужним антиоксидантом у тканинах фотосинтезуючих листків часнику порівняно з аскорбіновою кислотою. 3. Від'ємне значення приросту рівня малонового діальдегіду в тканинах *Allium sativum* L. свідчить про високий загальний антиоксидантний потенціал.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективним напрямом селекції, біотехнології та генної інженерії є створення сортів із підвищеним вмістом антиоксидантів. Дослідження балансу між вільнорадикальним перекисним окисненням біополімерів і рівнем антиоксидантного захисту, що супроводжує всі фізіологічні та патологічні процеси, є об'єктом дослідження біомембранології, нормальної та патобіохімії, клінічної медицини та геронтології. Перспектива використання і модифікації окремих компонентів АОЗ для підвищення захисних сил організму відкриває нове коло досліджень у галузі імунології. Особливого значення набуває висвітлення цієї проблеми в галузі імунології рослин.

Література

1. Костюк В.А., Потапович А.И. Биорадикалы и биоантиоксиданты. Минск : БГУ, 2004. 179 с.
2. Smirnoff N. Antioxidants and reactive oxygen species in plants. New York : Blackwell Publishing, 2005. 302 p.
3. Дмитрієв О.П., Кравчук Ж.М. Активні форми кисню та імунітет рослин. *Цитологія і генетика*. 2005. № 39 (4). С. 64–75.
4. Apel K., Hirt H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Plant Biol.* 2004. Vol. 55. P. 373–399.
5. Хрипач Л.В., Рєвазова Ю.А. Роль свободнорадикального окислення в пошкодженні генома факторами оточуючої середовища. *Вісник РАМН*. 2004. № 3. С. 16–18.
6. Колупаєв Ю.Е. Активні форми кисню в рослинах при дії стресорів: утворення та можливі функції. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія : Біологія*. 2007. Вип. 3 (12). С. 6–26.
7. Колупаєв Ю.Є., Карпєць Ю.В. Активність супероксиддисмутизи і каталази у колеоптилях пшениці за дії пероксиду водню і нагрівання. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2007. Т. 39. № 4. С. 319–325.
8. Бараненко В.В. Супероксиддисмутаза в клітках рослин. *Цитологія*. 2006. Т. 48. № 6. С. 465–474.
9. Дмитрієв О.П., Кравчук Ж.М. Активні форми кисню та імунітет рослин. *Цитологія і генетика*. 2005. № 39 (4). С. 64–75.
10. Полєсская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. Москва : КДУ, 2007. 140 с.
11. Kawano T. Roles of the reactive oxygen species generating peroxides reaction in plant defense and growth induction. *Plant Cell Repts.* 2003. Vol. 21. № 9. P. 829–837.
12. Heiser I., Elstner E. Biochemical mechanisms of plant defense a central role for reactive oxygen species. *Plant Prot. Sci.* 2002. Vol. 38. Spec Issue 1. P. 76–86.
13. Foyer C.H., Noctor G. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a re evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant, Cell and Environment*. 2005. Vol. 28. P. 1056–1071.
14. Посібник з експериментально-клінічних досліджень в біології та медицині / за ред. І.П. Кайдашева, О.В. Катрушова, В.М. Соколенко, О.І. Цебржинського. Полтава, 1996. 271 с.

АЛГОРИТМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО КОНТРЗАХОДІВ У РАЗІ ЗАБРУДНЕННЯ ЕКОТОКСИКАНТАМИ ДОВКІЛЛЯ

Войціцький В.М.¹, Хижняк С.В.¹, Мідик С.В.¹,
Лапоша О.А.¹, Полтавченко Т.В.²

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

²Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, 33000, м. Рівне
svit.mid@gmail.com, babjuk@i.ua

Під час аварійних ситуацій на екологічно небезпечних підприємствах можливі наднормативні викиди і скиди екоотоксикантів у довкілля, що, залежно від їх природи, біологічної дії, дози й часу впливу, створює загрозу як для біоти довкілля, так і для здоров'я людини. Це насамперед найрізноманітніші токсичні речовини хімічної, металургійної, електротехнічної, фармакологічної та інших промисловостей, підприємств ядерно-енергетичного комплексу, добування корисних копалин, отримання енергії у процесі спалювання органічного палива; запаси паливно-мастильних матеріалів; отрутохімікати й заскладовані добрива, стоки тваринницьких ферм і відгодівельних комплексів у сільському господарстві; порушення герметичності нафто- й газогонів; каналізаційні стоки міст, підприємств харчової промисловості, лікарень та ветеринарних об'єктів тощо; наслідки можливих забруднень довкілля під час транспортування екоотоксикантів, знищенні боєприпасів і вибухових речовин та ще багато іншого. Із метою мінімізації наслідків можливих аварійних ситуацій розробляються, плануються й реалізуються локальні чи загальні, ранні, проміжні та відновні етапи контрзаходів. Вони враховують специфіку застосування, яка зумовлена різними шляхами впливу екоотоксикантів на довкілля і здоров'я людини.

Критерієм оцінки ефективності контрзаходів є розрахунок співвідношення користь–школа. Оцінка користі контрзаходів ґрунтується на розрахунку вартості отримання очікуваного позитивного ефекту, а шкоди – суми вартості на певний контрзахід. На їх підставі визначають оперативні рівні контрзаходів на різних етапах аварії з урахуванням як наявних, так і можливих ситуацій розвитку подій, межі застосування. Основна увага під час розробки контрзаходів приділяється їх своєчасності, ефективності, соціальній необхідності та технічним можливостям реалізації.

На основі аналізу науково-обґрунтованих підходів проведено узагальнення наявних і перспективних методів добору стратегії контрзаходів під час екологічних аварій і катастроф. Подано роз'яснення критерію вибору контрзаходів «користь–школа» з наголосом на першочерговість соціального чинника. *Ключові слова:* екоотоксиканти, довкілля, здоров'я людини, викиди і скиди, контрзаходи, критерій «користь–школа».

Algorithm for decision-making regarding countermeasures in case of pollution by ecotoxicants of the environment. Voitsitskiy V., Khyzhnyak S., Midyk S., Laposha O., Poltavchenko T.

In emergencies at environmentally hazardous enterprises it is possible excessive emissions and discharges of ecotoxicants into environment, which, depending on the nature of their biological action, dose, and time of influence, poses a threat to both the biota of environment and human health. In order to minimize the consequences of such situations, countermeasures are developed, planned and implemented. They take into account the specifics of their potential use, aimed at different ways of impact of specific ecotoxicants on environment and human health.

The criterion for evaluating the effectiveness of countermeasures is the calculation of the ratio of benefit-harm. Assessment of the benefit of countermeasures is based on the calculation of the costs of obtaining the expected positive effect, and the harm – the sum of the costs of their specific countermeasures. On their basis, the operational levels of counter measures are determined at the early, intermediate and recovery stages of the accident, taking into account both significant and possible situations and limits of use. A large number of countermeasures have been developed based on the specifics of their possible use, each of which is aimed at different ways of the impact of specific ecotoxicants on environment and human health.

Comparison of the cost of benefits and harms (that is, the cost of a countermeasure and its positive consequences) allows us to estimate the difference between them. If the value of the benefit exceeds the harm due to certain countermeasures, then it is advisable to carry them out. If this difference in value is small, or even negative (the value of the benefit is greater than the harm), then the use of such countermeasures in specific conditions is impractical, the exception can only be social benefit. The focus of the development of countermeasures is on their social need and technical feasibility.

On the basis of the analysis of scientifically grounded approaches, the generalization of existing and prospective methods for selecting a strategy of countermeasures in the case of ecological accident and catastrophes was summarized. The criterion for the choice of countermeasures benefit-harm with emphasis on the priority of social factor was provided. *Key words:* ecotoxicants, environment, human health, emissions and discharges, countermeasures, criterion benefit – harm.

Постановка проблеми. Імовірність природних катастроф (вивержень вулканів, землетрусів, повеней, селевих потоків тощо), а також аварій на різноманітних екологічно небезпечних підприємствах (хімічної, металургійної, електротехнічної, фармакологічної та інших галузей, добування корисних копалин тощо), різноманітних очисних спорудах забруднених стоків, складах отрутохімікатів

та добрив, гноєсховищах в агропромисловому комплексі, заскладованих запасах паливно-мастильних матеріалів, складах боєприпасів та вибухових речовин, під час транспортування екологічно небезпечних речовин тощо становить надзвичайно важливу проблему – розробка, планування й реалізація контрзаходів із метою захисту довкілля, зокрема здоров'я людини, від викинутих екотоксикантів. Для цього необхідна уніфікація цих заходів з огляду на специфіку їх застосування.

На основі аналізу науково обґрунтованих підходів проведено узагальнення наявних і перспективних методів добору стратегії контрзаходів у разі екологічних аварій і катастроф. Подано роз'яснення критерію вибору контрзаходів «користь–школа» з наголосом на першочерговість соціального чинника.

Актуальність дослідження. За постійного зростання (інтенсифікації) виробництва на екологічно небезпечних підприємствах (хімічної, металургійної, електротехнічної, фармакологічної та інших галузей), а також в агропромислових комплексах, збільшення об'єму каналізаційних стоків тощо є можливість наднормативних викидів і скидів (особливо за аварій) у довкілля екотоксикантів. Потрапляння до екосистеми техногенних забруднювачів – екотоксикантів (поллютантів) здатне спричинювати загибель живих організмів, уповільнювати, пригнічувати або зовсім припиняти біотичний кругообіг речовин чи потік енергії в екосистемах, що призводить до їх деградації чи навіть зникнення [4; 8].

Екотоксиканти різняться за хімічною будовою та фізико-хімічними властивостями, які визначають їх поведінку в довкіллі, вплив на біоту, зокрема й на здоров'я людини [5].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. У зв'язку з можливим викидом у довкілля екотоксикантів розроблені спеціальні контрзаходи, які повинні повністю переглядатись й оновлюватись на основі новітніх наукових досліджень. Контрзаходи (лат. *contra* – проти) – це заходи, які протидіють тому, що може спричинити негативний вплив. Стосовно екотоксикології – це, зокрема, вплив екотоксикантів на біоту і здоров'я людини [8].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Актуальною проблемою екотоксикології є розробка стратегії контрзаходів щодо можливих аварійних викидів і скидів екотоксикантів (як в атмосферу, а потім надходження до ґрунту та водоймищ, так і з каскадів водойм-деактиваторів й очисних споруд), планування контрзаходів та її реалізація [2].

Новизна. На основі проведеного аналізу запропонувати уніфіковані стратегічні підходи щодо розробки, планування й реалізації контрзаходів у разі аварійних викидів і скидів екотоксикантів у довкілля.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Екотоксиканти поділяються на природні, котрі виникають без участі людини (результати виверження вулканів, селєвих потоків, повеней тощо) й антропогенні, які спричинені діяльністю людини.

Антропогенна діяльність досягла таких масштабів, що забруднення довкілля стало глобальною проблемою: воно впливає на атмосферу, літосферу й гідросферу. Людина, яка є головним винуватцем виниклої екологічної ситуації, стає, поряд з іншою біотою, й основною її жертвою.

Виклад основного матеріалу. Серед антропогенних екотоксикантів є такі, виробництво яких або утворення, як побічних продуктів, зберігання у великих кількостях становить загрозу (ймовірність) виникнення проектних і позапроектних аварій. Насамперед, це різноманітні хімічні сполуки, особливо так звана «брудна дюжина», – за рішенням Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забрудники (СОЗ) від 22.05.2001 р., яка набула чинності в Україні 24.12.2007 р. (Стокгольмська конвенція, 2001): алдрін, гексахлорбензол (ГХБ), гептахлор, діелдрин, дихлордифенілтрихлоретан (ДДТ), ендрин, мірекс, поліхлоровані біфеніли (ПХБ), поліхлоровані-*n*-діоксини (ПХДД), поліхлоровані дибензофурані (ПХДФ), токсафен і хлордан. Загальна кількість СОЗ становить мінімум 36 сполук (8 пестицидів, 7 ізомерів (конгенерів) ПХДД, 10 ПХДФ і 11 ПХБ), які можуть бути доповнені іншими сполуками [1].

Серйозну загрозу довкіллю становлять важкі метали, викиди і скиди яких, зокрема аварійні, можуть відбуватись на підприємствах металургійної, електротехнічної та інших галузей промисловості, під час добування та збагачення руди тощо.

Одними з небезпечних для довкілля і здоров'я людини є радіоактивні матеріали, зокрема радіоактивні відходи (РАВ). Глобальною радіоекологічною катастрофою є аварія на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) 26.04.1986 р., за якої аварійний викид радіоізотопів становив за активністю близько 50 МКі (за деякими оцінками – до 90 МКі). Тільки загальна площа радіоактивного забруднення на території колишнього СРСР становила близько 100 тис км² із населенням майже 4,5 млн. осіб [3].

Агропромисловий комплекс у сучасних умовах продовжує бути одним з основних забрудників довкілля [6]. Сільськогосподарські забрудники – це, насамперед, різноманітні хімічні засоби захисту рослин (пестициди), які широко використовуються у процесі вирощування сільськогосподарської продукції [10], а також заскладовані, заборонені, але не утилізовані пестициди, чи зберігаються з порушенням правил, та склади добрив. Крім того, значної шкоди довкіллю завдають стоки із гнійосховищ і птишиного посліду, ветеринарних об'єктів, які містять стійкі антибіотики, що здатні спричинити набуття резистентності патогенними мікроорганізмами тощо. Джерелами екотоксикантів є теплоелектростан-

ції та мережі подачі теплоносіїв, нафто- і газогони, колектори каналізаційних мереж та станції очистки побутових і промислових відходів та ще багато інших.

Загрозу довкіллю і здоров'ю людини становлять також мікробіологічні забрудники, які пов'язані з масовим розмноженням мікроорганізмів на антропогенних субстратах або середовищах, що змінені у процесі господарської діяльності людини. Внесок у мікробіологічне забруднення довкілля надають підприємства промислового біосинтезу, у викидах і стоках яких присутні живі мікроорганізми [3]. Біотичні забруднення (не знезаражені продукти життєдіяльності живих організмів, зокрема, відходи ферм і птахофабрик, про що вже йшлося, харчові відходи, мертві організми тощо), котрі не встигли утилізуватись, можуть потрапляти, наприклад, із талими водами, у водосховища і спричинювати їх забруднення.

Кожне екологічнобезпечне підприємство повинне мати експертний висновок, який містить, зокрема:

1) оцінку реального, у процесі поточної експлуатації, можливого забруднення атмосфери, наземних та водних екосистем, а також агроекосистем регіону;

2) відомості про ймовірність проєктних і позапроєктних аварій, оцінку можливого рівня забруднення довкілля (атмосфери, наземних і водних екосистем, а також агроекосистем регіону) як за сприятливих, так й особливо несприятливих погодних умов.

Безумовним контрзаходом щодо потрапляння антропогенних екоотоксикантів у довкілля є беззаперечна заборона їх викидів і скидів, що неможливо, особливо на цю мить, яка характеризується інтенсифікацією виробничої та сільськогосподарської діяльності, застосуванням різноманітних побутових засобів, котрі містять екоотоксиканти [11; 12].

Тому в реальних умовах необхідно розробляти й використовувати спеціальні, залежно від масштабу та об'єктів забруднення, а також природи, дози й терміну перебування в довкіллі екоотоксикантів, контрзаходи для захисту населення й довкілля. Вони можуть бути локальні (в місці забруднення) й загальні (на всій забрудненій і прилеглої території).

Розроблено багато контрзаходів, з огляду на специфіку їх можливого застосування, кожний із яких спрямований на різні шляхи впливу конкретних екоотоксикантів на довкілля і здоров'я людини. У разі важких аварій на екологічно небезпечних підприємствах унаслідок розвитку небезпечного сценарію можлива навіть евакуація населення із забруднених територій та переселення людей, подібно до того, що було під час аварії на ЧАЕС. Але це повинно бути за можливості серйозного впливу екоотоксикантів на населення, а не так, як сталось у період аварії на ЧАЕС, коли населення м. Прип'ять було евакуйовано вже після перших найінтенсивніших викидів радіоактивних матеріалів в атмосферу та їх осадження. Несвоечасність евакуації призвела до перепромінення людей, які потім усе ж таки були евакуйовані та переселені.

У разі подібних аварій необхідно проводити безпосередньо захист населення – здійснювати санітарну обробку людей, контролювати продукти харчування й питну воду, за потреби надати необхідну медичну допомогу тощо.

Наступний етап контрзаходів – дезактивація забруднених територій, а для невідселеного населення, якщо в цьому не було потреби, – також реальний контроль здоров'я людей і продуктів харчування та питної води тощо.

Застосування таких дезактиваційних заходів, як, наприклад, глибока оранка забруднених ґрунтів, їх меліорація і зв'язування екоотоксикантів сорбентами, знижує індивідуальне навантаження в момент їх застосування, але з часом (може й через десятки років) та ж сама кількість стійких екоотоксикантів може потрапити в харчовий раціон, а менш стійкі – розпадуться (причому можливо навіть на більш токсичні речовини).

Є багато методів дезактивації ґрунту, очищення води й повітря. Серед них широко використовується метод біодеградації – технологія, яка базується на застосуванні живих організмів (найчастіше мікроорганізмів, рідше рослин) для очищення об'єктів довкілля від токсикантів [6].

Завжди під час розроблення, планування й реалізації контрзаходів оцінюють їх ефективність, критерієм чого є розрахунок співвідношення користь–школа. Оцінка користі контрзаходу ґрунтується на розрахунку вартості отримання очікуваного позитивного ефекту. Школа складається з оцінок суми витрат на певний контрзахід (наприклад, вапнування ґрунту наземних агроекосистем для зменшення потрапляння до сільськогосподарських рослин радіоізотопу ^{90}Sr , який був викинутий в атмосферу за радіаційної аварії на реакторі АЕС; контроль продуктів харчування й питної води тощо).

Порівняння вартості користі та шкоди (тобто вартості контрзаходу та його позитивних наслідків) дає змогу оцінити різницю між ними. Якщо вартість користі перевищує вартість шкоди внаслідок певних контрзаходів, то їх доцільно проводити. У разі, коли це розходження вартості невелике, чи навіть негативне (вартість користі більша, ніж шкоди), то використання таких контрзаходів у конкретних умовах недоцільно, виключення може становити тільки соціальна вигода.

Застосований термін «вартість» складається як з економічних оцінок, так й із соціальних. Соціальні також можна оцінити в економічних одиницях, але переважаюче значення має здоров'я людини, яке з погляду моралі неможливо оцінити грошима. Усе це, безумовно, не тільки береться до уваги, а й покладено в основу визначення доцільності проведення контрзаходів. Крім того, в порівняльній оцінці ефективності й оптимізації вибору контрзаходів потрібно враховувати їх вплив на параметри екосистем, основними серед яких є різноманітність, сума біомаси й чисельність видів.

Таким чином, необхідність застосування того чи іншого контрзаходу залежить від співвідношення користь–школа як для довкілля, так і для людини. Принциповим є те, що соціальний збиток і ризик, які пов'язані із заходами захисту населення, мають бути менші, ніж ризик від відверненої завдяки цього контрзаходу шкоди. На підставі розрахунків визначають оперативні рівні втручання (застосування контрзаходів) залежно від можливих навантажень екотоксикантами екосистем. Установлюють можливий верхній рівень забруднень екосистеми, вище за яким застосування певного контрзаходу вважається обов'язковим. Нижній рівень відповідає тому, коли встановлений збиток буде трохи нижчий (або відповідатиме з урахуванням соціальної компоненти) позитивному ефекту від застосування контрзаходу. Верхній і нижній рівні, за якими визначається необхідність певних контрзаходів, встановлюється національними нормативами. Якщо забруднення певними екотоксикантами перебуває в межах цих рівнів, доцільність вибору контрзаходу ґрунтується на конкретних розрахунках, соціальній необхідності, а також на економічних і технічних можливостях країни, де відбулась екотоксикологічна аварія (катастрофа).

Для прийняття рішень щодо вибору й реалізації контрзаходів в умовах аварійного забруднення довкілля екотоксикантами перебіг аварії поділяють, як правило, на три етапи: ранній, проміжний і відновний [7]. Ранній етап – це період від установаження загрози аварії, значного викиду чи скиду екотоксикантів у довкілля (початок аварії) та перші години (іноді

кілька діб) самої аварії. Наявні плани і сценарії можливої аварії передбачають проведення необхідних заходів, але основна складність цього етапу – неможливість реального передбачення розвитку подій.

Проміжний етап – це період від кількох годин (деколи кількох діб) від початку аварії до закінчення викиду чи скиду екотоксикантів у довкілля. Іноді в цей період можливе продовження неконтрольованих викидів чи скидів. Саме тоді уточнюється необхідність конкретних контрзаходів для довкілля й людини.

Відновний етап – це період прийняття рішень і вжиття необхідних заходів щодо повернення до нормального стану. Усі рішення щодо виконання контрзаходів та їх характеру приймають з урахуванням соціальних, економічних і технічних чинників.

Необхідно врахувати те, що деякі контрзаходи є доцільними тільки на окремих етапах аварії, коли вони ефективні та їх реалізація приносить користь.

Головні висновки. У разі наднормативних (аварійних) викидів і скидів екотоксикантів у довкілля для мінімізації їх впливу на біоту і здоров'я людини розробляються, плануються й реалізуються контрзаходи. У їхній основі лежить критерій розрахунку «користь–школа», визначення межі рівнів застосування з урахуванням масштабів аварії, природи, дози й часу можливої дії екотоксикантів.

Перспективи використання результатів дослідження. Застосування конкретних контрзаходів ґрунтується також на соціальній необхідності й технічних можливостях їх реалізації.

Література

1. Безвознюк И.И., Петрук Р.В., Мельник Т.В. Анализ свойств некоторых стойких органических загрязнителей. *Научные работы ВНТУ*, 2014. №3. С.1–5.
2. Біологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів / З.М. Шелест та ін. Київ : Кондор, 2007. 760 с.
3. Бобровський А.Л. Питання оцінки впливу на навколишнє середовище: монографія. Рівне : Принт Хауз, 2014. 543 с.
4. Гайченко В.А., Чайка В.М. Екологія. Короткий тлумачний словник. Київ : Компринт, 2017. 238 с.
5. Екологічна біохімія: навчальний посібник / В.М. Ісаєнко та ін. Київ : Книжкове видавництво НАУ, 2005. 440 с.
6. Жирнов В.В., Савченко Д.А. Біоконверсія відходів. Частина I. Київ : ДДП Експо-Друк, 2017. 302 с.
7. Кутлахмедов Ю. О., Войціцький В. М., Хижняк С. В. Радіобіологія : підручник. Київ : ВПЦ Київський університет, 2011. 543 с.
8. Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи : словник-довідник. Київ : Знання, 2002. 550 с.
9. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі від 22.05.2001 р. *Електронний ресурс*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_a07.
10. Хижняк С.В., Баранов Ю.С., Демченко В.Ф., Войціцький В.М. Пестициди та їх еколого-токсикологічна оцінка : монографія. Київ : ЦК «Компринт», 2019. 220 с.
11. Хижняк С.В., Войціцький В.М., Данчук В.В., Мідик С.В., Лапоша О.А., Ушкалов В.О. Шляхи міграції стійких пестицидів трофічними ланцюгами наземних і водних екосистем. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Т. 10, № 1–2. С. 36–43. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/bio2018.01.005>.
12. Voitsitskiy V.M., Danchuk V.V., Ushkalov V.O., Midyk S.V., Kepple O.Yu., Danchuk O.V., Shevchenko L.V. Migration of antibiotics residual quantities in aquatic ecosystems. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9(3), 280–286. DOI: 10.15421/2019_742.

ВИКОРИСТАННЯ НОРМАЛІЗОВАНОГО ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ (NDVI) ДЛЯ ОЦІНКИ РІЗНОМАНІТТЯ ДИКИХ БДЖІЛ (HYMENOPTERA, APOIDEA)

Гончар Г.Ю.

ДУ «Інститут еволюційної екології Національної академії наук України»
вул. Акад. Лебедєва, 37, 03143, м. Київ
apantova@ukr.net

Дикі бджоли (Hymenoptera, Apoidea) є найкращими запилювачами більшості квіткових рослин, але внаслідок діяльності людини вони потерпають від багатьох негативних факторів впливу та скорочують чисельність популяцій в усьому світі. Міські парки, сади, сквери та інші зелені території міста набувають останнім часом більшої значимості у збереженні цих комах. Стандартні методи фауністичних досліджень полягають у ретельному зборі комах, який передбачає масове їх вилучення із природи, та мають певний сенс під час детальних досліджень їх видової та популяційної структур. Але для первинної оцінки різноманіття цих вразливих комах варто використовувати методи, які завдають найменшої шкоди природним угрупованням. Таке завдання можуть вирішити методи аналізу супутникових знімків земної поверхні і, зокрема, розроблений на основі цього нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI). Цей індекс є показником фотосинтетичної активної біомаси та характеризує продуктивність рослинних угруповань. Найголовнішим ресурсом для бджіл є пилок та нектар різноманітних видів квіткових рослин, а отже, аналізуючи стан рослинності, можна опосередковано передбачати різноманіття диких бджіл. У нашому дослідженні ми обраховували значення вегетаційного індексу у 2018 році на різних територіях Києва, а оцінка різноманіття диких бджіл була проведена за стандартними методиками. За результатами нашого дослідження виявлено значимі кореляції між різноманіттям диких бджіл, різноманіттям квіткових угруповань та значеннями вегетаційного індексу NDVI. Так, за умов зростання значення цього індексу спостерігається значне квіткове різноманіття та, відповідно, високе різноманіття диких бджіл. Низькі значення індексу NDVI (нижче 0,5) свідчать про низьке різноманіття угруповань рослин та диких бджіл.

Отже, використання індексу NDVI з урахуванням особливостей біотопу для оцінки різноманіття диких бджіл у гетерогенних міських територіях є перспективним. *Ключові слова:* Нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI, індекси різноманіття, дикі бджоли, міські біотопи.

The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to estimate the diversity of wild bees (Hymenoptera, Apoidea) Honchar H.

Wild bees (Hymenoptera, Apoidea) are important pollinators of most flowering plant species. As a result of human activity populations of many wild bees species have drastically declined worldwide. Urban parks, gardens, squares and other green areas of the city are increasingly important in the conservation of these insects. The standard methods of faunal sampling research are the careful collection of series specimens of all species which leads to their mass removal from nature and have an important statistical meaning for detailed studies of the species composition and population structure. But for an initial assessment of the diversity of these vulnerable insects, methods should be used that cause the least damage. Such a problem can be solved by methods of analysis of satellite images of the earth's surface, and in particular, a normalized differential vegetation index (NDVI) has been developed on the basis of this. This index is an indicator of photosynthetic active biomass and characterizes the productivity of plant communities. The most important resource for bees is pollen and nectar of various species of flowering plants, and therefore, by analyzing the plant community allows to indirectly estimate the diversity of wild bees.

In our study, we estimated the values of the vegetation index (NDVI) during the period 2012–2018 in various territories of Kyiv, and assessment of the diversity of wild bees was carried out according to standard methods. According to the results of our study, significant correlations between the diversity of wild bees, the variety of flower groups and the values of the index NDVI were revealed. Therefore, with an increase in the value of NDVI index, a significant flower diversity is observed, and, accordingly, high diversity of wild bees. Low values of the NDVI index (below 0.5) indicate a low diversity of plant and wild bee groups. Thus, the use of the NDVI index taking into account the characteristics of the biotope for assessing the diversity of wild bees in heterogeneous urban areas has the potential. *Key words:* Normalized differential vegetative index NDVI, diversity indices, wild bees, urban biotopes.

Постановка проблеми. Стандартизовані польові методи оцінки різноманіття тваринного чи рослинного угруповань проти супутникового дистанційного зондування є достатньо трудомісткими. Методики фауністичних досліджень вимагають, окрім постійного спостереження протягом усього сезону активності, також і вилучення об'єктів спостереження із середовища для подальшої видової ідентифікації тощо. Такі заходи є виправданими та дають змогу

цілісно оцінювати склад угруповання за багатьма параметрами (таксономічне різноманіття, чисельність, статевий склад). Утім, об'ємні дослідження з вилученням особин можуть мати негативні наслідки, призводити до скорочення популяцій різних видів та порушувати функціонування сталих систем відносин у природі. Супутникові методи з використанням космічних знімків земної поверхні різної роздільної здатності дозволяють досить ефек-

тивно аналізувати великі обсяги просторових даних (Prince et al., 1995, Eastman, et al., 2013, Tuanmu et al., 2015). Зокрема вегетаційні індекси, розрахунок яких базується на обрахуванні спектральної відбивної здатності рослин, надають змогу оцінити стан та склад рослинності, її щільність, і загалом продуктивність угруповання (Carlson et al., 1997, Jiang, et al., 2006, Pettorelli, et al., 2005, 2011, Johansen et al., 2014).

Актуальність дослідження. Дикі бджоли як одні із найкращих запилювачів більшості квіткових рослин останнім часом потерпають від дії багатьох факторів, спричинених діяльністю людини, та катастрофічно скорочують чисельність популяції (Klein et al., 2007, Potts et al., 2010, Smitley, 2018). Ці комахи харчуються нектаром та пилом, вся їхня життєдіяльність пов'язана із квітковими рослинами. Значне різноманіття диких бджіл (у світі – близько 20 000 видів (Michener, 2007) пов'язане безпосередньо із квітковим різноманіттям. Інтенсивне сільське господарство призвело до втрат різноманіття комах, тому міські біотопи стають більш значимими у збереженні диких бджіл (Winfree et al., 2009, Sanderson & Hufon, 2011). Численні парки, алеї, зони відпочинку в місті відрізняються достатнім потенціалом до збереження принаймні найбільш поширених та екологічно пластичних видів бджіл (Banaszak-Cibicka et al., 2012). Проведення повноцінного дослідження угруповань диких бджіл ускладнено саме необхідністю відлову особин, тому для первинної оцінки різноманіття краще застосовувати такі методи, які завдають найменшої шкоди природним об'єктам.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконувалась та продовжує виконуватись за НДР «Структурно-функціональні аспекти таксономічного й ценотичного біорізноманіття за різних екологічних умов». Починаючи із 2012 року було досліджено видове різноманіття диких бджіл на території Києва (згадування відповідних робіт у статті нижче), складено видові списки, висвітлено дані про трофічні зв'язки цих комах на територіях із різним ступенем антропогенного навантаження, також означені території, де зафіксовані рідкісні види та види із Червоної Книги України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Один із поширених вегетаційних індексів є нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI, який характеризує міру фотосинтетичної активності біомаси (Tucker and Sellers, 1986) та чисту первинну продуктивність (Wu et al., 2014, Pettorelli et al., 2005). Навіть у невеликому просторовому масштабі він виявляє зв'язок між багатством видів рослин і безхребетних (Gould, 2000; Lassau & Hochuli, 2008). Відомо, що для рослинності індекс NDVI коливається від -1 до +1, і набуває високих значень за умов максимальних показників зеленої фітомаси (Weiss et al., 2004, Черепанов, Дружиніна, 2009). Цей індекс також є індикатором стану рослинності (Meneses-

Tovar, 2011), де його зменшення вказує на зменшення загальної біомаси (Gross, 2005).

Вважається, що для угруповань комах придатність супутникових метрик недостатньо досліджена (Hofmann et al., 2017). Використання супутникових знімків для оцінки різноманіття диких бджіл може мати регіональні особливості. Так, у субекваторіальних регіонах Індії різноманіття диких бджіл було пов'язане з високими значеннями NDVI (Basu et al., 2016), але в помірних зонах й особливо у змінених людиною екосистемах NDVI лише частково пояснює різноманіття диких бджіл (de Palma et al., 2015, Flores et al., 2018), так само, як й у тропічній зоні (Knoll et al., 2012). Загалом, різноманіття диких бджіл залежить від ландшафтної гетерогенності, що впливає на показники вегетаційного індексу (Batary et al., 2011, Boscolo et al., 2017).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Як зазначалось вище, індекс NDVI використовувався в дослідженні різноманіття насамперед рослин та, опосередковано, тварин.

Новизна. Метою нашого дослідження є виявлення зв'язку нормалізованого диференційного вегетаційного індексу NDVI з показниками різноманіття угруповань диких бджіл та квіткових рослин на територіях міста, що раніше дослідниками не розглядалось.

Методологічне або загальнонаукове значення. Матеріали й методи дослідження. Дослідження було проведено у 2018 році на територіях міста Києва, які відрізняються за рослинним покривом, ступенем антропогенних порушень та цільовим призначенням використання: регіональний ландшафтний парк «Лиса Гора», НБС ім. М.М. Гришка НАН України, ППСМ «Феофанія», парк-урочище «Бабин Яр», ППСМ «Феофанія», парк Партизанської Слави, Нивки, Святошинський лісопарк, Дніпровські острови – о. Муромець, о. Гідропарк та вул. Заболотного, 104–148.

Для характеристики рослинного покриву обраховували значення нормалізованого диференційного вегетаційного індексу NDVI. NDVI розраховували так: $NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$, де NIR – спектральний коефіцієнт відбиття у ближній інфрачервоній області спектру, а VIS – спектральний коефіцієнт відбиття у видимому (червоному) діапазоні (Wu et al. 2010).

Тимчасові ряди значення NDVI були усереднені для кожного місяця та року із квітня до вересня для кожного типу модельної території.

Дослідження диких бджіл проводилось за загальноприйнятою методикою – індивідуальний відлов із квітучих рослин на трансектах (Песенко, 1982). Отримані особини комах вилучались із середовища для подальшої ідентифікації. Видовий склад та щільність квітучих рослин фіксували на визначеній площі в кожному біотопі.

Для оцінки угруповань диких бджіл та квіткових рослин використовували загальнозживані індекси різноманіття (Magurran, 2013):

– індекс домінування Сімпсона: $D = -\sum((n_i/n)^2)$, де n_i – кількість особин кожного i -виду, n – сумарна чисельність особин усіх аналізованих видів;

– індекс видового різноманіття Шеннона: $H = -\sum((n_i/n)\ln(n_i/n))$;

– індекс однорідності угруповання, значення якого зростають за умови збільшення у видовій

структурі частки масових видів: $e^{H/S}$, де H – індекс Шеннона, S – кількість видів.

Для виявлення зв'язків між досліджуваними параметрами обраховували коефіцієнт кореляції Пірсона.

Виклад основного матеріалу. Зв'язок індексу NDVI з різноманіттям рослинних угруповань

За обчисленими показниками значень вегетаційного індексу досліджувані нами території мали деякі відмінності, як сезонні, так і річні, хоча середній

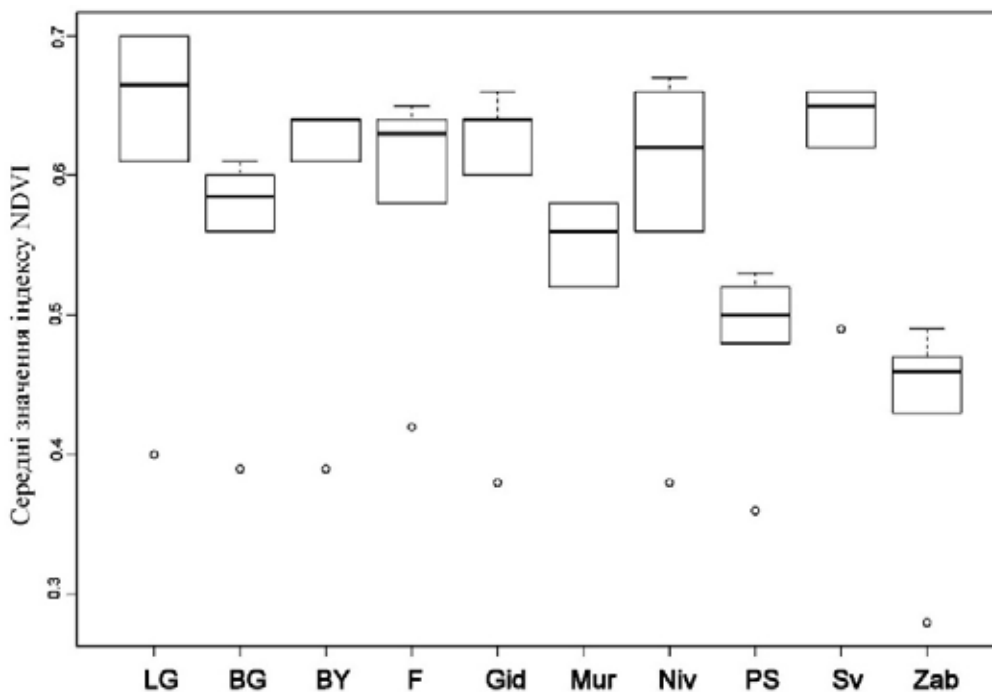


Рис. 1. Середні річні значення вегетаційного індексу NDVI у 2018 р.

Умовні позначення: LG – «Лиса Гора»; BG – НБС ім. М.М. Гришка; BY – парк-урочище «Бабин Яр»; F – ППСІМ «Феофанія»; Gid – о. Гідропарк; Mur – о. Муромець; Niv – «Нивки»; PS – парк Партизанської Слави; Sv – Святошинський лісопарк; Zab – вул. Акад. Заболотного, 104–148

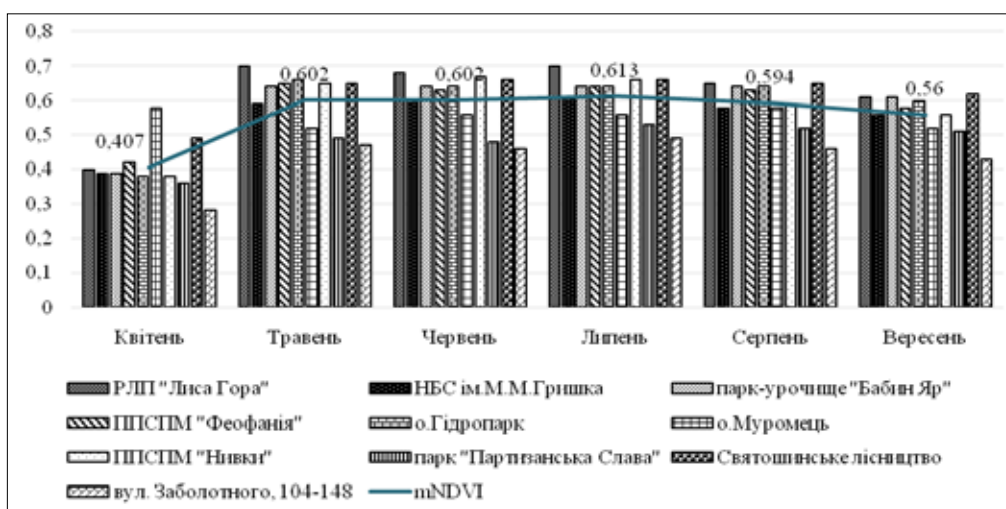


Рис. 2. Середні місячні значення для модельних територій (2018 р).

mNDVI – середнє місячне значення для міста

показник у місті в період нашого дослідження коливався від 0,51 до 0,56 (рис. 1).

На деяких із модельних територій високий показник середніх значень NDVI був зумовлений густим лісовим покривом, наприклад, «Лиса Гора» та Святошинське лісництво, а також та частина парків, які мають великі масиви лісових біотопів. Так, відповідно, сезонні відмінності в показниках значень вегетаційного індексу залежали від біотопу також (рис. 2).

Найбільш продуктивним періодом у формуванні значної зеленої біомаси є проміжок часу із травня до липня (рис.2). Серед обраних модельних територій низький середній рівень NDVI за рік та вегетаційний сезон зауважений на вул. Заболотного (104–148) – це зелені насадження вздовж автодоріг та залишки ґрунтового покриву, зайняті газонами. Досліджені Дніпровські острови мали середні значення вегетаційного індексу, що можна пояснити переважанням на цих територіях відкритих ділянок, не зайнятих лісовою рослинністю.

Між обрахованим вегетаційним індексом та індексами різноманіття угруповань квіткових рослин нами виявлені такі зв'язки (табл. 1):

Отже, різноманіття квіткових угруповань тісно пов'язане зі значеннями вегетаційного індексу, а високі значення NDVI свідчать про значне різноманіття фіторізноманіття. Відповідно, за умови збільшення домінування певного виду у структурі угруповання рослин (індекс домінування Сімпсона та однорідності угруповання), в умовах міста знижуються показники вегетаційного індексу.

Щодо угруповання диких бджіл, ми не приводимо детальний видовий склад та їх основні характеристики на обраних модельних територіях, це наведено в наших попередніх роботах (Гончар, 2017, Гончар, Гнатюк 2018, Радченко, Гончар, 2019). Загалом, для найбільших Київських парків, НБС ім. М.М. Гришка, Дніпровських островів відомо близько 230 видів диких бджіл із 44 родів, загальна таксономічна структура зображена на рис. 3.

За нашими даними Київ характеризується значним видовим різноманіттям диких бджіл, серед яких трапляються також і рідкісні види та види, котрі знаходяться під охороною Червоної Книги України. Відповідно, для існування такого різноманіття бджіл мають бути відповідні умови – достатня кількість

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції індексів різноманіття рослинних угруповань модельних територій та вегетаційного індексу NDVI (за 2018 рік)
(* – коефіцієнт кореляції достовірний за умови $p \leq 0.05$)

Значення NDVI	Індекс різноманіття Шеннона	Індекс домінування Сімпсона	Індекс однорідності угруповання
Квітень	0.70*	-0.68*	0.01
Травень	0.78*	-0.78*	-0.40
Червень	0.79*	-0.77*	-0.30
Липень	0.71*	-0.71*	-0.14
Серпень	0.73*	-0.73*	-0.18
Вересень	0.75*	-0.74*	-0.27

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції між вегетаційним індексом NDVI, індексами різноманіття квіткових рослин та угруповань диких бджіл на модельних територіях міста
(* – коефіцієнт кореляції достовірний за $p \leq 0.05$)

Індекси різноманіття та NDVI	$S_{\text{бджіл}}$	Індекс домінування Сімпсона $_{\text{бджіл}}$	Індекс різноманіття Шеннона $_{\text{бджіл}}$	Індекс однорідності угруповання $_{\text{бджіл}}$
$S_{\text{рослин}}$	0.86*	-0.61	0.73*	-0.81*
Індекс домінування Сімпсона	-0.61	0.99*	-0.98*	0.74*
Індекс різноманіття Шеннона	0.74*	-0.95*	0.98*	-0.80*
Індекс однорідності угруповання	-0.58	0.60*	-0.64*	0.74*
NDVI Квітень	0.42	-0.65*	0.66*	-0.32
NDVI Травень	0.54	-0.77*	0.76*	-0.65*
NDVI Червень	0.57	-0.74*	0.75*	-0.65*
NDVI Липень	0.34	-0.69*	0.67*	-0.36
NDVI Серпень	0.41	-0.71*	0.70*	-0.42

S – кількість видів (бджіл та квітучих рослин, відповідно).

квіткових ресурсів та необхідні місця гніздування. Загалом, місця гніздування в різних біотопах міста більш-менш наявні (бджоли роблять гнізда у ґрунті, в порожнистих стеблах рослин, у різних порожнинах). Але квіткові ресурси можуть бути недостатні.

Між різноманіттям бджіл та квіткових рослин є тісні зв'язки, адже кількість видів бджіл залежить від різноманіття квіткових рослин. За нашими даними коефіцієнт кореляції між цими показниками складає $r = -0.86$ ($p < 0.05$). Серед обрхованими нами найбільш поширеними індексами різноманіття для угруповань диких бджіл, квіткових рослин та вегетаційним індексом установлені такі коефіцієнти кореляції ($p < 0.05$) (таблиця 2).

Використані індекси різноманіття є інформативними для опису угруповань, адже дають змогу оцінити видове різноманіття, рівень домінування окремих видів, рівномірність розподілу видів в угрупованнях. Відповідно до наших даних кількість видів диких бджіл залежить від різноманіття квіткового угруповання. Так, коефіцієнт кореляції між індексом різноманіття Шеннона рослинного угруповання та кількістю видів бджіл дорівнює 0,74. Нами помічений негативний зв'язок між $S_{\text{бджіл}}$ та індексом однорідності квіткового угруповання ($r = -0,58$), що може свідчити про зменшення кількості видів бджіл за умови збільшення домінування окремих видів рослин. Так само видова структура цих комах стає більш нерівномірною за умови зменшення індексу різноманіття квіткового угруповання.

Коефіцієнти кореляції індексу домінування Сімпсона й різноманіття Шеннона угруповань диких бджіл та вегетаційного індексу NDVI також є значимими. Але інтерпретація таких високих значень має бути обережною. Так, за умов зростання вегетаційного індексу збільшується різноманіття диких бджіл, але високі значення NDVI характерні в нашому

дослідженні для територій зі значним переважанням площ деревних насаджень та лісових біотопів. Як відомо, в помірній зоні в біотопах із переважанням широколистяних лісових культур різноманіття бджіл не є високим (Winfree et al. 2007), тому найвищі значення цього вегетаційного індексу – в не порушених, виключно лісових, біотопах не завжди тісно корелюють із різноманіттям саме бджіл. Продуктивність біотопів зі значною домішкою хвойних лісів, за нашими результатами, також мають підвищені значення (рисунки 1, 2), але так само, як і в широколистяних лісах, – різноманіття бджіл не відрізняється максимальними значеннями внаслідок відсутності численних квітучих рослин. Як зазначалось вище, різноманіття бджіл більшою мірою залежать від різноманіття квіткових рослин, які не є доміантним класом у лісових біотопах. Для території РЛП «Лиса Гора» характерні високі значення NDVI (рисунок 1) та значне різноманіття диких бджіл. Але ця місцевість містить також і великі за площею відкриті біотопи із розрідженою та лучною рослинністю і є значною мірою порушеною внаслідок антропогенного пресу, який спричинює деградацію лісових біотопів (Козир, 2013). Відповідно, ці чинники формують збільшення ролі трав'янистих квітучих рослин, що впливає на різноманіття цих комах.

Отже, між показниками різноманіття диких бджіл, квіткових угруповань та значень вегетаційного індексу наявні прямі та опосередковані зв'язки. Низькі значення вегетаційного індексу (середні значення періоду квітень–серпень – нижче 0,5) свідчать про низьке різноманіття як квіткових угруповань, так і, відповідно, диких бджіл. Більш високі значення NDVI (більше 0,62) пов'язані з рослинним різноманіттям здебільшого лісових біотопів та деревостанів, які за певних умов указують на різноманіття диких бджіл.

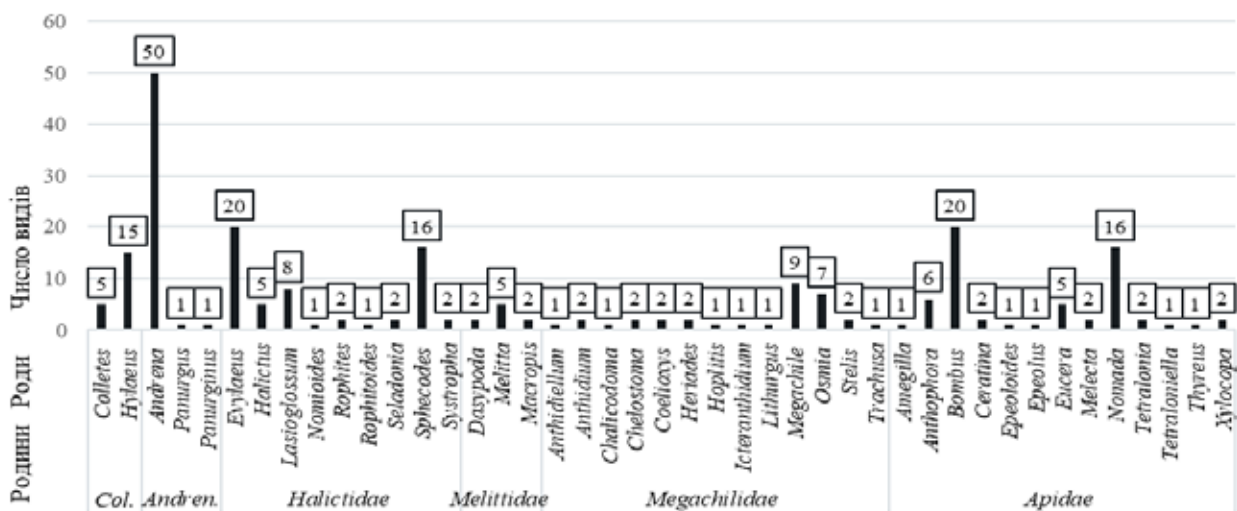


Рис. 3. Таксономічне різноманіття диких бджіл (Hymenoptera, Apoidea) на модельних територіях, м. Київ
Скорочення: Col. – родина Colletidae; Andren. – родина Andrenidae

Головні висновки. Міські парки, сквери, зелені насадження є осередками збереження біорізноманіття, зокрема багатьох квіткових рослин та комах запилювачів. З огляду на тотальне скорочення популяцій диких бджіл постає питання їх збереження, а задля цього – їх моніторингу. Для первинної оцінки рослинного різноманіття та різноманіття диких бджіл запропоновано використовувати супутникові методи діагностики земної поверхні – вегетаційний індекс NDVI.

За нашими обрахунками встановлено, що для міських біотопів різного типу (парки, сквери, тощо) значення NDVI коливалось у межах від 0,51 до 0,56, а в період найактивнішої вегетації (травень–липень) – від 0,47 до 0,7. За показниками цього індексу досліджувані території відрізнялись: найменше значення зафіксовано для зелених насаджень на вул. Заболотного, 104–148, найвищі – для РЛП «Лиса Гора».

Між показником NDVI та індексами різноманіття квіткових угруповань виявлено достовірні кореляції. Так, коефіцієнт кореляції між індексом різноманіття Шеннона та щомісячними середніми значеннями у вегетаційний сезон індексу NDVI дорівнював

у середньому $r = 0,7$ ($p \leq 0,05$), а з індексом домінування – кореляції з негативним значенням від $-0,68$.

Між показниками різноманіття угруповань диких бджіл та квіткових рослин також встановлено достовірні високі коефіцієнти кореляції. Так, між кількістю видів диких бджіл та кількістю видів квіткових рослин він дорівнював 0,86, а між індексами різноманіття бджіл та рослинних угруповань $-0,73$.

Наявність зв'язку між вегетаційним індексом NDVI та індексами різноманіття диких бджіл необхідно інтерпретувати з огляду на загальну характеристику біотопу. Виключно лісові біотопи (Святошинський ліс) мають високі значення NDVI, але низьке різноманіття саме квітучих рослин, унаслідок чого різноманіття диких бджіл на таких територіях низьке. Значення усередненого вегетаційного індексу в період із квітня до серпня нижче 0,5 характеризує збіднені угруповання.

Перспективи використання результатів дослідження: отримані нами результати можуть бути використані з метою первинного збору інформації та оцінки біорізноманіття в міських гетерогенних зелених зонах.

Література

1. Banaszak-Cibicka W., Żmihorski M. Wild bees along an urban gradient: winners and losers. *Journal of Insect Conservation*. 2012. № 16(3). P. 331–343.
2. Basu P., Parui A. K., Chatterjee S., Dutta A., Chakraborty P., Roberts S., Smith B. Scale dependent drivers of wild bee diversity in tropical heterogeneous agricultural landscapes. *Ecology and evolution*. 2016. № 6(19) P. 6983–6992.
3. Batory P., Baldi A., Kleijn D., Tschamntke T. Landscape-moderated biodiversity effects of agri-environmental management: a meta-analysis. *Proceedings of Biological Science*. 2011. № 278(1713) P. 1894–902.
4. Boscolo D., Tokumoto P., Ferreira P., Ribeiro J., DosSantos J. Positive responses of flower visiting bees to landscape heterogeneity depend on functional connectivity levels. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2017. № 15(1). P. 18–24.
5. Carlson T. N., Ripley D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote sensing of Environment*. 1997. № 62(3). P. 241–252.
6. De Palma A., Kuhlmann M., Roberts S., Potts S., Börger L., Hudson L., Lysenko I., Newbold T., Purvis A. Ecological traits affect the sensitivity of bees to land-use pressures in European agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*. 2015. № 52(6). P. 1567–1577.
7. Eastman J. R., Sangermano F., Machado E. A., Rogan J., Anyamba A. Global trends in seasonality of normalized difference vegetation index (NDVI), 1982–2011. *Remote Sensing*. 2013. № 5(10). P. 4799–4818.
8. Flores L. M., Zanette L. R., Araujo F. S. Effects of habitat simplification on assemblages of cavity nesting bees and wasps in a semiarid neotropical conservation area. *Biodiversity and conservation*. 2018. № 27(2). P. 311–328.
9. Gould W. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. *Ecological Applications*. 2000. № 10. P. 1861–1870.
10. Gross D. Monitoring agricultural biomass using NDVI time series. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2005. 17 p.
11. Hofmann S., Everaars J., Schweiger O., Frenzel M., Bannehr L., Cord A. F. Modelling patterns of Pollinator species richness and diversity using satellite image texture *PloS one*. 2017. № 12(10).
12. Jiang Z., Huete A. R., Chen J., Chen Y., Li J., Yan G., Zhang X. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote sensing of environment*. 2006. № 101(3) P. 366–378.
13. Johansen B., Tømmervik H. The relationship between phytomass, NDVI and vegetation communities on Svalbard. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014. № 27. P. 20–30.
14. Klein A.M., Vaissière B.E., Cane J.H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S.A., Kremen C., Tschamntke T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society*. 2007. № 274. P. 303–313.
15. Knoll F. D., Penatti N. C. Habitat fragmentation effects on the orchid bee communities in remnant forests of southeastern Brazil. *Neotropical entomology*. 2012. № 41(5). P. 355–365.
16. Lassau S.A., Hochuli D.F. Testing predictions of beetle community patterns derived empirically using remote sensing. *Diversity and Distributions*. 2008. № 14. P. 138–147.
17. Magurran A. E. *Measuring biological diversity*. John Wiley & Sons. 2013. 264 p.
18. Meneses-Tovar C. L. NDVI as indicator of degradation. *Unasylva*. 2011. № 62. P. 39–46.
19. Michener C. D.. *The bees of the world*. JHU press. 2007. 992 p.

20. Pettorelli N., Ryan S., Mueller T., Bunnefeld N., Jędrzejewska B., Lima M., Kausrud K. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate research*. 2011. 46(1). P. 15–27.
21. Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Gaillard J.M. Tucker, C.J., Stenseth N.C. Using the satellite derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*. 2005. № 20. P. 503–510.
22. Potts S.G., Biesmeijer J.C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin, W.E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*. 2010. № 25(6). P. 345–353.
23. Prince S.D., Goetz S.J., Goward S.N., Monitoring primary productivity from earthobserving satellites. *Water, Air, and Soil Pollution*. 1995. № 82. P. 509–522.
24. Sanderson E.W., Huron, A. Conservation in the city. *Conservation Biology*. 2011. № 25. P. 421–423.
25. Smitley D. Marketing the ecosystem services provided by food plants for pollinators. In *Proceedings of the 2017 Annual Meeting of the International Plant Propagators' Society 1212*. 2017, P. 101–102.
26. Tuanmu M-N., Jetz W. A global, remote sensing-based characterization of terrestrial habitat heterogeneity for biodiversity and ecosystem modelling. *Glob Ecol Biogeogr*. 2015. 24. P. 1329–1339.
27. Tucker C. J., Sellers P. Satellite remote sensing of primary production. *Int. J. Remote Sens*. 1986. № 7. P. 1395–1416.
28. Weiss J. L., Gutzler D. S., Coonrod J. E. A., Dahm C. N. Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments*. 2004. № 58(2). P. 249–272.
29. Winfree R., Williams N.M., Dushoff J., Kremen C. Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses. *Ecology Letters*. 2007. № 10. P. 1105–1113.
30. Wu W., Yang P., Tang P. H., Zhou Q., Chen Z., Shibasaki R.. Characterizing spatial patterns of phenology in cropland of China based on remotely sensed data. *Agric.Sci. China*. 2010. № 9. P. 101–112.
31. Wu X., Lv M., Jin Z., Michishita R., Chen J., Tian H. Normalized difference vegetation index dynamic and spatiotemporal distribution of migratory birds in the Poyang Lake wetland. *China. Ecol. Indic*. 2014. № 47. P. 217–230.
32. Гончар Г.Ю., Гнатюк А.М. Різноманіття диких бджіл (Hymenoptera: Apoidea) Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України. *Вісті Харків. ентомол. т-ва*. 2018. № 26(2). С. 33–42.
33. Гончар Г.Ю. Видовий состав и экологические особенности диких пчёл (Hymenoptera: Apoidea) Днепровских островов г. Киева. *Изв. Харьк. энт. о-ва*. 2017. № 25(2). С. 11–21.
34. Козир М.С. Лісова рослинність урочища «Ліса Гора» (Київ). *Екосистеми, їх оптимізація і охрана*. 2013. № 8(27). С. 71–77.
35. Песенко, Ю.А. (1982). *Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях*. Москва : Наука, 1982. 285 с.
36. Радченко В.Г., Гончар Г.Ю. Видове різноманіття диких бджіл (Hymenoptera: Apoidea) у парках Києва. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія : Біологія*. 2019. № 78(2). С. 40–49.
37. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. *Геоматика*. 2009. № 3. С. 28–32.

СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ЦИНКУ(II) ОКСИДУ: ОГЛЯД

Гуцул Х.Р., Іваненко І.М.

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

Напівпровідники є невід'ємною частиною сучасного світу, вони становлять основу багатьох електронних пристроїв, таких як комп'ютери, стільникові телефони, світлодіоди та дисплеї. Численні технології та галузі промисловості, такі як електротехніка, фотоелектрика та оптоелектроніка, базуються на неорганічних напівпровідникових матеріалах.

Недорогий, поширений і нетоксичний оксид цинку (ZnO) відноситься до перспективних напівпровідникових матеріалів. Унікальні механічні та фізичні (п'єзоелектричні, сегнето-електричні, електрооптичні, акустико-оптичні, люмінесцентні) властивості цього матеріалу відкривають широкі можливості його застосування в мікро- й оптоелектроніці, електротехніці, біомедицині тощо.

Бувши матеріалом із широкою забороненою зоною, оксид цинку є перспективним кандидатом на застосування як джерела автоелектронної емісії завдяки своїй тепловій, хімічній та механічній стійкості, а також завдяки малій спорідненості до електрону (оціночна робота виходу становить 4,45–4,50 eV).

Оксид цинку в останні роки отримав велику комерційну, а також широку дослідницьку зацікавленість. Близько 45% щорічного світового виробництва оксиду цинку використовують як активатор для пришвидшення вулканізації. Також він широко використовується у фармацевтичній та косметичній промисловості. Через його здатність знижувати термічне розширення та температуру плавлення його використовують у процесі виробництва келихів та кераміти. Найбільш широко він використовується в хімічній промисловості не тільки як вихідний матеріал, а також як каталізатор.

У поданій статті розглянуто напівпровідникові властивості оксиду цинку. Основними характеристиками цього показника є ширина забороненої зони ~3,3 eV, та енергія зв'язку екситону – 60 мЕВ. Представлена кристалічна структура вюрциту оксиду цинку, з якої випливає наявність в оксиді цинку п'єзоелектричні властивості.

Також наведені можливі методи одержання монокристалів ZnO: гідротермальний синтез; транспортні реакції в газовій фазі або в розплавах. Представлені методи отримання тонких плівок ZnO. Надано види морфологій оксиду цинку, які залежать від методу синтезу: квітка, нанорамка, порожниста сфера. Обумовлено вплив структури пластівців оксиду цинку на процес адсорбції та вилучення різних забруднень. Також розглянуто вплив допування на пористу структуру оксиду, його оптичні властивості та на процес адсорбції. Обумовлено поєднання наноструктур та допування, що дає можливість виготовляти складні матеріали з новими властивостями. *Ключові слова:* оксид цинку, напівпровідник, монокристал, наноструктура, синтез, адсорбція.

Structure and properties of zinc (II) oxide: review. Hutsul K., Ivanenko I.

Semiconductors are an integral part of the modern world, forming the basis of many electronic devices such as computers, cell phones, LEDs and displays. Numerous technologies and industries, such as electrical engineering, photovoltaics, and optoelectronics, are based on inorganic semiconductor materials.

Inexpensive, common and non-toxic zinc oxide refers to promising semiconductor materials. The unique mechanical and physical (piezoelectric, ferroelectric, electro-optical, acoustic-optical, luminescent) properties of this material open up wide possibilities for its use in micro- and optoelectronics, electrical engineering, biomedicine, etc.

Being a material with a wide bandgap zinc oxide is a promising candidate for using as a field emission source due to its thermal, chemical, and mechanical stability, as well as due to its low electron affinity (estimated work function is 4.45–4.50 eV).

Zinc oxide has received a great deal of commercial and extensive research interest in recent years. About 45% of the world's annual production of zinc oxide is used as an activator to accelerate vulcanization. It is also widely used in the pharmaceutical and cosmetic industries. Due to its ability to reduce thermal expansion and reduce the melting point, it is used in the manufacture of glasses and ceramics. It is most widely used in the chemical industry not only as a starting material but also as a catalyst.

This article deals with semiconductor properties of zinc oxide. The main characteristics of this indicator are the bandgap ~3.3 eV and the exciton binding energy is 60 mV. The crystalline structure of zinc oxide wurtzite from which the presence of zinc oxide has piezoelectronic properties is presented.

Possible methods for obtaining ZnO single crystals are also listed: hydrothermal synthesis; transport reactions in the gas phase or in melts. Methods of obtaining thin ZnO films are presented. Types of zinc oxide morphologies depending on the synthesis method are presented: flower, nanorrame, hollow sphere. The influence of the structure of zinc oxide flakes on the process of adsorption and removal of various kinds of contaminants is caused. The effect of doping on the porous structure of the oxide, its optical properties and on adsorption process is also considered. A combination of nanostructures and doping, which makes it possible to produce complex materials with new properties is described. *Key words:* zinc oxide, semiconductor, single crystal, nanostructure, syntesis, adsorption.

Постановка проблеми. *Напівпровідникові властивості оксиду цинку*

В останні десятиліття оксиду цинку приділяють багато уваги завдяки його напівпровідниковим властивостям: ширина його забороненої зони становить ~3,3 еВ, а енергія зв'язку екситону – 60 меВ [1].

Актуальність дослідження. Він характеризується високою рухливістю електронів, теплопровідністю та механічною стійкістю й має велике значення для оптоелектронних застосувань [2]. Є багато можливостей для застосування ZnO в електронних компонентах, таких як тонкоплівкові транзистори [3], фотоприймачі [4] або світлодіоди та лазерні діоди [5], які працюють в УФ-діапазоні. Ці компоненти можна виготовляти за допомогою процесів хімічного травлення, оскільки оксид цинку може розчинятись як у кислих, так і в лужних середовищах. Крім того, оксид цинку надзвичайно інертний до високоенергетичного випромінювання світла або іонів [6]. Монокристали ZnO високої чистоти можна отримувати гідротермальним синтезом [7], транспортними реакціями в газовій фазі [8] або в розплавах [9]. Тонкі плівки ZnO можуть бути осаджені за допомогою таких методів, як «магнетронне розпилювання» [10], «епітаксія молекулярного променя» [11], «імпульсне осадження лазером» [12], «хімічне осадження пари» [13], або «конденсація пари металоорганічних сполук» [14]. У стандартних умовах оксид цинку наявний у найбільш термодинамічно стійкій гексагональній кристалічній вюрцитовій структурі. Кожен аніон тетраedrально оточений чотирма катіонами й навпаки, як це показано на рис. 1.

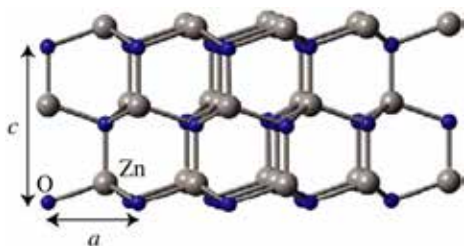


Рис. 1. Кристалічна структура вюрциту ZnO з константами решітки a і c [1]

Одинична комірка не містить інверсійного центру, це так званий клас полярних кристалів. Площини в напрямі [001] складаються або з катіонів (Zn), або з аніонів (O), і тому є полярними. Таким чином, ZnO має п'єзоелектричні властивості. Константи решітки ZnO у структурі вюрциту коливаються в межах 5,2042–5,2075 Å для c і 3,2475–3,2501 Å – для a. Вони можуть дещо відрізнитись залежно від концентрації вільних електронів, дефектів, наявності сторонніх атомів, а також від температури та дефектності кристалів [2].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. *Наноструктуровані матеріали оксиду цинку*

Наноструктуровані оксиди цинку привертають увагу дослідників завдяки своїм унікальним оптичним, електронним та каталітичним властивостям [15]. Оксид цинку у процесі синтезу може набувати різної морфології, а саме: форму наночастинок [16], порожнистих сфер [17], нанопровідників [18], нанотрубок [19], нанопластинок [20] тощо. Поруваті агрегати ZnO, які складаються з невеликих будівельних блоків, займають особливе місце серед різних конструкцій.

Виклад основного матеріалу. Вони поєднують у собі позитивні властивості частинок ZnO нано- та мікромасштабів. Як і наночастинки, вони мають велику площу поверхні, але прості в обробці, як мікрочастинки, й можуть ефективніше поглинати видиме світло завдяки ефекту розсіювання. Тому ієрархічно структуровані частинки ZnO використовуються у клітинах Грецеля [21], газових датчиках [21], у фотокаталізі тощо [22]. Різноманітні ієрархічно структуровані матеріали з різною морфологією можуть бути виготовлені з використанням низки технік. Поруваті шари ZnO можуть бути приготувані, наприклад, з ацетату цинку за наявності етиленгліколю як структуруючого шаблону сольво-термальним методом [23]. Водночас утворюється гідроцинкіт ($Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$), який може бути перетворений у пористий ZnO за умови подальшого прожарювання. Поруваті наночастинки, виготовлені з ацетату цинку, також можуть бути отримані шляхом самозбірки проміжних продуктів-попередників [24].

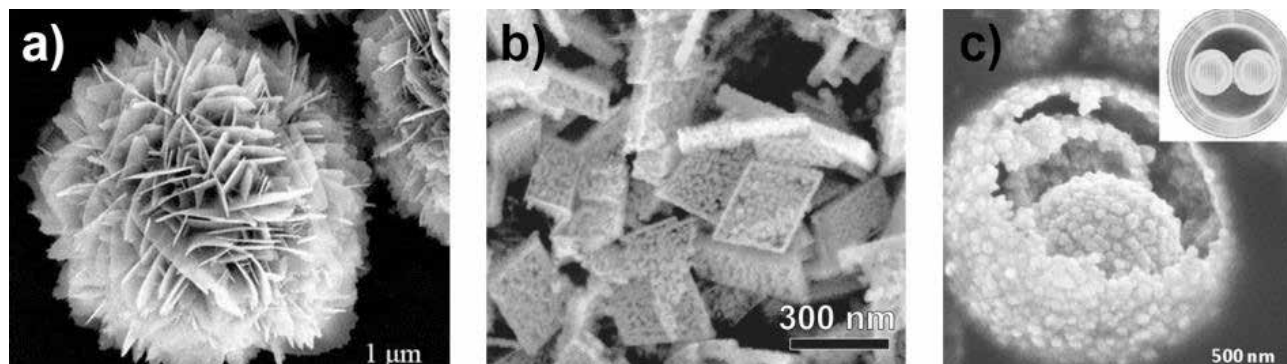


Рис. 2. ZnO у формі квітки (a) [27], нанорамки (b) [24] й порожнистої сфери (c) [25]

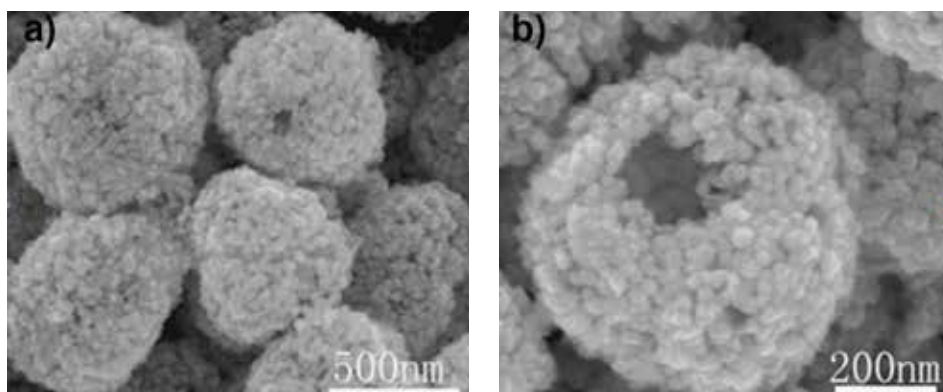


Рис. 3. Порожнисті сфери ZnO [21]

Навіть досить складні морфології, такі як порожнисті сфери, які містять ще дві ізольовані порожнисті сфери, можливо отримати модифікованим сольвотермальним методом [25]. Менш прогнозованим процесом є синтез ієрархічних структур у газовій фазі. Ділгер та інші продемонстрували синтез поруватих матеріалів із молекулярних попередників у газовій фазі. Різні морфології, такі як поруваті частинки, аерогелі та порожнисті сфери можуть бути отримані залежно від температури синтезу [26].

Оскільки оксид цинку є токсикологічно безпечним, його використовують для дезактивації забруднюючих речовин під час очищення стічних вод. Завдяки хорошим каталітичним властивостям за допомогою оксиду цинку можна відновлювати іони важких металів у водних розчинах під дією УФ-випромінювання. Наприклад, автори роботи показали, що наночастинки ZnO можуть фотокаталітично відновлювати іони Cr(IV) до Cr(III), які кількісно адсорбуються на поверхні ZnO й можуть бути видалені з розчину [28]. Органічні забруднювачі, такі як пентахлорфенол, також можуть фотокаталітично розкладатись під дією ультрафіолетового випромінювання за наявності ZnO [29]. Незважаючи на велику площу поверхні, наночастинки оксиду цинку невеликого розміру не підходять для цих застосувань, оскільки важко відокремлюються від очищуваних розчинів [30]. Ієрархічно структуровані в більші агрегати, частинки мають перевагу в тому, що в них також є висока площа поверхні, але вони

можуть бути легко відокремлені від водного розчину.

Чжао та інші повідомили про отримання поруватих ієрархічно структурованих порожнистих сфер ZnO мікрохвильовим сольвотермальним методом [21]. Порожнисті сфери синтезованого в такий спосіб оксиду цинку мали середній розмір – 580 нм і складались із невеликих наночастинок, розміром приблизно 30 нм, які самостійно агрегувались.

Завдяки ієрархічній структурі частинки мають мезопорувату структуру з порами діаметром ~23 нм і площею поверхні за BET ~33,6 м²/г. Властивості поруватих порожнистих сфер тестували у процесах адсорбції важких металів на прикладі Cr(VI) та експериментально довели, що їх адсорбційна здатність значно залежить від питомої площі поверхні [23].

Через порувату структуру пластівці мають значно високу BET поверхню – 147 м²/г та можуть адсорбувати велику кількість Cu(II). Адсорбційна здатність збільшується зі збільшенням концентрації іонів Cu(II) у розчині; поведінки насичення не спостерігалось. Пористі пластівці показали величезну адсорбційну здатність – понад 1 600 мг/г. Це було пояснено за допомогою багат шарового механізму адсорбції. Гідратовані іони Cu(II) можуть частково гідролізуватись та утворювати зв'язки Cu-O-Cu. У процесі подальшого дослідження Ван та інші показали, що пористі порожнисті сфери ZnO, поверхня яких складається з невеликих нанопластинок, також адсорбують велику кількість токсичних важких металів, таких як Pb(II), Cd(II) та Ni(II) [31]. Шляхом гід-

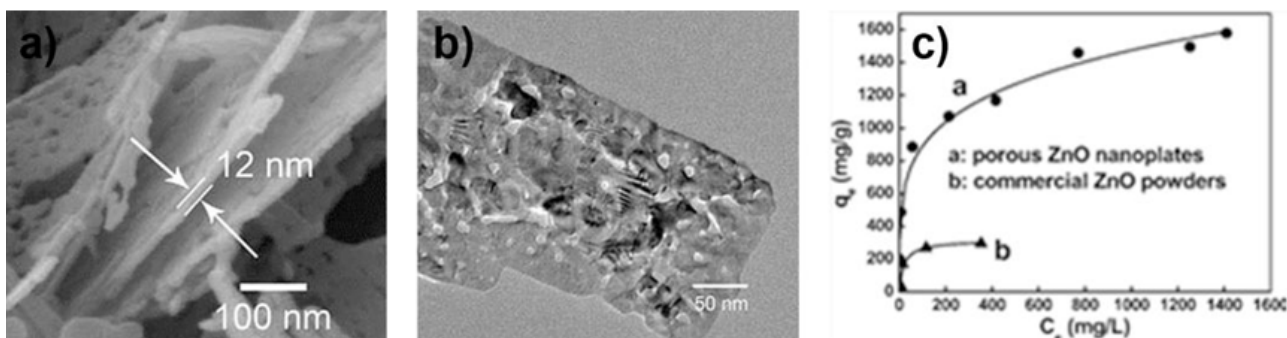


Рис. 4. Поруваті нанопластижки ZnO та їх адсорбційна ємність Cu(II) [23]

ротермального вирощування за наявності джерела сірки нанопластинки, доповані іонами Pb(II), можуть бути перетворені в композиційні матеріали ZnO/PbS. Функціональність ієрархічно структурованих частинок додатково збільшується за допомогою допінгу. Пористі наночастинки, леговані перехідними металами, можуть бути отримані сольвотермальними синтезами і проявляють феромагнетизм за кімнатної температури [32].

Допування також впливає на пористу структуру синтезованого оксиду цинку. Якщо вбудувати сторонні елементи, у кристалічній решітці ZnO виникає напруга, а зростання його кристалів таким чином гальмується [33]. Із цієї причини леговані частинки складаються з менших кристалітів і, як наслідок, площа поверхні за ВЕТ збільшується, порівняно з не модифікованим ZnO. Властивості викидів можна змінити, легуючи рідкісними елементами, такими як Eu(III) [34]. Матеріали ZnO з такою червоною емісією ϵ , наприклад, цікавими як добавка в біомаркери [35]. Електро-дірокові пари в легованій Ag, ієрархічно структуровані частинки ZnO відокремлюються більш ефективно, саме тому ці матеріали виявляють більшу активність у фотокаталітичному розпаді барвника родаміну В [36].

Контроль за складом матеріалу

Оптичні властивості напівпровідникових матеріалів здебільшого залежать від складу матеріалу. Термін «інженерія зазорів» означає цільову модифікацію розміру ширини забороненої зони напівпро-

відників через зміну складу [37]. У ситуації з оксидом цинку розмір зазору може бути змінений ізовалентно-електронною заміною аніона або катіона. У процесі легування катіонами, такими як, наприклад, Mg^{2+} , ширина забороненої зони розширюється, так що матеріали можуть використовуватись як фотодетектори з визначеною довжиною хвилі «відсікання» [38]. Ширина забороненої зони може змінюватись від $\sim 3,3$ eV (ZnO) до $\sim 4,0$ eV ($Zn_{0,67}Mg_{0,33}O$), окрема фаза MgO формується від $x \geq 0,36$ [39]. Допування Cd^{2+} зміщує діапазон у видимій області.^[40] Кубічний CdO має розрив у смузі – лише 2,2 eV. І в цьому разі кристалічна структура CdO відповідає за те, що однофазні матеріали $Zn_{1-x}Cd_xO$ можуть бути синтезовані лише в обмеженому діапазоні змішування $0 < x < 0,32$ [40].

Що стосується аніонної частини, то ширина забороненої зони ZnO зменшується у процесі легування Se^{2-} або S^{2-} [41]. Тонкі плівки $ZnO_{1-x}S_x$ отримують із використанням методів осадження, таких як «імпульсне лазерне осадження» [42], «реактивне розпилення» [43], «хімічний розпилювальний піроліз» [44] або «осадження атомного шару» [45]. Маєру вперше вдалось виготовити однофазні плівки $ZnO_{1-x}S_x$ у повному діапазоні складу $0 \leq x \leq 1$, використовуючи реактивне розпилення із ZnS (мішень) та O_2 (реактивний газ). Методом РФА було показано, що всі отримані плівки перебувають у вюрцитовій модифікації, причому константи решітки збільшуються зі збільшенням умісту сірки. Було

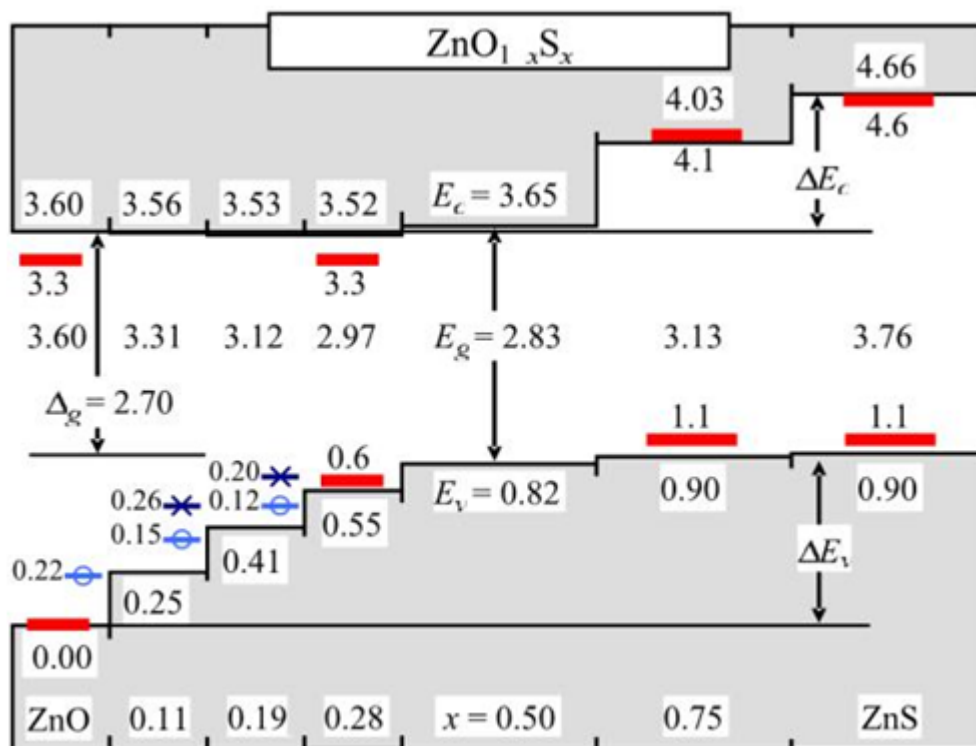


Рис. 5. Теоретично розраховані енергетичні положення валентної та провідної зони в ZnO_{1-x}S_x, залежно від концентрації сірки [48]

встановлено, що константи решітки плівок $ZnO_{1-x}S_x$ лінійно зростають під час збільшення x , тому їх можна інтерполювати для будь-яких співвідношень ZnO до ZnS . Унаслідок цього виконується «правило Вергара», яке описує лінійну залежність константи решітки потрійного змішаного кристала від умісту бінарних компонентів [46]. Необхідною умовою для цього є те, що обидва вихідні компоненти мають однакову кристалічну структуру й тому немає змішаних фаз. У подальшому дослідженні Мейєра було вивчено вплив заміщення кисню на теплопровідність [47]. Це головним чином впливає з вібраційних властивостей матеріалу. Включення сірки в сітку ZnO створює локалізовані режими вібрації. Вони служать центрами розсіювання для фонових режимів ZnO та запобігають їх поширенню. Коли $x < 0,04$, теплопровідність знижується на порядок величини порівняно із ZnO . Отже, матеріали $ZnO_{1-x}S_x$ є потенційними термоелектриками [48].

Взаємозв'язок між складом матеріалу та розміром смуги $ZnO_{1-x}S_x$ теоретично досліджувалось Перссон та іншими [44] з використанням методу DFT. Результати цього дослідження показали, що на збільшення енергетичного положення валентних та провідних смуг по-різному впливає збільшення вмісту сірки. За малих концентрацій сірки ($x < 0,3$) валентна смуга значно зміщується до вищих енергій, тоді як енергетичне положення зони провідності майже не змінюється. Це пояснюється дефектами, подібними до ZnS , як валентна смуга ZnS приблизно на 1 еВ вище, ніж у ZnO . Отриманий зазор смуги, який визначається енергетичним зазором між валентними та провідними смугами, стає меншим. Локальні зв'язки ZnS спочатку не впливають на мінімум смуги провідності, оскільки найнижчі стани

ZnS приблизно на 1 еВ вище, ніж у ZnO . Однак для $x > 0,5$ ці стани домінують в енергетичному положенні зони провідності і, таким чином, в розмірі зазору смуги. Діапазон провідності зміщується до вищих енергій, саме тоді, як положення валентної зони майже не змінюється, розрив смуги внаслідок цього збільшується [44].

Той факт, що тонкі плівки $ZnO_{1-x}S_x$ можуть бути отримані за допомогою методів розпилення, не означає автоматично, що вони є термодинамічно стійкими або доступними через термодинамічно керовані сипучі синтези [49].

Сипучі матеріали $ZnO_{1-x}S_x$ зі зменшенням зазорів особливо цікаві для застосування в каталізі та захисті від УФ-променів. Для того, щоб можна було виготовляти ці матеріали в широкому діапазоні композицій, необхідно вибирати кінетично керовані синтетичні шляхи. Твердофазні синтези, які через обмежену дифузію відбуваються лише за досить високих температур, не є доцільними. Відсутність наночастинок $ZnO_{1-x}S_x$ із визначеною морфологією також гальмує розвиток нових областей застосування. Тому є велика цікавість до розробки нових синтетичних методів матеріалів $ZnO_{1-x}S_x$.

Головні висновки. Про представлений огляд можна сказати, що властивості ZnO значно залежать від його будови, яка зі свого боку формується під час синтезу. А також залежить від наявності у складі синтезованого матеріалу добавок.

Перспективи використання результатів дослідження. Синтезований матеріал на основі ZnO має високу перспективу застосування в різних сферах діяльності: гумова промисловість; фармацевтична та косметична промисловість; виробництво келихів та кераміки; добрив тощо.

Література

1. Janotti A., C.G. Van de Walle, Rep. Prog. Phys., 2009. P. 72, P. 29.
2. Ozgur U., Alivov Y.I., Liu C., Teke A., Reshchikov M.A., Dogan S., Avrutin V., Cho S.J., Morkoc H., J. Appl. Phys., 2005. P. 98, P. 103.
3. Hoffman R. L., Norris B. J., Wager J. F. Appl. Phys. Lett., 2003. P. 82, P. 733–735.
4. Soci C., Zhang A., Xiang B., Dayeh S. A., Aplin D. P. R., Park J., Bao X. Y., Lo Y.H., Wang D., Nano Lett. 2007. № 7, 1003–1009 p.
5. Huang M.H., Mao S., Feick H., Yan H.Q., Wu Y.Y., Kind H., Weber E., Russo R., Yang P.D., Science. 2001. № 292, 1897–1899 p.
6. Kucheyev S.O., Williams J.S., Jagadish C., Zou J., Evans C., Nelson A.J., Hamza A.V. Phys. Rev. B. 2003. P. 67, P. 11.
7. Ohshima E., H. Ogino, I. Niikura, K. Maeda, M. Sato, M. Ito, T. Fukuda, J. Cryst. Growth, 2004. 260 p., 166–170 p.
8. D. C. Look, D. C. Reynolds, J. R. Sizelove, R. L. Jones, C. W. Litton, G. Cantwell, W.C. Harsch, Solid State Commun., 1998. 105 p., 399–401 p.
9. J. E. Nause, III-Vs Review., 1999. 12 p., 28–31 p.
10. P. F. Garcia, R. S. McLean, M. H. Reilly, G. Nunes, Appl. Phys. Lett., 2003. 82 p., 1117–1119 p.
11. Y. F. Chen, D. M. Bagnall, H. J. Koh, K. T. Park, K. Hiraga, Z. Q. Zhu, T. Yao, J. Appl. Phys., 1998. 84 p., 3912–3918 p.
12. B. J. Jin, S. Im, S. Y. Lee, Thin Solid Films, 2000. 366 p., 107–110 p.
13. J. J. Wu, S. C. Liu, Adv. Mater., 2002. 14 p., 215 p.
14. C. R. Gorla, N. W. Emanetoglu, S. Liang, W. E. Mayo, Y. Lu, M. Wraback, H. Shen, J. Appl. Phys., 1999. 85 p., 2595–2602 p.
15. A. B. Djurišić, Y. H. Leung, Small, 2006. 2 p., 944–961 p.
16. E. A. Meulenkaamp, J. Phys. Chem. B., 1998. 102 p., 5566–5572 p.
17. Z. Deng, M. Chen, G. Gu, L. Wu, J. Phys. Chem. B., 2008. 112 p., 16–22 p.
18. D. P. Singh, Sci. Adv. Mater., 2010. 2 p., 245–272 p.
19. G.-C. Yi, C. Wang, W. I. Park, Semicond. Sci. Technol., 2005. 20 p., S22.
20. Z. R. Tian, J. A. Voigt, J. Liu, B. McKenzie, M. J. McDermott, M. A. Rodriguez, H. Konishi, H. Xu, Nat. Mater., 2003. 2 p., 821–826 p.
21. X. W. Zhao, L. M. Qi, Nanotechnology., 2012. 23 p.

22. F. Xu, P. Zhang, A. Navrotsky, Z. Y. Yuan, T. Z. Ren, M. Halasa, B. L. Su, *Chem.Mater.*, 2007. 19 p., 5680-5686 p..
23. X. B. Wang, W. P. Cai, Y. X. Lin, G. Z. Wang, C. H. Liang, *J. Mater. Chem.*, 2010. 20 p., 8582-8590 p.
24. Q. Liu, L. Jiang, L. Guo, *Small.*, 2014. 10 p., 48-51 p.
25. X. Wang, M. Y. Liao, Y. T. Zhong, J. Y. Zheng, W. Tian, T. Y. Zhai, C. Y. Zhi, Y. Ma, J. N. A. Yao, Y. Bando, D. Golberg, *Adv. Mater.*, 2012. 24 p., 3421-3425 p.
26. a) S. Dilger, C. Lizandara-Pueyo, M. Krumm, S. Polarz, *Adv Mater.*, 2012. 24 p., 543-548 p.; b) S. Dilger, M. Wessig, M. R. Wagner, J. S. Reparaz, C. M. Sotomayor Torres, L. Qijun, T. Dekorsy, S. Polarz, *Cryst. GrowthDes.*, 2014.
27. Y. Sun, L. Wang, X. Yu, K. Chen, *CrystEngComm.*, 2012. 14 p, 3199-3204 p.
28. E. Selli, A. DeGiorgi, G. Bidoglio, *Environ. Sci. Technol.*, 1996. 30 p., 598-604 p.
29. J. Villasenor, P. Reyes, G. Pecchi, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 1998. 72 p., 105-110 p.
30. M. M. Khin, A. S. Nair, V. J. Babu, R. Murugan, S. Ramakrishna, *EnergyEnviron. Sci.*, 2012. 5 p, 8075-8109 p.
31. X. Wang, W. Cai, S. Liu, G. Wang, Z. Wu, H. Zhao, *Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013. 422 p., 199-205 p.
32. K. C. Barick, M. Aslam, V. P. Dravid, D. Bahadur, *J. Phys. Chem. C.*, 2008. 112 p., 15163-15170 p.
33. K. C. Barick, S. Singh, M. Aslam, D. Bahadur, *Microporous Mesoporous Mat.*, 2010. 134 p., 195-202 p.
34. X. Y. Zeng, J. L. Yuan, L. Zhang, *J. Phys. Chem. C.*, 2008. 112 p., 3503-3508 p.
35. X. Zeng, J. Yuan, Z. Wang, L. Zhang, *Adv. Mater.*, 2007. 19 p., 4510-4514 p.
36. L. Wang, Q. Hu, Z. Li, J. Guo, Y. Li, *Mater. Lett.*, 2012. 79 p., 277-280 p.
37. H. Chen, K. Y. Chen, D. A. Drabold, M. E. Kordesch, *Appl. Phys. Lett.*, 2000. 77 p., 1117-1119 p.
38. K. W. Liu, M. Sakurai, M. Aono, *Sensors.*, 2010. 10 p., 8604-8634 p.
39. A. Ohtomo, M. Kawasaki, T. Koida, K. Masubuchi, H. Koinuma, Y. Sakurai, Y. Yoshida, T. Yasuda, Y. Segawa, *Appl. Phys. Lett.*, 1998. 72 p., 2466-2468 p.
40. S. Sadofev, S. Blumstengel, J. Cui, J. Puls, S. Rogaschewski, P. Schafer, F. Henneberger, *Appl. Phys. Lett.*, 2006. 89 p., 3 p.
41. A. Polity, B. K. Meyer, T. Kramer, C. Z. Wang, U. Haboeck, A. Hoffmann, *phys.stat. sol.*, 2006. 203 p., 2867-2872 p.
42. Y. Z. Yoo, Z. W. Jin, T. Chikyow, T. Fukumura, M. Kawasaki, H. Koinuma, *Appl.Phys. Lett.*, 2002. 81 p., 3798-3800 p.
43. B. K. Meyer, A. Polity, B. Farangis, Y. He, D. Hasselkamp, T. Kramer, C. Wang, *Appl. Phys. Lett.*, 2004. 85 p., 4929-4931 p.
44. R. R. Thankalekshmi, A. C. Rastogi, *J. Appl. Phys.*, 2012. 112 p., 10 p.
45. B. W. Sanders, A. Kitai, *Chem. Mater.*, 1992. 4 p., 1005-1011 p.
46. L. Vegard, *Z. Phys.*, 1921. 5 p., 17 p.
47. F. Gather, A. Kronenberger, D. Hartung, M. Becker, A. Polity, P. J. Klar, B. K. Meyer, *Appl. Phys. Lett.*, 2013. 103 p., 4 p.
48. C. Persson, C. Platzer-Bjorkman, J. Malmstrom, T. Torndahl, M. Edoff, *Phys.Rev. Lett.*, 2006. 97 p., 4 p.
49. S. Locmelis, C. Brunig, M. Binnewies, A. Borger, K. D. Becker, T. Homann, T. Bredow, *J. Mater. Sci.*, 2007. 42 p., 1965-1971 p.

MATHEMATICAL MODEL OF TERRITORIAL DEVELOPMENT OF MARINE OF UKRAINE AREAS UNDER THE BACKGROUND OF BIG DATA¹

Liu Chang¹, Mamonov Kostiantyn²

¹Institute of electronics and information engineering
Guangdong Ocean University

Street Haida 1, 524088, Zhanjiang City, Guangdong Province, PRC

²O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Marshala Bazhanova Str., 17, 61000, Kharkiv

byndgjc@163.com, kostia.mamonov2017@gmail.com

It is determined that one of the important directions in the formation of the territorial development of coastal regions of Ukraine is the increase in land use efficiency. To justify them, it is necessary to formulate a quantitative basis for decision-making on the use of mathematical tools to determine the relationships between factors affecting the territorial development of land use in coastal regions, which include spatial, urban, investment, and environmental factors. The aim of the study is to develop areas of mathematical modeling of the territorial development of land use in the coastal regions of Ukraine. To achieve this goal, the following tasks are solved: substantiation of the directions of mathematical modeling of territorial development of land use in the coastal regions of Ukraine; determination of the adequacy criteria for the developed mathematical models of the territorial development of land use in the coastal regions; interpretation of the results of mathematical modeling of the territorial development of land use in the coastal regions of Ukraine. The directions of mathematical modeling of the territorial development of land use in the coastal regions of Ukraine are proposed and substantiated. Mathematical modeling of the influence of spatial, urban, environmental and investment factors on the integral indicator of the territorial development of land use in the regions is carried out. Based on mathematical modeling, it is determined that at the present stage a moderate (balanced) scenario of the territorial development of land use is being implemented. However, this scenario does not provide permanent territorial development, increasing the efficiency of land use at the regional level. Based on mathematical modeling, it is proposed to develop practical scientifically-based recommendations for ensuring the territorial development of land use in regions by increasing spatial, urban, and investment factors. The need for further growth of environmental indicators of the territorial development of land use in the region is determined. *Key words:* territorial development, coastal regions of Ukraine, spatial, urban, environmental, investment factors, land use, an integral indicator of territorial development of land use in the regions.

Математичні моделі показників територіального розвитку приморських регіонів України. Лю Чан, Мамонов К.А.

Визначено, що одним із важливих напрямів формування територіального розвитку приморських регіонів України є зростання ефективності використання земель. Для їх обґрунтування необхідно сформулювати кількісну основу прийняття рішень із застосуванням математичного інструментарію, що дозволяє визначити зв'язки між чинниками, що впливають на територіальний розвиток використання земель приморських регіонів, які включають: просторові, містобудівні, інвестиційні та екологічні фактори. Метою дослідження є розробка напрямів математичного моделювання територіального розвитку використання земель приморських регіонів України. Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання: обґрунтування напрямів математичного моделювання територіального розвитку використання земель приморських регіонів України; визначення критеріїв адекватності розроблених математичних моделей територіального розвитку використання земель приморських регіонів; інтерпретація отриманих результатів математичного моделювання територіального розвитку використання земель приморських регіонів України. Запропоновані та обґрунтовані напрями математичного моделювання територіального розвитку використання земель приморських регіонів України. Здійснено математичне моделювання впливу просторових, містобудівних, екологічних і інвестиційних чинників на інтегральний показник територіального розвитку використання земель регіонів. На основі математичного моделювання визначено, що на сучасному етапі реалізується помірний (збалансований) сценарій територіального розвитку використання земель. Проте цей сценарій не забезпечує перманентного територіального розвитку, підвищення ефективності використання земель на регіональному рівні. На основі математичного моделювання запропоновано розробити практичні науково-обґрунтовані рекомендації забезпечення територіального розвитку використання земель регіонів шляхом збільшення просторових, містобудівних, інвестиційних чинників. Визначена необхідність подальшого зростання екологічних показників територіального розвитку використання земель регіону. *Ключові слова:* територіальний розвиток, приморські регіони України, просторові, містобудівні, екологічні, інвестиційні чинники, використання земель, інтегральний показник територіального розвитку використання земель регіонів.

Formulation of the problem. One of the important directions in the formation of the territorial development of the coastal regions of Ukraine is the increase in land use efficiency. To justify them, it is necessary to form a quantitative basis for decision-making on

the use of mathematical tools. It allows you to determine the relationship between factors affecting the territorial development of land use in coastal regions, which include: spatial, urban, investment and environmental factors.

¹ This article is supported by the program for Guangdong Ocean University's «Innovation Strong School» in 2020 (230420023) and by the program for scientific research start-up funds of Guangdong Ocean University.

Relevance of the research topic. The use of mathematical tools provides an opportunity to develop a quantitative basis for monitoring the use of land of the coastal regions of Ukraine and the formation of a quantitative basis for making informed decisions in the system of territorial development at the regional level, taking into account the peculiarities of land use in the coastal regions of Ukraine. Thus, the topic of the study to determine the possibilities and directions of using mathematical tools to ensure the territorial development of land use in the coastal regions is relevant and timely.

The connection of the author's refinement with important scientific and practical tasks is determined by the scientific provisions on the formation of territorial development at the regional level, the use of land and the application of modern areas of mathematical modeling. The practical significance of the study is characterized by the formation of areas for the efficient use of land in coastal regions and ensuring their territorial development.

Analysis of recent research and publications. The problems of territorial development of land use in regions are solved in scientific developments [1-the formation of spatial and information-analytical support for

the territorial development of land use in coastal regions;

- determination of spatial, urban, environmental and investment factors affecting the territorial development of land use in coastal regions;
- development of mathematical models of the influence of spatial, urban, environmental and investment factors on the integral indicator of territorial development of land use in coastal regions;
- determination of the criteria for the adequacy of mathematical models of the influence of spatial, urban, environmental and investment factors on the integral indicator of the territorial development of land use in coastal regions;
- interpretation of the results.

To ensure the territorial development of land use in the regions, the formation of positive trends, given the influence of spatial, urban, investment and environmental factors, mathematical modeling tools are used, which are based on the method of correlation and regression analysis.

The study is carried out by applying information support on an integrated indicator of the territorial development of land use in the regions and spatial, urban, investment and environmental factors.

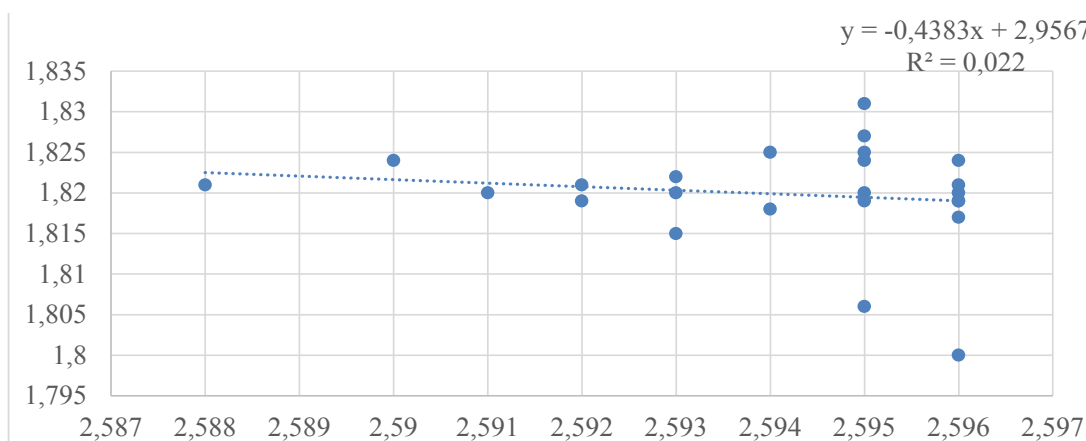


Fig. 1. The results of modeling the influence of spatial factors on the integral indicator of territorial development of land use in regions

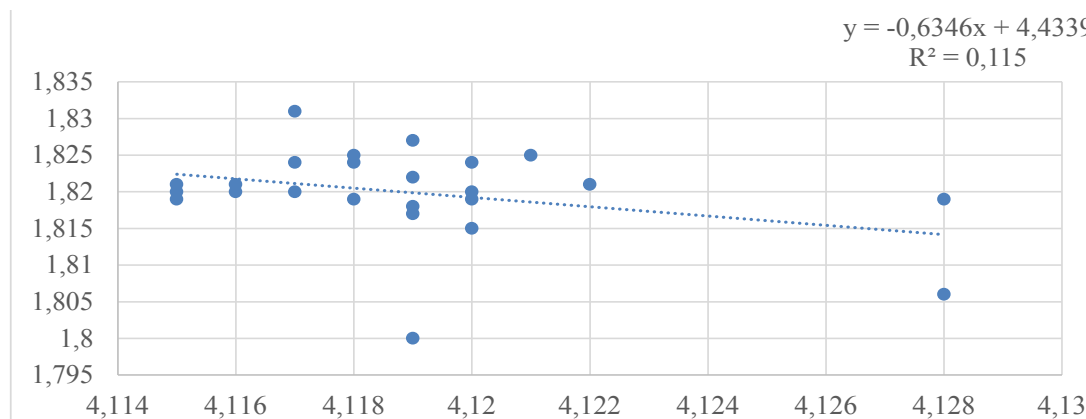


Fig. 2 The results of modeling the influence of urban factors on the integral indicator of territorial development of land use in the regions

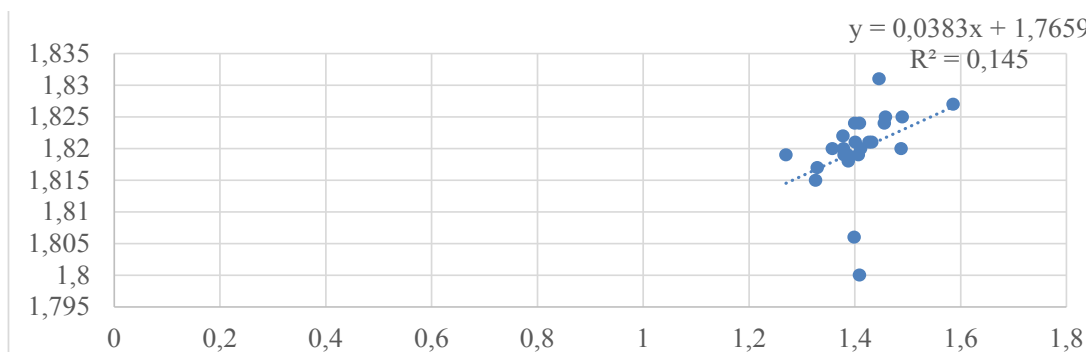


Fig. 3 The results of modeling the influence of investment factors on the integrated indicator of territorial development of land use in regions

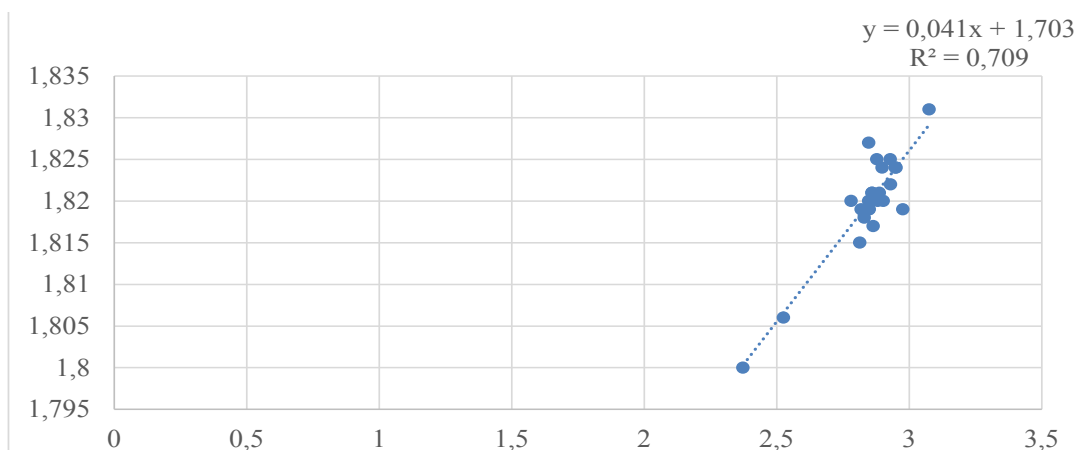


Fig. 4. The results of modeling the impact of environmental factors on the integrated indicator of territorial development of land use in regions

The results of modeling the influence of spatial factors on the integral indicator of territorial development of land use in regions are presented in Fig. 1.

The results of modeling the influence of urban factors on the integral indicator of territorial development of land use in the regions are presented in Fig. 2.

The model and degree of influence of investment factors on the integral indicator of territorial development of land use in the regions are presented in Fig. 3.

A mathematical model has been developed that characterizes the level of influence of environmental factors on the integral indicator of the territorial development of land use in regions presented in Fig. 4.

The degree of influence of spatial, urban, investment, and environmental factors on the integral indica-

tor of territorial development of land use in regions is determined by the coefficient of determination, the value of which is presented in Table. 1.

As a result of modeling, a significant influence of the environmental factor on the integral indicator of territorial development of land use in the regions was determined. This is in line with current trends that are observed in the system of territorial development of regions, where the focus is on environmental areas and features, the implementation of environmental programs and the development of legislative support. The presented trends determine the development of developed international regional systems. It should be noted that in accordance with the value of the coefficient of determination, it can be argued that a 70.9%

Table 1

The values of the determination coefficients characterizing the level of influence of spatial, urban, investment and environmental factors on the integral indicator of the territorial development of land use in the regions, rel. Units (Developed by the author)

Indicators	The value of the coefficient of determination (R^2)
T_1	0,022
T_2	0,115
T_3	0,145
T_4	0,709

increase in the generalizing environmental factor leads to a change in the integral indicator of territorial development of land use in the regions.

At a low level, the influence of investment and urban factors on the integral indicator of the territorial development of land use in the regions is determined. This is due to the fact that in modern conditions, the level of investment in the use of land in the regions is reduced, the amount of financing for land use measures is reduced or missing, the level of land valuation is reduced, unjustified development of settlements is carried out, the directions of their use are being changed, the quality and completeness of urban planning provision, identified the imbalance in the directions and features of the use of territories at the regional level. Thus, the influence of the investment and urban planning factors by 14.5 and 11.5% is responsible for changes in the integral indicator of territorial development of land use in the regions.

As a result of modeling, a low influence of the spatial factor on the integral indicator of the territorial development of land use in the regions was established. The spatial factor of only 2.2% causes changes in the integral indicator of territorial development. This indicates the absence of clear directions and the implementation of systemic measures aimed at creating spatial support for the territorial development of land use, information or geographic information systems are used at a low level, cartographic and topographic information is not updated comprehensively, the level of established boundaries of settlements is reduced, and there is no systematic financing of events creation and improvement of spatial support for land use and regional level, in full n e is performed regulatory support in the formation of the spatial ensure territorial development of land use.

Describing the developed models of the influence of spatial, urban, investment and environmental factors on the integral indicator of territorial development

of land use in the regions, it is determined that the first two negatively affect the integral indicator. This indicates that spatial and urban factors in modern conditions hinder the territorial development of land use in the regions. Investment factors only form the potential investment attractiveness of the lands of the regions, however, measures to increase investment volumes are not implemented.

Environmental factors provide positive changes in the field of territorial development of land use at the regional level. The level of financing environmental measures and environmental safety is increasing, and the relevant areas are being systematically implemented. So, on the basis of mathematical modeling, it is determined that at the present stage a moderate (balanced) scenario of the territorial development of land use is being implemented. However, this scenario does not provide permanent territorial development, increasing the efficiency of land use at the regional level. The moderate scenario only “freezes” the existing situation, does not create conditions for further increase in the efficiency of land use in the coastal regions of Ukraine.

The main findings. Based on mathematical modeling, it is proposed to develop practical scientifically-based recommendations for ensuring the territorial development of land use in regions by increasing spatial, urban, and investment factors. The need for further growth of environmental indicators of the territorial development of land use in the region is determined. These measures will increase the integral indicator – as a generalized criterion for the effectiveness of land use at the regional level for the coastal territories of Ukraine.

Prospects for the use of research results. The results of the study can be applied in the territorial development system of the coastal regions of Ukraine to form a quantitative basis for making informed management decisions and develop appropriate measures to improve land use efficiency at the regional level.

References

1. Воскобійник М.В. Деякі питання правового регулювання земельних відносин у системі місцевого самоврядування. *Проблеми удосконалення правового регулювання місцевого самоврядування в Україні: матеріали наук.-практ. конф.* Харків, 2004. С. 314–316.
2. Дорош О.С. Управління земельним ресурсами на регіональному рівні. Київ : ТОВ «ЦЗРУ», 2004. 142 с.
3. Лихогруд О.М. Наукові підходи до визначення цінності земельних ресурсів містобудівних систем у ринкових умовах. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/6_2016/13.pdf/ (дата звернення: 04.04.2020).
4. Мамонов К.А. Міжнародний досвід забезпечення територіального розвитку використання земель регіону. *Комунальне господарство міст*. 2018. Вип. 146. С. 225-Мамонов К.А. Теоретичні підходи до визначення територіального розвитку використання земель регіону. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. 2018. Том 29 (68) № 6. Ч. 2. С. 212–216.
5. Mamonov K. Methodological approach to the integral assessment of the regional lands use territorial development. *Geodesy and Cartography*. Vol. 45 (3) №. 2, 2019, pp. 110–115.
6. Мартин А.Г. Регулювання ринку земель в Україні : монографія. Київ : Аграр Медіа Груп, 2011. 254 с.
7. Палеха Ю.М. Теорія і практика визначення вартості територій і оцінки земель населених пунктів України (економіко-географічне дослідження) : автореф. дис... д-ра геогр. наук : 11.00.02. Київ, 2009. 40 с.
8. Larsson G. Land registration and Cadastral Systems: tools for land information and management. Essex: Longman Scientific and Technical, 1991. P. 387.
9. Williamson Ian, Stig Enemark, Jude Wallace, Abbas Rajabifard. Land administration for sustainable development. Esri Press. 2010, 506 p. URL: <http://www.esri.com/landing-pages/industries/land-administration/e-book#sthash.KF25CaWH.dpbs> (дата звернення: 05.04.2020).

СТАН ВИВЧЕНОСТІ ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИХ ТА ГЕНЕТИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДИНИ SCOLYTIDAE

Поліщук П.В., Волошина Н.О.

Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова
вул. Пирогова 9, 01030, м. Київ
ppolishchuk94@gmail.com

Масове враження хвойних насаджень жуками-короїдами (родина *Scolytidae*) стає проблемою світового рівню, оскільки набуває масовості в країнах Північної Америки, Центральної Європи та Азії. В Україні це явище спостерігається здебільшого в північно-західних та центральних областях, створюючи загрозу для карпатських пралісів. Так, зокрема, на початок 2019 року загальна площа уражених лісів, підпорядкованих Держлісагентству України, склала понад 413 тис. га та набуває ознак екологічної катастрофи.

Запроваджені наразі методи контролю популяцій шкідників, оскільки вилучення уражених дерев та застосування феромонних пасток виявилось не досить дієвими і не відповідає нормам концепції сталого розвитку, що своєю чергою породжує необхідність пошуку нових стратегій боротьби із цими шкідниками. Стаття узагальнює дані про напрями і тенденції досліджень, що стосуються аспектів вивчення жуків-короїдів (родина *Scolytidae*). У ній розглядаються особливості стаційного поширення жуків, як у минулому, так і сьогодні, сезонність льоту, спосіб харчування, хімічної комунікації, а також їх функціональна роль у біосфері. Одним із перспективних напрямів дослідження є аспекти генетичного аналізу жуків-короїдів та можливість вивчення їх екосистемних та симбіотичних взаємодій. Яскравими прикладами застосування генетичних досліджень є потенційна можливість використання транскриптомних даних для виявлення нових хемосенсорних сімейств генів, що здатне у подальшому значно сприяти розвитку альтернативних підходів контролю популяцій короїдів з використанням семіохімічних сполук на основі феромонів. Іншим прикладом є філогенетичні дослідження, які сьогодні створюють основу для перегляду класифікації шкідників та виявлення генетичної спорідненості їх популяцій, що визначає перспективи в прогнозуванні їх подальшого поширення. А завдяки дослідженням мікробіому жуків стає можливим вивчення різних груп коменсальних і симбіотичних організмів, котрі своєю присутністю в організмі можуть створювати численні згубні, нейтральні або сприятливі ефекти, відіграючи певні ролі у харчовій адаптації, виступати стресовими факторами у формуванні захисту та специфічного імунітету. Відповідно, логічним є припущення про необхідність зміщення акценту науковців до застосування молекулярно-генетичних підходів у дослідженнях філогенетики, класифікації та особливостей симбіотичного співіснування короїдів з грибами і бактеріями. *Ключові слова:* короїди, стовбурові шкідники, *Ips acuminatus*, *Ips typographus*, *Blastophagus piniiperda*, біологічні особливості, метагеноміка.

State of studying environmental-biological and genetic features of the bark beetles (*Scolytidae* family) representatives Polishchuk P., Voloshyna N.

The mass affection of coniferous stands by bark beetles (*Scolytidae* family) is becoming a worldwide problem as it is observed in North America, Central Europe and Asia. In particular, it is observed in the northwest and central regions of Ukraine and poses a threat to the Carpathian forests. In particular, at the beginning of 2019 the total area of the affected forests, subordinated to the State Forestry Agency of Ukraine, amounted to more than 413 thousand hectares and is becoming a sign of ecological catastrophe. Currently, pest control methods, such as the removal of affected trees and the use of pheromone traps, have proven to be ineffective and do not comply with the concept of sustainable development, which in turn creates the need to seek new strategies to control these pests. The article summarizes information on current directions and trends of research regarding aspects of studying bark beetles (*Scolytidae* family). We discuss the peculiarities of beetle's stationary propagation, flight seasonality, the way of food, chemical communication, and their functional role in the biosphere. Aspects of genetic analysis of bark beetles and the possibility of studying their ecosystem and symbiotic interactions are considered as one of the promising areas of the study. A striking example of the using genetic research is the transcriptomic data analysis to identify new chemosensory gene families, which can further significantly contribute to the development of alternative approaches to bark beetles' populations control using pheromone-based semiochemical compounds. Another example is the phylogenetic studies that today provide the basis for pests' classification reviewing and identifying the genetic affinity of their populations, which defines the prospects for predicting their further spread. Through the beetles' microbiome researching, it becomes possible to study different groups of commensal and symbiotic organisms, which can create numerous injurious, neutral, or beneficial effects, playing certain roles in food adaptation, act as stress factors in the formation of specific immunity. Accordingly, it is logical to assume that there is a need to shift scientists' emphasis to the application of molecular genetic approaches in the studying of phylogenetics, classification, and features of symbiotic coexistence of bark beetles with fungi and bacteria. *Key words:* Bark beetles, forest ecology, stem pests *Ips acuminatus*, *Ips typographus*, *Blastophagus piniiperda*.

Постановка проблеми. Всихання хвойних насаджень внаслідок враження жуками-короїдами (родина *Scolytidae*), що набуло ознак надзвичайного екологічного стану в українському Поліссі, стало нагальною проблемою для України. Стрімке розмноження цих шкідників, зокрема *Ips acuminatus* (Верхівковий короїд) та *Ips typographus* (Короїд-типограф), було зареєстровано також на території

Республіки Білорусь і прилеглий частині європейських країн: Польщі, Чехії, Словаччини та Румунії. Світову тенденцію поширення цих видів короїдів пов'язують із глобальними кліматичними змінами [1; 2].

За даними Державного агентства лісових ресурсів України, перші осередки всихання соснових лісів, спричинені короїдами, було зафіксовано у 2011 році в Житомирській області. Починаючи з 2015 року стрімке поширення цих шкідників реєстрували у північно-західному напрямку, а з 2017 року – в центральних областях України, у лісостеповій зоні, зокрема, на її Лівобережжі. Станом на початок 2019 року загальна площа уражених лісів, підпорядкованих Держлісагентству, становила понад 413 тис. га, з яких: насадження сосни звичайної – 222 тис. га та ялини європейської – 27 тис. га, і сьогодні це набуває ознак екологічної катастрофи [3].

Осередки масового всихання хвойних насаджень охоплюють території Волинської, Житомирської, Київської, Львівської, Рівненської, Хмельницької, Черкаської, Сумської і Чернігівської областей та продовжують збільшуватися. Під значною загрозою перебувають і Карпатські праліси [4].

Актуальність дослідження. Відомості щодо екологічної ролі різних видів цієї родини короїдів, молекулярної філогенії та новітніх підходів щодо вирішення проблеми їх стрімкого поширення сьогодні є малочисельними і несистематизованими. Водночас відсутність ефективних засобів протидії цим стовбуровим шкідникам та недостатність даних щодо молекулярно-генетичних аспектів життєдіяльності короїдів потребує імплементації сучасних міждисциплінарних підходів у дослідженні означених питань.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Враховуючи вищезазначене, наразі є проблема недостатньої систематизації літературних даних щодо представників родини *Scolytidae*. Водночас у загальносвітовій практиці набирають обертів сучасні молекулярно-генетичні способи дослідження організмів, що потребує розгляду перспектив використання отриманих даних для розробки принципово нових методів боротьби із шкідниками. Наприклад, методи секвенування нового покоління дозволяють у достатньо короткі терміни отримати геномні дані, котрі потім підлягають аналізу у класифікаційних, філогеографічних, генетичних, фармакологічних та екологічних дослідженнях.

Метою статті є актуалізація зазначеної проблеми в Україні та світі шляхом узагальнення розрізних відомостей про вже наявні напрями і тенденції досліджень представників родини *Scolytidae*, акцентуючись на визначенні ролі та місця сучасних молекулярно-генетичних методів у регулюванні чисельності стовбурових шкідників, пошуку засобів, котрі б відповідали нормам сучасної концепції сталого розвитку та природокористування.

Методологічне або загальнонаукове значення. Цей огляд сприятиме перегляду пріоритетних напрямів досліджень філогенії та генетичних особливостей жуків-короїдів, а також імплементації молекулярно-генетичних методів досліджень для розробки нових засобів боротьби із стовбуровими шкідниками.

Виклад основного матеріалу. Жуки-короїди (*Scolytidae*) мають значне поширення в світі і часто розглядаються в літературі як відокремлена підродина жуків-довгоносиків (*Curculionidae: Scolytinae*).

За сучасною систематикою короїди належать до царства: Тварини (*Animalia*), Тип: Членистоногі (*Arthropoda*), Клас: Комахи (*Insecta*), Ряд: Твердокрилі (*Coleoptera*), Підряд: Всеїдні жуки (*Polyphaga*), Надродина: Довгоносикоподібні (*Curculionoidea*), Родина: Короїди (*Scolytidae*), Підродина: (*Scolytinae*), Супертриба: *Hylesinitae* Erichson, 1836 [5].

Класична систематика короїдів базується на морфологічних ознаках, зокрема будові чола; особливостях будови кінцівок (шипи, кількість зубчиків на зовнішньому краю, бороздки на гомілках, форма третього членика); формі тачки – вершини надкрилків, котра слугує для очистки маточних ходів від бурової муки; шипах та зубчиках, будові едеагусу. Своєю чергою у макросистематиці короїдів велике значення надається пристосуванням, що сприяють замиканню надкрилків на задньогрудях, а також будові пластин жувального шлунку [6].

Таксономічний ранг жуків-короїдів до сьогоденішнього часу трактується неоднозначно, а їх систематика багаторазово переглядалась в другій половині ХХ ст. У більшості фауністичних та лісогосподарських робіт короїдів традиційно розглядали як окрему морфологічно і фізіологічно відокремлену родину – *Scolytidae* Latreille, 1807. Проте сучасні дослідження систематики, котрі базуються на молекулярно-генетичних дослідженнях і аналізі морфологічних ознак личинок та імаго, короїдів філогенетично зближують з підродинами *Cossoninae* і *Platodinae*, понижуючи їх систематичний статус до підродини *Scolytidae* Latreille, 1804 у складі сімейства *Curculionidae* Latreille, 1802 [7]. Важливий внесок у розвиток цього напрямку досліджень зробили дослідження С. Вуда, який здійснив рекласифікацію родів короїдів світової фауни і, зокрема, дав обґрунтування самостійності родини *Scolytidae* серед довгоносикоподібних сімейств, базуючись на будові швів голови короїдів [8]. Відповідно, ми вбачаємо за доцільне звернути увагу на поширену помилку вживання у вітчизняній науковій літературі застарілої назви родини короїдів *Ipidae*, що на цей час є абсолютно некоректним, адже у світових джерелах літератури відповідно до загальноприйнятої класифікації рекомендовано вживати назву *Scolytidae* [9].

Стаційне поширення короїдів видоспецифічне не лише щодо кормових рослин, а й у виборі мікростації. Одні види розвиваються лише на стоячих, а не повалених деревах, інші – заселяють винятково

гілочки високих дерев, що добре обдуваються вітром, або ж, навпаки, зустрічаються лише на корінні (наприклад, *Hylurgus ligniperda*) [10, 6].

За типом харчування більшість короїдів належить до флео- і ксилофагів. Водночас більшість ксилофагів варто було б називати ксиломіцетофагами, оскільки вони культивують у своїх ходах різні види грибів, якими разом з деревиною і харчуються личинки короїдів. Для короїдів-флеофагів часто видоспецифічними є будова утворених ними ходів або так званих галерей. У ряді груп короїдів перехід до ксиломіцетофагії розвинувся незалежно і є одним із напрямів прогресивної еволюції в межах сімейства. У помірних широтах більшість короїдів харчується лубом, тоді як в тропіках – є ксиломіцетофагами [6].

Більшості видів гетеросексуальних короїдів властивий специфічний життєвий цикл, проте число генерацій може бути непостійним та залежати від кліматичних умов або географічного розташування частини ареалу. Зазвичай генерації у короїдів слабо розділені в часі і не синхронізовані. Життєвий цикл у партеногенетичних видів практично невивчався [11].

Сезонна активність короїдів у помірних широтах у різних видів відрізняється – реєструють як ранньовесняні види, так і ті, що літають впродовж майже всього літа [12].

Сезонність льоту жуків в Україні пов'язана із кліматичною зоною розташування лісової екосистеми. Весняний літ жуків у горах можливий за сприятливих умов з третьої декади квітня. Так, наприклад, масовий літ короїда-типографа припадає на травень місяць, із настанням тепла. Після 25–35 діб після весняного льоту починають літати самки, які відкладають яйця сестринської генерації. В горах розвиток короїдів проходить неоднаково і залежить від висоти над рівнем моря та експозиції схилів [13; 14]. Кількість генерацій жука може залежати також і від місцеположення лісової зони, погодних умов та динаміки опадів. На північних схилах і високо в горах короїд поселяється на освітлених сонцем ділянках дерева [15].

Згідно з літературними даними хвойним породам дерев України завдає шкоди ціла низка короїдів: Короїд шести зубчастий (*Ips sexdentatus* Boern), трапляється повсюдно та пошкоджує всі види сосни, ялини, смереки, модрина; Короїд гравер (*Pityogenes chalcographus* L.), Короїд-двійник (*Ips duplicatus* Sahlb), Короїд багатохідний (*Ips amitinus* Eichh.), Гравер звичайний (*Pityogenes chalcographus* L.), Мікрограф звичайний (*Pityophthorus micrographus* L.), Короїд-крихітка ялиновий (*Crypturgus pusillus* Gyll.), Коренежил ялиновий (*Hylastes cunicularius* Er.). Серед деревних рослин вражаються переважно види хвойних деревостанів, залежно від виду короїдів та кліматичних умов [16].

Найбільш агресивними та шкідливими вважають Верхівкового короїда – *Ips acuminatus*, який пошкоджує різні види сосни, ялин, рідше смереку,

модрину, зрідка ялівець; та Короїда типографа – *Ips typographus* L, що вражає ялини, рідше сосну, кедр і дуже рідко інші хвойні породи. Ці види поширені здебільшого в Карпатах. Зокрема, *Ips typographus*, представники якого здатні поселятися не лише в зоні товстої кори дерева, а й в зоні перехідної кори чи на вершині або ж стовбурі дерева [17].

Явища кліматичних змін та поширення короїдів певною мірою є синергічними, адже ряд вчених відмічають у своїх роботах збільшення викидів вуглекислого газу внаслідок зменшення рівню лісистості [18].

Добова активність у короїдів також відрізняється: окремі види літають впродовж всього дня, деякі (наприклад види роду *Xyleborus* у помірних широтах) переважно на заході сонця; саме представники цього роду зазвичай і потрапляють у світлові пастки.

Короїдам властива турбота про потомство, котра полягає не лише в побудові ходів і відкладанні яєць у прихованих місцях, але й у зараженні кормових дерев специфічними грибами, котрі ферментують деревину для харчування личинок. Вентиляція ходів, здійснювана самками протягом всього періоду розвитку личинок, забезпечує в ходах певний гігротермічний режим [12].

У представників родини *Scolytidae* надзвичайно розвинена хімічна комунікація, що робить їх однією із найкращих груп для вивчення феромонів. Їх феромони часто представляють сполуки класу терпенів – модифіковані компоненти живиці дерев. За спектром пахучих сполук живиці короїди обирають достатньо ослаблені дерева для заселення. Феромони короїдів є не лише речовинами, що приваблюють протилежну стать, але й зумовлюють скупчення особин, необхідне для заселення ослаблених, проте життєздатних дерев [19]. У деяких видів короїдів є стридуляційні органи та притаманна лише їм звукова комунікація [20].

Регуляцію чисельності короїдів забезпечує специфічний спектр хижаків, паразитів і паразитоїдів [21]. Наприклад, окрім комах і птахів, велику роль у трофічних ланцюгах відіграють кліщі та нематоди. Водночас для цих жуків є характерними симбіотичні зв'язки із різними видами грибів: короїди виступають у ролі переносників супутніх хвороб дерев, спричинених грибами (наприклад, голландської хвороби в'язів, раку інжиру, різних видів синіх гнилей деревини хвойних порід тощо) [4]. Для перенесення спор грибів у самок багатьох видів короїдів є міцетангії – спеціальні органи на грудях [6].

Всі означені біологічні та екологічні характеристики шкідників є генетично детермінованими. Отже, є логічним припущення про те, що більшість із генів, відповідальних за розмноження, морозостійкість і чутливість до феромонів є потенційними молекулярними мішенями для пошуку засобів боротьби із цими шкідниками.

Останніми десятиліттями спостерігаються стрімкі глобальні зміни клімату, структури ланд-

шафтів, поширення різних інвазійних видів рослин і членистоногих, експансія яких спричинена переважно антропогенним впливом. Реакція на такі зміни проявляється у формуванні динаміки взаємодії між короїдами та деревами. Неконтрольоване поширення короїдів наукова спільнота схильна пов'язувати з глобальними кліматичними змінами, особливо з підвищенням суми ефективних температур, зменшенням кількості днів зі сніговим покривом та збільшенням тривалості вегетаційного періоду [15; 1].

Ареал сімейства короїдів охоплює практично всі материки за винятком Антарктиди, в тому числі і безлісові території з аридним (пустельним) кліматом, де короїди розвиваються на трав'янистих рослинах. Окрім України, вони зустрічаються також у північній Норвегії, Данії та центральній Європі [22]. Родина Короїдів сучасних нараховує близько 6 000 видів, переважна більшість яких є мешканцями тропічних лісів Південної Америки і Південно-Східної Азії [23; 24].

У найсучаснішому каталозі жорсткокрилих Палеарктики описано 956 видів цієї родини. Так, за останніми даними в Україні нараховується близько 122 видів короїдів із 37 родів і 15 триб, що на видовому рівні складає 12,7% від фауни Палеарктики і близько 2% світової фауни [25; 8]. Найбільш розповсюдженим на території Європейських країн є Короїд-типограф. Він розмножується здебільшого на зламаних та ослаблених деревах, а за високої щільності популяції здатний колонізувати й здорові деревостани. На території сучасної України найбільше випадків масових спалахів *Ips typographus* документально зафіксовано з середини XIX століття, де реєстрували значне ураження лісових насаджень на великих територіях. Зокрема, підтвердженням стрімкої експансії цього виду є неконтрольоване його розмноження у Харківській області в 2012–2013 роках, попри те, що раніше, впродовж попередніх десятиліть, його там не реєстрували [26].

Загалом у межах України чітко виділяють 2 центри видового різноманіття родини *Scolytidae*: на території Кримського і Карпатського гірських ландшафтних масивів. Зокрема, субендеміками Карпат є 6 видів і 1 рід [7]. Вичерпний перелік видів короїдів у 2014 р. було представлено В.В. Тереховою та М.О. Сальницькою [26], а в дослідженнях Т.В. Нікуліної (2014) представлено таксономічну структуру підродини *Scolytinae* фауни України і види, вперше вказані для окремих її регіонів.

Аналіз наукових публікацій вказує, що питаннями вивченості жуків-короїдів в Україні, їх екології, систематики та філогеографії займалися фрагментарно. Зокрема, П.Я. Слободян та О.М. Нищей (2002) вказують на недостатність вивчення питань закономірностей розселення, розмноження, структури і чисельності популяцій комах-шкідників залежно від мікроклімату [27]. Головна увага здебільшого надається лише тим видам, що завдають значної економічної шкоди лісовим насадженням,

залишаючи поза увагою комплексний систематичний опис родини на території нашої та сусідніх країн. Тому, на жаль, простежити увесь ланцюг історії досліджень на сьогоднішній день доволі складно. Однак із доступних інформаційних джерел відомо, що родина жуків-короїдів вперше була виокремлена Латреєм [28]. Першими публікаціями, що містять згадки про знаходження короїдів на території сучасної України, вважаються роботи К. Ліндемана «Монографія короєдов Росии» та І. Шевирєва [29; 7]. Подальші дослідження продовжувались у середині та у другій половині XIX ст. Наступний пік публікацій починається із середини XX ст., коли увагу вчених почали привертати питання феромонних взаємодій жуків-короїдів. Так, наприклад, ці публікації датуються 1960-ми роками, коли досліджувався вплив видоспецифічності феромонів, що синтезуються короїдами на основі терпенів деревного походження [30].

Дослідження останніх років в Україні присвячені переважно питанням поширення короїдів на території Карпат, Полісся і південно-східних районів України, аналізу динаміки чисельності різних видів та їх екологічної щільності [17; 7; 31; 32]. Аналогічні дослідження проводили на лісгосподарських територіях Європи [33], Азії [34] та Північної Америки [35] в період масових спалахів стовбурових шкідників.

Функціональна роль популяції короїдів полягає в утилізації целюлози, що міститься в ксилемі деревних порід та сприянні обігу органічних речовин у біосфері [6]. Збитки, зумовлені короїдами, зростають здебільшого в областях з нераціональним лісокористуванням. Багато видів короїдів (наприклад, Короїд-друкар) здатні викликати спустошення лісових насаджень внаслідок спалахів масового розмноження їх популяцій. Значна частина родини цих шкідників здатна до перенесення грибкових хвороб дерев, технічного пошкодження деревини, насаджень «зеленого» будівництва тощо. Зокрема, Українські вчені вказують на те, що в умовах Українських Карпат масовому всиханню смерекових лісостанів Бескид значною мірою сприяли неправильне ведення лісового господарства в минулому, зміна змішаних корінних деревостанів на чисті ялинові, проведення лісовідновних та лісгосподарських робіт без урахування санітарного стану ділянок, недотримання профілактичних засобів, спрямованих на попередження поширення збудників хвороб [27].

Складність боротьби з короїдами полягає у недостатній ефективності хімічних методів їх знищення внаслідок низької доступності об'єктів застосування. Тому протидію цим стовбуровим шкідникам орієнтовано на раціональне ведення лісового господарства, використання викладки ловчих дерев і феромонних пасток та дотримання карантинних заходів. Деякі автори [36] рекомендують як головний засіб профілактики вилучення уражених дерев якомога раніше, до появи нового покоління. Однак К. Каусруд та спі-

вавтори (2011) зазначають, що неоднорідні мішані ліси є менш сприятливими до масових спалахів враження лісу жуком-короїдом, а вивезення змертвілої деревини може виступати і контрпродуктивним засобом стримування росту популяції цих шкідників, оскільки зменшує різноманіття хижаків, паразитів та паразитоїдів, здатних до регуляції чисельності короїдів. Водночас санітарні рубки здатні пошкоджувати кореневу систему дерев, знижуючи тим самим їх природній опір до шкідників [1].

Безумовно, також важливим для протистояння стовбуровим шкідникам є моніторинг та прогнозування їх поширеності на різних територіях. Відповідно, для того, аби мати змогу прогнозувати спалахи лісових уражень, необхідно розуміти видову приналежність, поведінкові, фізіологічні та генетичні особливості комах-шкідників, їх міграцію, кормові види рослин. Тобто необхідно мати узагальнені дані про його класифікацію, філогеографію та фізіологічні і генетичні особливості.

Враховуючи раніше окреслену проблематику класифікації та дефіцит інформації щодо філогеографії жуків-короїдів, питання їх філогенії може бути остаточно вирішене лише з використанням методів молекулярної систематики [37; 38], оскільки багато видів конвергентно дуже подібні та мають схожість життєвого циклу. Так, наприклад, австрійські вчені на підставі аналізу алозимних локусів *Aat-2*, *Amy-1* та *Est-2* *Ips typographus* L. представили ступінь взаємозв'язків між дев'ятьма популяціями, генетична спорідненість шести із яких підтвердила гіпотезу про виникнення популяцій короїдів у Динарських Альпах, паралельно з міграцією їх господаря *Picea abies* (Ялини Європейської) після льодовикового періоду [39].

Окрім цього, застосування молекулярно-генетичних досліджень представників родини *Scolytidae* не обмежується лише філогенетикою. Як приклад, дослідження, в якому на основі аналізу послідовностей мітохондріальних 16S рРНК та ядерного фактору елонгації 1- α (EF-1 α) *Cognato* та *Vogler* у 2001 році створили кладограму, яка слугувала основою для перегляду класифікації роду *Ips* [40].

У дослідженні М.Н. Андерсона (2013) ідентифіковано основні елементи хемосенсорних мультигенних сімейств у *Ips typographus* та *Dendroctonus ponderosae* шляхом підбору і подальшого аналізу транскриптомних даних, отриманих шляхом секвенування нового покоління [41].

Значна увага дослідників приділяється також і вивченню симбіотичних грибів короїдів, в тому числі й дослідженням їх геному і транскриптому, оскільки встановлено, що деякі види бактерій здатні стимулювати або гальмувати ріст симбіотичних для короїдів грибів. Тобто гіпотетично вони є посередниками симбіотичних комплексів [42].

У перспективі дані, які можна отримати з використанням методів секвенування геномної ДНК, зможуть

розкрити проблеми сучасної філогенії та класифікації короїдів, а також відкриють можливість подальших досліджень у пошуку молекулярних мішеней для розробки ефективних засобів протидії стовбуровим шкідникам. Такими мішенями можуть бути, наприклад, ензими, що допомагають розщеплювати стінку рослинних клітин, синтезувати специфічні феромони тощо. На цей час робіт, присвячених секвенуванню, підбору нуклеотидних послідовностей та анотації геному короїдів, вкрай мало, що пов'язано з технічною складністю і трудозатратністю секвенування геномів еукаріотичних організмів, домішками геномів симбіотичних організмів, відносно високою вартістю досліджень тощо. Водночас перші вагомі кроки у цьому напрямі науковці вже роблять. Значна кількість досліджень за цією тематикою належить групі канадських вчених "The Trea Project". Зокрема, Keeling et al. в 2013 році опублікували зібраний та анотований «чорновий» геном короїда *Dendroctonus ponderosae* Hopkins. Враховуючи той факт, що це лише другий опублікований геном жука (першим був просеквенований та зібраний геном *Tribolium castaneum*), матеріали, оприлюднені в цій публікації, стають опорними під час роботи з аналогічними представниками твердокрилих [43].

Яскравим прикладом використання генетичних даних є дослідження мікробіому кліщів, де автори роботи зазначають, що кліщі також є переносниками не лише хвороботворних, а й різноманітних груп коменсальних і симбіотичних мікроорганізмів та на відміну від хвороботворних мікроорганізмів, вивченням їх біології й впливу на кліщів часто нехтують. Тим не менше, своєю присутністю в організмі вони можуть створювати численні згубні, нейтральні або сприятливі ефекти, відіграючи різні ролі у харчовій адаптації, виступати стресовими факторами у формуванні захисту та специфічного імунітету [44].

Подібні молекулярно-генетичні підходи мають значні перспективи і в екологічних дослідженнях твердокрилих. Однак, навіть враховуючи технічну складність, відносно високу вартість метагеномних досліджень та незначну кількість публікацій щодо використання молекулярно-генетичних методів у вивченні короїдів, все ж варто звернути увагу на перспективність означеного напрямку стосовно інших симбіотичних організмів вмісту кишківника короїда. Перевагою цього методу є можливість знаходження генів грибів або бактерій, яких наразі неможливо виростити в культуральному середовищі. Це своєю чергою дозволить знайти екологічні й трофічні взаємозв'язки між досліджуваним об'єктом та його мікробіомом. Pora et al. (2012) вказують, що використання ентомопатогенних мікроорганізмів проти популяцій короїдів є привабливим альтернативним інструментом для багатьох програм біологічного контролю в лісовому господарстві. Однак на ефективність цих біологічних засобів контролю сильно впливають фактори навколишнього середовища,

а також сприйнятливості самого жука. Дослідники також зазначають, що для контролю популяцій шкідників потенційно можуть застосовуватися дві основні стратегії: 1) порушення симбіотичної асоціації між грибами, бактеріями та, власне, комахою; 2) генетична маніпуляція симбіонтами короїдів, їх здатність виділяти метаболіти, що беруть участь у живленні та механізмах захисту членистоногого [40].

У контексті глобальних кліматичних змін та стрімкого розширення ареалу жуків-короїдів у лісових екосистемах України є логічною імплементація сучасних фармакологічних підходів до вирішення проблеми експансії шкідників родини *Scolytidae* шляхом розробки інсектицидних засобів. Порівнюючи ураження лісових насаджень інфекційними хворобами, ці підходи передбачають проходження тих самих етапів створення лікарських засобів, але у відношенні екосистем. Зокрема, накопичення геномних даних про різні види жуків-короїдів дозволить за допомогою біоінформатичних інструментів знайти специфічні для цієї родини життєво важливі гени, завдяки яким можливо буде підібрати хімічні сполуки, здатні їх блокувати. Означеними мішенями для зменшення популяції короїдів можуть бути гени, що відповідають за такі процеси, як: смертність личинок в зимовий період, сприйнятливості до метаболітів дерев, метаболізм феромонів на основі терпеноїдів деревного походження [45], синтез вітамінів та інших біологічно активних сполук мутуалістичними бактеріями, механізми забезпечення життєвого циклу тощо. Подальші етапи розробки передбачають підбір *in silico* та хімічний синтез необхідних сполук, здатних взаємодіяти з означеними мішенями, та зрештою, їх експериментальну перевірку *in vitro*. Головною проблемою хімічних методів контролю популяції є складнощі, пов'язані із видоспецифічністю штучно синтезованих сполук відносно інших учасників лісових екосистем. Тобто засіб боротьби з короїдами мусить бути вузьконаправленим, аби втручання в екосистему було мінімальним, що відповідає концепції сталого природокористування. Однак цей підхід не може бути панацеєю, адже, як зазначалось раніше, представники родини *Scolytidae* мають не лише господарське значення як шкідники, а й біоферне, як утилізатори целюлози – складника ксилеми деревних порід. Також видається доцільним вивчення властивостей короїдів як біоіндикаторів, що можуть допомогти у розв'язанні широкого кола екологічних, лісознавчих та лісівничих задач [27].

Альтернативні підходи контролю популяцій короїдів з використанням семіохімічних сполук на основі феромонів вже тривалий час вивчаються в США. Передбачається, що застосування сполук, подібних до феромонів короїдів, на неспецифічних деревах шляхом їх оприскування дозволить суттєво зменшити ступінь агрегації жуків на специфічних рослинах [46].

Водночас засобами протидії шкідникам можуть виступати не лише препарати проти власне самого жука, але і паразитичні організми (гриби, бактерії, нематоди тощо), або ж засоби опосередкованого впливу – антибіотики специфічного спрямування, націлені винятково на мутуалістичних бактерій. Проте їх застосування потребує більш повного розуміння екологічних взаємозв'язків між шкідником і мікроорганізмами та паразитами, які його населяють, а також більш деталізованих знань щодо його трофічних ланцюгів.

Означене вказує на потребу використання сучасних підходів, що дозволять у відносно короткий термін зібрати необхідні масиви даних про геноми цих організмів та встановити екологічні і трофічні взаємозв'язки між ними.

Найбільш оптимальним, на нашу думку, способом для збору такого масиву даних видається методологія отримання геномних, транскриптомних і метагеномних даних шляхом секвенування нового покоління (NGS – Next Generation Sequencing) з подальшою обробкою цих результатів сучасними біоінформатичними методами.

Головні висновки. Вивчення жуків-короїдів, зважаючи на значний перелік видів, проводиться фрагментарно, і увага дослідників спрямована здебільшого на види-шкідники лісового господарства.

Ефективність сучасних методів контролю чисельності популяцій короїдів є неоднозначною та потребує перегляду і пошуку новітніх підходів до вивчення цієї проблематики. У цьому контексті перспективним видається також і вивчення коменсальних та симбіотичних організмів вмісту кишківника жука, що своєю чергою дасть можливість встановлення генів грибів або бактерій, які наразі неможливо виростити в культуральному середовищі, та дозволить знайти екологічні й трофічні взаємозв'язки між досліджуваним об'єктом та його мікробіомом.

Привабливим альтернативним інструментом для багатьох програм біологічного контролю в лісовому господарстві може бути використання ентомопатогенних мікроорганізмів проти популяцій короїдів. Однак на ефективність цих біологічних засобів контролю сильно впливають фактори навколишнього середовища, а також і сприйнятливості самого жука.

Водночас засобами протидії шкідникам можуть виступати як препарати проти короїдів, так і їх паразитичні організми (гриби, бактерії, нематоди тощо), або ж засоби опосередкованого впливу – антибіотики специфічного спрямування, націлені винятково на мутуалістичних бактерій. Проте застосування цих засобів потребує більш повного розуміння екологічних взаємозв'язків між шкідником і мікроорганізмами та паразитами, які його населяють, а також більш деталізованих знань щодо його трофічних ланцюгів.

Перспективними, на нашу думку, є перехід до молекулярно-генетичних методів, а саме поєднання геномних, транскриптомних і метагеномних даних,

зібраних шляхом секвенування нового покоління *typographus* (Короїд-типограф), *Ips acuminatus* для вивчення представників родини *Scolytidae*, (Верхівковий короїд) та *Blastophagus piniperda* зокрема, найпоширеніших в Україні видів *Ips* (Великий сосновий лубоїд).

Література

1. Kausrud, K. et al. Population dynamics in changing environments: the case of an eruptive forest pest species. *Biological Reviews*. 2011 № 87(1), P. 34–51. doi:10.1111/j.1469-185x.2011.00183.x.
2. Sambaraju K.R. et al. Climate change could alter the distribution of mountain pine beetle outbreaks in western Canada. *Ecography*. 2012. № 35(3), P. 211–223. doi:10.1111/j.1600-0587.2011.06847.x.
3. Публічний звіт державного агентства лісових ресурсів України за 2018 рік. С. 20 URL: https://drive.google.com/file/d/194P-skQpV9f1B0dYBGSKix_u1yHlfhQ/view (дата звернення: 22.04.20).
4. Крамарець В. Роль біотичних чинників у висиханні ялиників Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. № 17. 2018. DOI: <https://doi.org/10.15421/411827>.
5. Lawrence J.F. et al. Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, references and data on family-group names) *Biology, Phylogeny, and Classification of Coleoptera: Papers Celebrating the 80th Birthday of Roy A. Crowson*. Vol. 2, P. 779–1006, 1995.
6. Мандельштам, М.Ю. Короеды (Scolytidae). 2001. URL: <https://www.zin.ru/ANIMALIA/COLEOPTERA/RUS/incosl.htm> (дата звернення: 20.04.20).
7. Нікуліна Т.В. Жуки-короїди (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) південного сходу України (фауна, географічне поширення, особливості біології) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : 03.00.24. Київ, 2014. 22 с.
8. Wood S.L. A reclassification of the genera of Scolytidae (Coleoptera). *Great Basin Naturalist Memoirs*. 1986. Vol. 10, Article 2.
9. Lobl I., Smetana A. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Curculionidae. *Apollo Books*. 2011, Vol. 7. 373 p.
10. Hobeke R.E. Hylurgus ligniperda: A New Exotic Pine Bark Beetle in the United States. *Newsletter of the Michigan entomological society*. 2001, Vol. 46, №1 & 2.
11. Пушкин С.В. Зооразнообразные: конспект лекций. М-Берлин : директ-Медиа. 2015, 105 с.
12. Старк В.Н. Жесткокрылые. Короеды. Издательство Академии Наук СССР (Фауна СССР. Т. 31). 1952. 462 с.
13. Дербак І.С., Тюх Ю.Ю. Феромонний лісівничо-біологічний метод захисту ялини від жуків-короїдів в умовах лісових насаджень НПП «Синевир». *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. Випуск 23. 2008, С. 170–173.
14. Васечко Г.И. Короеды и борьба с ними в еловых лесах Карпат : автореф. дисс. канд. биол. наук. Киев, УНИИЗР. 1967, 20 с.
15. Гриник Г.Г., Пукман. В.В. Аналіз впливу зміни кліматичних показників на санітарний стан ялинових деревостанів в українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009, Вип. 19. С. 271–285.
16. Гайченя П.А., Серіков О.Я., Фасулаті К.К. Стовбурні шкідники лісу. Київ «Урожай». 1970.
17. Бурдуланюк А.О. та ін. Динаміка чисельності жуків-короїдів в екосистемі хвойних лісів Полісся Сумщини. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018, № 8(2). С. 95–104. DOI: 10.15421/2018_315
18. Scheller R.M. et al. Interactions Among Fuel Management, Species Composition, Bark Beetles, and Climate Change and the Potential Effects on Forests of the Lake Tahoe Basin. *Ecosystems*. 2017, № 21(4). P. 643–656. doi: 10.1007/s10021-017-0175-3.
19. Wallin K.F. and Raffa K.F. Density-mediated responses of bark beetles to host allelochemicals: a link between individual behaviour and population dynamics. *Ecological Entomology*. 2002, № 27. P. 484–492. doi:10.1046/j.1365-2311.2002.00431.x.
20. Eiji O., Haruo K. Close range sound communications of the oak platypodid beetle *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera: Platypodidae). *Appl. Entomol. Zool.* 2001, № 36 (3). P. 317–321.
21. Kenis M., Wermelinger B., Gregoire J.C. Research on parasitoids and predators of Scolytidae in living trees in Europe – a review. In: Lieutier F., Day K., Battisti A., Gregoire J.C. and Evans H.F., editors *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe. A Synthesis*. Kluwer, Dordrecht. 2004, P. 237–290.
22. Wichmann, L., Ravn, H.P. The spread of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analysed using GIS. *Forest Ecology and Management*. 2001, № 148(1-3). P. 31–39. doi:10.1016/s0378-1127(00)00477-1.
23. Wood S.L., Bright D.E., A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera). Part 1: Bibliography. *Great Basin Naturalist Memoirs*. 1987, № 11. 685 p.
24. Wood S.L., Bright D.E., A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera). Part 2: taxonomic index. *Great Basin Naturalist Memoirs*. 1992, № 13(A). P. 1- 833; № 13(B). P. 835–1553.
25. Никулина Т.В., Мандельштам М.Ю., Мартынов В.В. Материалы к фауне жуков-короедов (Coleoptera, Scolytidae) Украины. *Сучасні проблеми ентомології: тези доп. ентомол. наук. конф., присвяченої 60-й річниці створення Укр. ентомол. тов-ва (Умань, 12-15 жовтня 2010 р.)*. Київ : Колоб'іг. 2010, С. 68–69.
26. Терехова В.В., Сальніцька М.О. Анований список видів жуків-короїдів (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) лісостепової зони Лівобережної України. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія*. 2014, 195 с.
27. Слободян П.Я., Нишей О.М. Моніторинг та біоіндикаційні особливості *Ips typographus* L. в умовах Бескид. *Український державний лісотехнічний університет. Науковий вісник*. 2002, Вип. 12.4 С. 154
28. Latreille P.A. Tableau méthodique des insectes. Nouveau Dictionnaire d'Histoire Naturelle, Appliquée aux Arts, Principalement à l'Agriculture et à l'Economie Rurale et Domestique. 1804, T. 24. P. 129–200.
29. Шевырев И. Загадка короедов. Издание 3-е исправленное и дополненное. Санкт-Петербург, типография товарищества «Общественная польза», 1910. Репринтное издание. Москва, МГУЛ. 2000, 108 с.
30. Лебедева К.В., Вендило Н.В., Курбатов С.А. Феромоны короедов рода *Ips*. *Лесной вестник*. 2006 № 2. С. 91–97.
31. Мешкова В.Л., Кочетова А.І., Зінченко О.В. Верхівковий короїд *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) у північно-східному степу України. *Вісті Харківського ентомологічного товариства*. 2015, Т. 13. Вип. 2.

32. Новак Л.В., Гамаюнова С.Г. Биологические особенности массовых видов вязовых короедов (Coleoptera, Scolytidae) в дубравах Харьковской области. *Лісівництво і агролісомеліорація: збірник наукових праць*. Харків : УкрНДЛГА. 2008, Вып. 114. С. 187–193.
33. Cognato A.I. Biology, Systematics, and Evolution of Ips Bark Beetles. 2015, P. 351–370. DOI:10.1016/b978-0-12-417156-5.00009-5
34. Wood S., Yin H. Relict occurrence of three “American” Scolytidae (Coleoptera) in Asia. *The Great Basin Naturalist*. 1986. P. 461–464.
35. Cudmore T.J., Björklund N., Carroll A.L., Lindgren S.B. Climate change and range expansion of an aggressive bark beetle: evidence of higher beetle reproduction in naïve host tree populations. *Journal of Applied Ecology*. 2010, Vol. 47(5). P. 1036–1043. DOI:10.1111/j.1365-2664.2010.01848.x.
36. Harding S. and Ravn H.P. Seasonal activity of Ips typographus L. (Col., Scolytidae) in Denmark1. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*. 1985. P. 123–131. DOI:10.1111/j.1439-0418.1985.tb01969.x.
37. Stauffer C., Lakatos F., Hewitt G.M. The phylogenetic relationships of seven European Ips (Scolytidae, Ipinae) species. *Insect Molecular Biology*. 1997, Vol. 6. № 3. P. 233–240. doi:10.1046/j.1365-2583.1997.00177.x.
38. Cognato A.I. Phylogenetic analysis reveals new Genus of Ipini bark beetle (Scolytidae). *Annals of the Entomological Society of America*. 2000, Vol. 93 №3. P. 362–366. doi:10.1603/0013-8746(2000)093[0362:parngo]2.0.co;2.
39. Stauffer C., Leitinger R., Simsek Z., Schreiber J.D., Führer E. Allozyme variation among nine Austrian Ips typographus L. (Col., Scolytidae) populations. *Journal of Applied Entomology*. 1992, Vol. 114 № 1–5. P. 17–25. doi:10.1111/j.1439-0418.1992.tb01091.x.
40. Cognato A.I., Vogler A.P. Exploring Data Interaction and Nucleotide Alignment in a Multiple Gene Analysis of Ips (Coleoptera: Scolytinae). *Systematic Biology*. 2001, Vol. 50 № 6. P. 758–780. doi:10.1080/106351501753462803.
41. Andersson M.N. et al. Antennal transcriptome analysis of the chemosensory gene families in the tree killing bark beetles, Ips typographus and Dendroctonus ponderosae (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *BMC Genomics*. 2013, Vol. 14 № 1. 198 p. DOI:10.1186/1471-2164-14-198.
42. Popa V., Déziel E., Lavallée R., Bauce E., Guertin C. The complex symbiotic relationships of bark beetles with microorganisms: a potential practical approach for biological control in forestry. *Pest Management Science*. 2012, Vol. 68. № 7. P. 963–975. doi:10.1002/ps.3307.
43. Keeling C.I. et al. Draft genome of the mountain pine beetle, Dendroctonus ponderosae Hopkins, a major forest pest. *Genome Biol*. 2013, Vol. 14, R. 27 DOI:10.1186/gb-2013-14-3-r27.
44. Bonnet S.I. et al. The tick microbiome: why non-pathogenic microorganisms matter in tick biology and pathogen transmission. *Front. Cell. Infect. Microbiol*. 2017, Vol. 7. P. 236. DOI: 10.3389/fcimb.2017.00236.
45. Huber D.P.W. et al. Isolation and extreme sex-specific expression of cytochrome P450 genes in the bark beetle, Ips paraconfusus, following feeding on the phloem of host ponderosa pine, Pinus ponderosa. *Insect Molecular Biology*. 2007, Vol. 16. P. 335–349. DOI:10.1111/j.1365-2583.2007.00731.x.
46. Negrón J. et al. US Forest Service Bark Beetle Research in the Western United States: Looking Toward the Future. *Journal of Forestry*. 2008, Vol. 106. P. 325–331.

УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

УДК 504.064:502.027:629.015:625.7(07)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.26>

ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ ІЗ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ (ТПВ)

Виговська Г.П., Гільбран С.В.

Державна екологічна академія післядипломної освіти
та управління Мінекоенерго України
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, к. 2, 03035, м. Київ
annapaulv@ukr.net, gilbran@ukr.net

Стаття присвячена вдосконаленню техніко-екологічного стану об'єктів інфраструктури щодо поводження з побутовими відходами в населених пунктах України. На сьогодні як в Україні, так і у всьому світі залишається гострою проблема екологічно безпечного поводження із твердими побутовими відходами. Стрімке зростання відходів, які утворюються практично на всіх стадіях виробництва та споживання матеріальних благ, негативно впливає на екологічну ситуацію. Із відходами пов'язана значна небезпека для здоров'я людей і природного довкілля. У статті показано, що вирішення проблеми відходів значною мірою визначається наявною інфраструктурою.

Актуальність дослідження визначається необхідністю створення екологічно безпечної системи поводження із твердими побутовими відходами та її інфраструктурного забезпечення, зважаючи на сучасні пріоритети охорони довкілля, раціонального природокористування та ресурсозбереження.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні напрямів мінімізації захоронення твердих побутових відходів на базі дослідження оптимальних шляхів розбудови інфраструктури поводження з такими відходами, розвитку напрямів їх утилізації й заощадження природної сировини й матеріалів та поліпшення екологічного стану населених пунктів.

У статті наведено результати дослідження сучасного стану системи поводження з відходами та її інфраструктурне забезпечення. Констатовано, що донедавна домінуючим способом видалення твердих побутових відходів в Україні залишається їх захоронення на полігонах та сміттєзвалищах. Установлено, що практика поводження з ними не забезпечує захист населення й довкілля від їх шкідливого впливу. У статті наведено аналіз стану об'єктів інфраструктури щодо поводження з побутовими відходами. Через низький рівень розвитку інфраструктури несортовані побутові відходи вивозяться з населених пунктів у місця видалення (звалища), які в переважній більшості загалом не обладнані спорудами захисту довкілля і є джерелом його забруднення. Розкрито основні фактори стримування розвитку та модернізації інфраструктурного забезпечення та окреслено найважливіші проблеми.

Обґрунтовано базові заходи розбудови інфраструктури поводження з побутовими відходами та показано їх взаємозалежність. Упровадження накреслених заходів буде сприяти вирішенню основного стратегічного завдання – зменшення обсягів відходів, які спрямовуються на полігони за допомогою сучасних екологоорієнтованих технологій. *Ключові слова:* поводження з відходами, побутові відходи, інфраструктура, захоронення відходів, полігони.

Evaluation of the technical and environmental state of infrastructure facilities for solid municipal waste management (SMW). Vigovska H., Gilbran S.

The article is devoted to the improvement of the technical and ecological status of the objects of infrastructure for the management of municipal waste in settlements of Ukraine. At present, the problem of environmentally sound solid waste management remains acute both in Ukraine and around the world. The rapid growth of waste generated at virtually all stages of production and consumption of material goods has a negative impact on the environmental situation. Waste has a significant risk to human health and the environment. The article shows that the solution to the problem of waste is largely determined by the existing infrastructure.

The relevance of the study is determined by the need to create an environmentally sound solid waste management system and its infrastructure support based on current environmental priorities, sustainable use of nature and resource conservation.

The purpose of the work is to substantiate the directions of minimizing the disposal of solid household waste based on the study of optimal ways of developing the infrastructure for the management of such waste, the development of directions for their utilization and saving of natural raw materials and improvement of the ecological status of settlements.

The article presents the results of the study of the current state of the waste management system and its infrastructure support. It has been stated that until recently, landfills and landfills have been the dominant method of disposal of municipal solid waste in Ukraine. It is established that the current practice of treating them does not protect the population and the environment from their harmful effects. The article analyzes the status of municipal waste management facilities. Due to the low level of infrastructure development, unsorted municipal waste is transported from settlements to disposal sites (landfills), which are mostly not equipped with environmental protection facilities and are a source of pollution. The main factors of restraining the development and modernization of infrastructure are identified and the major problems are outlined.

Basic measures for the development of municipal waste management infrastructure are substantiated and their interdependence is shown. Implementation of the planned measures will help to solve the main strategic task – reducing the amount of waste sent to landfills with the help of modern eco-friendly technologies. *Key words:* wastes management, municipal waste, infrastructure wastes, burial, polygons.

Постановка проблеми. Однією з найбільш актуальних проблем, з якою пов'язана значна небезпека для здоров'я людей і природного довкілля, як в усьому світі, так і в Україні, є генерування відходів. Стрімке зростання відходів, які утворюються практично на всіх стадіях виробництва та споживання матеріальних благ, негативно впливає на екологічну ситуацію. Кожен рік кількість ТПВ в індустріально розвинених країнах світу зростає в середньому на 2%, тому сьогодні благополуччя й саме існування суспільства залежать від вирішення проблеми відходів. Удосконалення системи управління ТПВ Європейський Союз визначає як одне з головних завдань у сфері охорони довкілля [1].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. В Україні проблема відходів вирізняється особливою масштабністю і значимістю як унаслідок домінування багатовідхідних технологій, так і через відсутність протягом тривалого часу адекватного реагування на її виклики. Особливо складна ситуація з побутовими відходами.

В Україні налічується 460 міст, близько 500 районів, 885 селищ міського типу і 28 388 сіл, де кожного року утворюється понад 50 млн. кубічних метрів ТПВ (близько 11–12 млн. тонн) (без урахування даних із тимчасово окупованих територій, Автономної Республіки Крим та м. Севастополь), які переважно складаються на санкціонованих, але екологічно небезпечних сміттєзвалищах (полігонах). Донедавна домінуючим способом видалення твердих побутових відходів в Україні залишається їх захоронення на полігонах та сміттєзвалищах. Близько 94% зібраних змішаних відходів направляється саме на полігони та звалища. Водночас у приватному секторі, через відсутність належної системи збирання ТПВ щорічно утворюються тисячі дрібних стихійних звалищ, які не піддаються достовірному обліку.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Під час захоронення побутових відходів на звалищах унаслідок протікання фізико-хімічних та біохімічних процесів утворюються небезпечні забруднюючі речовини. Місця накопичення побутових відходів стають значними осередками забруднення природного довкілля в багатьох регіонах. Таке становище призводить до забруднення підземних і поверхневих вод, атмосферного повітря, погіршення стану земельних ресурсів, зрештою згубно діє на здоров'я людей. Наявна система санітарного очищення населених пунктів не забезпечує їх належний стан.

Актуальність дослідження визначається необхідністю створення екологічно безпечної системи поводження із твердими побутовими відходами (ТПВ) та її інфраструктурного забезпечення, зважаючи на сучасні пріоритети охорони довкілля, раціонального природокористування та ресурсозбереження.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні напрямів мінімізації захоронення твердих побутових відходів,

зважаючи на дослідження оптимальних шляхів розбудови інфраструктури поводження з такими відходами, розвиток напрямів їх утилізації й заощадження природної сировини й матеріалів та поліпшення екологічного стану населених пунктів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Стан проблеми поводження з ТПВ значною мірою визначається наявною інфраструктурою. Інфраструктура системи санітарної очистки населених пунктів від ТПВ охоплює: майданчики із встановленими контейнерами для збирання ТПВ (валового чи роздільного), парк спецавтотранспорту, сміттєспалювальні заводи, сміттєсортувальні станції, полігони та звалища.

Виклад основного матеріалу. Аналіз загального стану поводження з ТПВ в Україні свідчить про таке. За даними Мінрегіону України [2] в Україні за 2018 рік (без урахування даних АР Крим та м. Севастополь) утворилось майже 54 млн. м³ побутових відходів, або понад 11 млн. тон.

Послугами з вивезення побутових відходів охоплено близько 78% населення України. Найгірший показник охоплення населення послугами з вивезення побутових відходів у Волинській області – 61%, у Черкаській області та Одеській області – 63%.

Питомі показники утворення відходів у середньому становлять 220–250 кг/рік на душу населення, а у великих містах досягають 330–380 кг/рік і відповідно мають тенденцію до зростання. До складу ТПВ входять такі основні компоненти: харчові відходи – 35–50%, папір і картон – 10–15, вторинні полімери – 9–13, скло – 8–10, метали – 2, текстильні матеріали – 4–6, дерево – 1, будівельне сміття – 5, інші відходи – 10%.

Лише незначна частина побутових відходів переробляється, а решта направляється на захоронення. Загальна ситуація поводження з побутовими відходами представлена в таблиці 1.

Як впливає з даних таблиці, у 2018 році було перероблено та утилізовано близько 6,2% побутових відходів, із них: 2% спалено, а 4,2% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи.

Узагальнення наявних даних Мінрегіону України дає змогу виділити окремі складники інфраструктурного розвитку сфери поводження з побутовими відходами [2]. Зокрема:

В Україні у 1 462 населених пунктах (без урахування даних АР Крим та м. Севастополь) упроваджується роздільне збирання побутових відходів. У 28 населеному пункті працюють 34 сміттєсортувальні лінії. Працює 1 сміттєспалювальний завод у м. Києві і 3 сміттєспалювальні установки.

Загальна кількість спеціально обладнаних транспортних засобів становить майже 4 тис. одиниць. Регіони мають недостатню кількість сміттєвозів, водночас більша частина їх є зношеними, морально застарілими і спецпідприємства не спроможні вико-

Таблиця 1

Поводження з ТПВ за регіонами України

Адміністративно-територіальний поділ	Обсяги збирання		Обсяги перевезення		Зокрема на:													
	М ³		Т		М ³		Т		заготівельні пункти вторинної сировини		сміттєпереробні підприємства		діянки ком-постування		сміттєспалювальні заводи		полігони (звалища)	
	М ³	Т	М ³	Т	М ³	Т	М ³	Т	М ³	Т	М ³	Т	М ³	Т	М ³	Т	М ³	Т
Вінницька	1348998,35	239079,07	1348998,35	239079,07	1003,4	835,4	5826	147	8800	0	0	0	0	0	0	0	1333368,95	238096,67
Волинська	1169100	171600	1169100	171600	6900	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1162200	171593
Дніпропетровська	5635692	777064,69	5635692	777064,69	151949	12767,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5483743	764296,79
Донецька	2579660	515818,012	2579133	515644,062	19087,2	2783,462	56082	9331,7	0	0	0	0	0	0	0	0	2503963,8	503528,9
Житомирська	1350428,343	302590,074	1350428,343	302592,35	5748,96	1708,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1344679,383	300883,99
Закарпатська	1256039,5	298015,7	1256039,5	298015,7	647,6	160,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1255391,9	297854,73
Запорізька	3492381	582071,9	3492381	582074,9	0	10,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3492381	582064
Івано-Франківська	940432,9	172736,3	940432,9	172736,2	17922,3	1996,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	922510,6	170740,1
Київська	1261663,4	218492,2	1261663,4	218492,2	11107,5	1110	79315,3	18980,7	0	0	9510	1910	0	0	0	0	1161730,6	196491,5
Кіровоградська	1955979,1	586780,62	1955979,1	586780,62	428,4	136,36	87065,75	19531,42	0	0	0	0	0	0	0	0	1868484,95	567112,84
Луганська	620456,09	143279,51	620456,09	143279,51	1466,86	73,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	618989,23	143205,91
Львівська	3883691,09	658007,02	3883691,09	658007,02	9070,24	848,04	63403	10335	0	0	0	0	0	0	0	0	3811217,85	646823,98
м. Київ	7208235,77	1348354,63	7208235,77	1348354,63	594395,9	54269,81	284455,06	47131,2	0	0	1074441,25	205424,35	0	0	0	0	5254943,56	1041529,27
Миколаївська	1434400	286900	1434374	286852	288874	57352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1145500	229500
Одеська	6097572,4	152439,31	6097572,4	152439,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6097572,4	152439,31
Полтавська	1693365,51	299846,94	1693365,51	299846,94	5772,8	645,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1687592,71	299201
Рівненська	1130528,3	196865,9	1130528,3	196865,9	22948	3338,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1107580,3	193327,7
Сумська	769216,608	197235,03	769216,608	197235,03	5926,4	1519,591	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	763290,208	195715,439
Тернопільська	900095	300730	900095	300730	9319	1620	232414	154645	0	0	0	0	0	0	0	0	658362	144465
Харківська	3772043,07	751279,42	3772042,07	751279,42	17736,37	3720,32	0	0	0	0	0	0	0	0	3700,4	740	3750605,3	746819,1
Херсонська	779874	194968,25	779874	194968,25	12	3,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	779862	194965
Хмельницька	1602138,09	244224,73	1602138,03	244220,68	9055	557,78	0	0	4416	1640,2	0	0	0	0	0	0	1588667,03	242022,7
Черкаська	982168	196740	982168	196740	5720	198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	976448	196542
Чернівецька	826107,9	25701	826107,9	25701	268	107,2	4495	0	0	0	0	0	0	0	0	0	821344,9	25593,8
Чернігівська	1098395,7	216184,2	1098395,7	216184,2	4896,2	496,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1093499,5	215687,7
Усього в Україні	53788662,121	9077004,506	53788108,061	9076783,682	1190255,13	146466,683	813056,11	260102,02	13216	1640,2	1087651,65	208074,35	0	0	0	0	50683929,171	8460500,429

Складено за даними Мінрегіону

нати весь обсяг перевезень ТПВ. Середній показник зношеності спецавтотранспорту у 2018 році становить 65%. Найменший відсоток зношеності сміттєвозів у Полтавській області – 51%.

У більшості регіонів не вистачає контейнерів для збирання ТПВ, водночас їх якість є низькою, а утримання не відповідає сучасним санітарно-гігієнічним вимогам.

Як видно із наведених у таблиці показників, переважна частина ТПВ направляється саме на полігони (звалища), тобто на сьогодні саме полігони (звалища) є основними інфраструктурними елементами у сфері поводження з відходами. На території України станом на 2018 рік функціонує 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 9 тис. га. За даними Мінрегіону кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 256 од. (4,2%), а 984 од. (16%) не відповідають нормам екологічної безпеки. Проводиться робота з паспортизації та рекультивациі сміттєзвалищ. Із 1991 сміттєзвалища, які потребують паспортизації, у 2018 році фактично паспортизовано 157 од. (потребує паспортизації 30% сміттєзвалищ від їх загальної кількості). Найбільша кількість полігонів, які потребують паспортизації, в Чернігівській області – 77% від загальної кількості полігонів в області та в Запорізькій області – 73%. Із 543 сміттєзвалищ, які потребують рекультивациі, фактично рекультивовано 74 од. (7,7% потребують рекультивациі). Найбільша кількість полігонів, які потребують рекультивациі, у Закарпатській області – 67% від загальної кількості полігонів в області та у м. Києві. Потреба в будівництві нових полігонів становить понад 421 одиниці. Найбільша потреба в будівництві нових полігонів у Дніпропетровській області – 55 одиниць, Закарпатській області – 44 одиниці [2].

Відповідно до ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» полігони ТПВ є інженерними спеціалізованими спорудами, які призначені для захоронення твердих побутових відходів [3].

Правилами експлуатації полігонів побутових відходів встановлено вимоги щодо експлуатації та утримання полігонів побутових відходів [4].

Водночас наявні полігони та звалища побутових відходів повністю не вирішують проблему видалення відходів. Згідно з даними «Регіональних доповідей про стан природного довкілля» в багатьох регіонах України (Донецька, Львівська, Київська, Житомирська та інших областях) проблема захоронення побутових відходів є найбільш гострою [5]. Звалища експлуатуються з порушенням екологічних та санітарних норм: не дотримуються технологічні вимоги розміщення відходів, відсутні системи інженерного захисту підземних і поверхневих вод від забруднення токсичними компонентами відходів тощо. У багатьох із них не оформлені державні акти на право користування земельними ділянками, відсутні проекти, дозволи на розміщення відходів,

не оформлені паспорти місць видалення відходів тощо. Із цих причин місця накопичення побутових відходів стають значними осередками забруднення природного довкілля в багатьох регіонах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз стану проблеми поводження з побутовими відходами свідчить про неврегульованість відповідних процесів та неконтрольованість ситуації із захороненням побутових відходів, а також про низький рівень інфраструктурного забезпечення цієї сфери.

Така ситуація притаманна практично всім населеним пунктам України і становить загальнодержавну проблему, необхідність вирішення якої відповідає основним принципам державної політики у сфері поводження з відходами, сформульованим у Законі України «Про відходи» [6] щодо забезпечення нормальної життєдіяльності населення, належного рівня санітарного очищення населених пунктів, охорони довкілля та ресурсозбереження.

В Україні накреслені певні кроки щодо вирішення проблеми побутових відходів. У Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [7] передбачена низка заходів щодо вирішення проблеми побутових відходів, які стосуються вдосконалення інституціонального забезпечення та організаційно-економічних механізмів. Передбачено також збільшення використання відходів, які можуть бути вторинною сировиною, й, відповідно, зменшення їх захоронення, а також зменшення захоронення відходів, що біологічно розкладаються.

Що стосується полігонного захоронення відходів, то до Стратегії увійшли заходи із забезпечення функціонування мережі регіональних полігонів, які відповідатимуть транспонованим у національне законодавство вимогам Директиви Ради № 1999/31/ЄС від 26 квітня 1999 року «Про захоронення відходів» [8] та формування, за результатами проведеної інвентаризації та оцінки екологічного ризику, переліків та звалищ, що підлягають погодженню з екологічними вимогами, а також полігонів та звалищ, які підлягають закриттю.

Незважаючи на певні позитивні зрушення, проблема побутових відходів залишається однією з найбільш гострих господарських і природоохоронних проблем. Щорічне збільшення обсягів ТПВ, оновлення компонентного складу, обмеженість територій для їх розміщення призводить до зростання витрат на поводження з ними та напруженості в суспільстві.

Основними факторами стримування розвитку та модернізації інфраструктурного забезпечення поводження з відходами є:

- недостатність фінансового забезпечення розвитку та модернізації інфраструктури поводження з відходами;
- недостатній розвиток сучасних методів переробки промислових та твердих побутових відходів;
- недостатність наявного автопарку, задіяного у сфері поводження з відходами, для своєчасного

вивезення побутового сміття та його зношеність;

– недостатня інформованість та усвідомлення населенням, виробничим та адміністративним персоналом важливості для населених пунктів належного вирішення проблеми відходів;

– незадіяність повною мірою науково-технічного персоналу для вирішення проблеми відходів;

– недостатня ефективність управління в цій сфері тощо.

До найважливіших проблем інфраструктурного забезпечення сфери поводження з відходами належать:

– недостатність сучасних полігонів побутових відходів і коштів на їх будівництво;

– недостатність смітесортувальних та сміттепереробних заводів, а також спеціалізованих полігонів для захоронення не утилізованих залишків;

– низький рівень реабілітації забруднених відходами територій та рекультивації звалищ;

– недостатня кількість спеціалізованих організацій та підприємств, які займаються заготівлею й переробкою відходів як вторинної сировини;

– незадовільний стан сільських полігонів твердих побутових відходів;

– невиконання заходів, передбачених місцевими програмами поводження з відходами.

Хоча в ієрархії пріоритетів щодо поводження з відходами полігонне їх захоронення посідає найнижче місце через ризики забруднення довкілля та втрату ресурсів, які містяться у відходах, полігони залишаються найбільш поширеним методом поводження з відходами. Так, наприклад, незважаючи на прийняття цілої низки заходів, у ЄС в середньому близько 45–50% відходів направляються на полігони [9]. Звалища як остання з альтернатив для залишків відходів після їх переробки, згідно з Директивою Ради 1999/31/ЄС, повинні відповідати строгим вимогам стандартів щодо: вибору місця; його підготовки під звалища; технологічних операцій, які на них проводяться; попередньої обробки відходів, що захороняються; типу відходів; нагляду за ними після закриття.

Основне стратегічне завдання полягає в поступовому зменшенні обсягів ТПВ, які направляються на полігони за допомогою сучасних екологоорієнтованих технологій їх збирання, зберігання та промислової переробки, та в екологічно безпечному захороненні. До базових заходів забезпечення вирішення проблеми твердих побутових відходів необхідно віднести:

1) створення інфраструктурних елементів системи роздільного збирання компонентів відходів і формування окремих їх потоків;

2) створення системи сміттепереробки, яка охоплює сортування, брикетування, компостування тощо; впровадження термічних технологій – спалювання, термічного й біотермічного розкладу й газифікації; впровадження анаеробних та інших біотехнологій;

3) створення промислової інфраструктури, орієнтованої на використання вторинної сировини з відходів;

4) екологічно безпечне полігонне захоронення відходів чи залишкових продуктів сміттепереробки.

Зазначені напрями не є альтернативними. Практично всі складники вирішення проблеми побутових відходів вимагають уваги. Однак завжди перевагу варто віддавати технологіям використання відходів як промислової сировини, а також їх енергетичного потенціалу. Перелічені підходи є взаємозалежними, а тому будь-які кроки в одному з напрямів не будуть результативними без погоджених (скоординованих) кроків в інших. Зокрема, не можна забезпечити ефективну переробку відходів без формування їх роздільних потоків і без створення можливостей збуту (ринкової реалізації) отриманої вторинної сировини.

До поточних завдань поліпшення стану об'єктів інфраструктури поводження належать:

– проведення інвентаризації будівель і споруд, зокрема полігонів для захоронення відходів, та встановити наявність правових документів на них і технічної документації на їх створення та експлуатацію;

– розроблення процедур та проведення ідентифікації та класифікації наявних полігонів, проведення їх технічної оцінки, розроблення планів погодження наявних полігонів із вимогами екологічної безпеки та з європейськими стандартами.

– реконструкція й переобладнання звалищ і полігонів ТПВ у дії, розробка на кожне місце організованого складування відходів проєктів щодо забезпечення їх відповідності технічним, санітарним й екологічним нормам.

– упровадження на об'єктах захоронення відходів порівняно простих та ефективних, економічно реальних інженерно-технічних рішень щодо зменшення негативного впливу відходів на довкілля;

– зниження негативного впливу на довкілля місць розміщення відходів чи об'єктів видалення протягом усього періоду їх життєвого циклу шляхом установлення відповідних вимог, правил та процедур захоронення відходів на полігонах, зокрема згідно з вимогами ОВД;

– розроблення та впровадження процедур моніторингу та контролю за офіційно створеними полігонами; процедур прийняття відходів на полігон для захоронення, розроблення процедури закриття полігонів.

Результати дослідження можуть бути використані у процесі створення екологічно безпечної системи поводження з відходами в населених пунктах України та під час розроблення регіональних та місцевих планів управління відходами.

Головні висновки. Донедавна домінуючим способом видалення твердих побутових відходів в Україні залишається їх захоронення на полігонах та сміттезвалищах. Несортовані побутові відходи вивозяться

із населених пунктів у місця видалення (звалища), які в переважній більшості не обладнані спорудами захисту довкілля і є джерелом його забруднення.

Досліджено сучасний стан системи поводження з відходами та її інфраструктурного забезпечення в Україні. Установлено, що наявна практика поводження з ними не забезпечує захист населення й довкілля від їх шкідливого впливу.

На базі проведених досліджень визначено, що стан проблеми поводження з побутовими відходами значною мірою визначається наявною інфраструктурою. Оцінено рівень технологічного розвитку інфраструктурних систем поводження з побутовими відходами в Україні та зроблено висновок про те, що він низький, з огляду на масштаби та складність проблеми.

Незважаючи на певні позитивні зрушення, проблема побутових відходів залишається однією з найбільш гострих господарських і природоохоронних проблем. Щорічне збільшення обсягів ТПВ, онов-

лення компонентного складу, обмеженість територій для їх розміщення призводить до зростання навантаження на довкілля та напруженості в суспільстві.

Розроблено пропозиції щодо вдосконалення інфраструктурного забезпечення поводження з відходами, які передбачають створення всіх складників інфраструктури, починаючи з роздільного збирання, транспортного обслуговування, сортувальних і сміттєпереробних комплексів, об'єктів ефективної утилізації.

Перспективи використання результатів дослідження. До основних завдань необхідно віднести зменшення обсягів захоронення ТПВ шляхом упровадження нових сучасних ефективних методів їх збирання, перевезення, перероблення, утилізації та захоронення, а також створення умов для ефективного використання ТПВ як енергоресурсу, впровадження комплексного перероблення й утилізації ресурсоцінних компонентів ТПВ.

Література

1. Директива № 2008/98/ЄС Європейського парламенту та Ради від 19 листопада 2008 р. «Про відходи та скасування окремих Директив». *Електронний ресурс*. Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>.
2. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vi/>.
3. ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основи проектування». *Електронний ресурс*. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65198.
4. Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України «Про затвердження правил експлуатації полігонів твердих побутових відходів» від 1.12.2010 р. № 435. *Електронний ресурс*. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1307-10>.
5. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища. *Електронний ресурс*. Режим доступу: https://menr.gov.ua/news/32893.html?fbclid=IwAR3iAgY_0rbRsWb8XxYjooPxrnl1lunaoPR8.
6. Закон України «Про відходи» № 187/98-ВР від 05 березня 1998 р. [із змінами і доповненнями, поточна редакція. Редакція від 18.11.2012] *Електронний ресурс*. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>.
7. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 р., схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. *Електронний ресурс*. Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-р.
8. Директива 1999/31/ЄС від 26 квітня 1999 р. Про захоронення відходів. *Електронний ресурс*. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_92.
9. Міщенко В.С., Виговська Г.П., Маковецька Ю.М., Омеляненко Т.Л. Удосконалення системи управління відходами в Україні в контексті європейського досвіду. Київ : «Лазурит-Поліграф», 2012. 120 с.

ПЛАСТИКОВА УПАКОВКА НА МОРСЬКИХ СУДНАХ У КОНТЕКСТІ ГЛОБАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПРОБЛЕМИ МІКРОПЛАСТИКУ

Кірсанова В.В., Биковець Н.П., Чумаченко М.М.

Дунайський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»

вул. Фанагорійська, 9, 68607, м. Ізмаїл, Одеська область

vvkirsanova@ukr.net, bnp.di2017@gmail.com, m.n.chumachenko@gmail.com

У статті наведено коротку характеристику пластмас і вказано на різноманітність їхньої хімічної будови. Також вказується на збільшення спектра властивостей пластмас завдяки додаванню наповнювачів, стабілізаторів, барвників та інших композиційних матеріалів, які розширюють хімічну різноманітність пластмас. Розглянуто особливості фізичної деструкції пластмас і їхнє поступове перетворення в мікро- і наночастинки, які можуть зберігатися в екосистемах упродовж сотень років. Робота інформує про виявлення мікропластику в повітрі, ґрунті і відкладеннях, прісних водах, морях, океанах. Вказується на проникнення мікрочастинок у харчові ланцюжки біосфери, а саме: виявлення мікропластику в організмі різних морських тварин і в організмі людини. Розглядається їхній негативний вплив на морську біоту і проникнення мікрочастинок розміром менш <5 мкм через стінку шлунково-кишкового тракту. Враховується біокумуляція, виникнення якої можливе, коли споживання перевищує відходи або коли частинки асимілюються в тканинах або органах. У роботі наведено приклади, які підтверджують потенційне перенесення мікропластику від здобичі до хижака. Вказується прийнята класифікація мікрочастинок пластику та складність їхньої ідентифікації. Наведено об'єми відходів пластику, які потрапляють у Світовий океан щороку. Для людства – це ще одна глобальна екологічна проблема, яку необхідно вирішувати спільно. У зв'язку з цим запропоновано різні технічні рішення для збору пластику у Світовому океані. Одним із запропонованих рішень є відмова від пластикової упаковки. Перераховуються можливі альтернативи пластиковій упаковці, яка становить 40 % від загального об'єму пластикових відходів. Проаналізовано правила утилізації пластикових відходів під час експлуатації морського транспорту, а також план дій із скорочення кількості морського пластикового сміття із суден. *Ключові слова:* мікропластик, наночастинки, пластикові відходи, навколишнє середовище, біокумуляція, судно.

Plastic packaging on maritime vessels in the context of the global ecological problem of microplastics. Kirsanova V., Bykovets N., Chumachenko M.

The article deals with a brief description of plastics and the diversity of their chemical structure. It also indicates the increasing in the range of properties of plastics due to the addition of fillers, stabilizers, dyes and other composite materials that expand the chemical diversity of plastics. The features of the physical destruction of plastics and their gradual transformation into micro- and nanoparticles, which can be stored in ecosystems for hundreds of years, are considered. The article informs about the identification of microplastics in the air, soil and sediments, fresh waters, seas, oceans. It indicates the penetration of microparticles into the food chains of the biosphere, namely the detection of microplastics in the body of various marine animals and in the human body. Their negative effect on marine biota and the penetration of microparticles less than <5µm in size through the wall of the gastrointestinal tract are considered. Biocumulation is taken into account, the occurrence of which is possible when the absorption exceeds the emission or when the particles are assimilated in tissues or organs. The author gives examples that confirm the potential transfer of microplastics from prey to predator. The accepted classification of plastic microparticles and the complexity of their identification are indicated. The volumes of plastic waste that enter the oceans every year are shown. For humanity, this is another global environmental problem that must be solved together. In this regard, various technical solutions for collecting plastic in the oceans have been proposed. One of the proposed solutions is to say no to plastic packaging. Possible alternatives to plastic packaging, which accounts for forty percent of the total volume of plastic waste, are listed. The rules for the disposal of plastic waste during the operation of sea transport, as well as an action plan to reduce the amount of marine plastic waste from ships, are analyzed. *Key words:* microplastics, nanoparticles, plastic waste, environment, biocumulation, vessel.

Постановка проблеми. Синтетичні полімери, об'єднані в загальну групу за своїми пластичними властивостями, характеризуються різноманітністю хімічної будови, стійкістю до дії різних агресивних чинників, що зумовлює їхнє широке поширення. Внаслідок цього в довкіллі накопичено величезну кількість пластикового сміття. Майже пів століття людство стурбовано негативним впливом високо-токсичного та біокумулятивного діоксину, який утворюється під час повільного розкладання багатьох пластмас у присутності світла і Оксигену,

а також під час їхнього спалювання за низьких температур. На початку ХХІ століття виявлено нову проблему, пов'язану з накопиченням пластикового сміття. Виявлено здатність пластику деградувати, перетворюючись на дрібні, не завжди видимі частинки, які проникли в харчові ланцюги. На жаль, обсяги виробництва пластмас збільшуються. Вплив мікрочастинок пластику на біосферу мало вивчений, проте зрозуміло, що важливим елементом у боротьбі з поширенням мікропластику є відмова від пластикової упаковки. Деякі країни вже відмо-

вилися від небезпечної упаковки, з одного боку – це дуже добре. З іншого – з'являється проблема щодо обмеження використання пластикової упаковки на морських судах.

Актуальність дослідження. На початку XXI століття виявлено нову екологічну проблему глобального масштабу, яка пов'язана з накопиченням пластмас у навколишньому середовищі. Мікропластики, маючи дуже малий розмір частинок, мають властивість проникати в харчові ланцюжки біосфери. Проведені дослідження дали змогу виявити мікропластики в організмі різних морських тварин, а також визначити їхній негативний вплив на морську біоту загалом. Отже, необхідно проводити та впроваджувати заходи, що будуть спрямовані на нейтралізацію дії мікропластику в їжі, повітрі, воді.

Масштаби використання людством пластикових предметів, виробів тощо занадто великі. І це має безпосередній зв'язок із використанням різних предметів із пластику й на судні також. Введення заборони на використання пластикових предметів особистої гігієни, пластикової упаковки та іншого на судні однозначно призведе до зменшення забруднення Світового океану пластиковими відходами із суден.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пластмаси – це хімічні сполуки, отримані на основі синтетичних або природних полімерів (смола), які синтезуються в результаті полімеризації або поліконденсації мономерів у присутності каталізаторів за певних температурних режимів і тиску. Під час переробки за певних умов вони проявляють пластичність і здатність до формування або деформації. Найпоширенішими з них є поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, поліметилметакрилат, фторопласти та інші сполуки.

З метою розширення спектра властивостей у пластмаси часто додаються наповнювачі, стабілізатори, пігменти. Також можуть складати композиції з додаванням органічних і неорганічних волокон, сіток і тканин. Наповнювач може становити понад половину складу пластмаси. Отже, пластмаси здебільшого є багатокомпонентними сумішами і композиційними матеріалами, які характеризуються різноманітністю хімічної будови й, відповідно, різноманітністю хімічних і фізичних властивостей [1]. Використання пластмас дає майже необмежені можливості для формоутворення, даючи змогу втілювати в реальність будь-які дизайнерські ідеї та отримувати деталі найскладніших форм. До переваг пластмас можна віднести їхню високу корозійну стійкість, стійкість до атмосферних дій, кислот, лугів і інших агресивних продуктів хімії, відмінні електро- і теплоізоляційні властивості, а також високий коефіцієнт шумозаглушення.

Без цих матеріалів сучасне життя уявити доволі складно. Проте пластмаси характеризуються істотними недоліками. За тривалого зберігання макромолекули цих матеріалів подрібнюються, змінюється

молекулярна маса, внаслідок чого відбувається зміна фізико-механічних властивостей речовин.

Ще у 80-х роках минулого століття було доведено, що результатом спалювання твердих побутових відходів, до складу яких входять пластмаси, є утворення діоксинів. Діоксини – це хімічні сполуки, що є побічними продуктами високотемпературних хімічних реакцій. Це групи хімічних сполук, для яких характерна присутність молекул хлору, зв'язаних з атомами вуглецю. Характерною особливістю діоксину є висока стійкість до хімічного і біологічного розкладання. Вони здатні зберігатися й накопичуватися в навколишньому середовищі, концентруватися у біомасі та переноситися харчовими ланцюжками. Діоксини є суперінтоксикантами, універсальними клітинними отрутами, що вражають усе живе. Поєднання високої токсичності, біокумулятивності і канцерогенності зумовлює небезпеку діоксинів для живої матерії [2].

Нова екологічна проблема пов'язана з накопиченням пластмас у довкіллі. За тривалого зберігання стійкі до агресивного середовища пластмаси піддаються деструкції та перетворюються на мікрочастинки, що називаються мікропластиками, які можуть зберігатися в екосистемах упродовж сотень років. Розмір цих мікрочастинок становить менше п'яти міліметрів. Майже увесь пластик, який був коли-небудь створений, накопичився та існує в тій або іншій формі сьогодні. Мікропластики виявлені в повітрі, ґрунті та відкладеннях, прісних водах, морях, океанах, рослинах, тваринах і походять від пластмасових виробів, текстилю, промисловості, сільського господарства і загальних відходів [3]. Встановлено їхню різноманітність, а також їхнє проникнення в харчові ланцюжки біосфери [4]. В результаті проведених досліджень виявлено мікропластики в організмі різних морських тварин. Також визначено їхній негативний вплив на морську біоту. Риба та ракоподібні належать до найбільш вивчених груп. За ними далі йдуть молюски та черв'яки-гризуни. На жаль, треба зазначити, що дуже мало досліджень проводиться з іншими групами організмів. В організмі риб мікропластик виявлений у кишечнику, печінці, а також зосереджений у зябрах. В екосистемах гідросфери пластикове сміття сприймається як здобич. Потрапляння пластику до організму риби, наприклад, під час проковтування пластику залежить від його розміру, від кількості пластикових відкладень у навколишньому середовищі, а також від режиму харчування хижака та від анатомії органів травлення. Також можливе проковтування дуже дрібних частинок разом із водою. Рівень споживання води прісноводних риб порівняно низький, чого не можна сказати про морську рибу, яка п'є майже постійно, щоб підтримувати гомеостаз [5]. Отже, особливо в морському середовищі дуже дрібні частинки пластику можуть бути пасивно проковтнуті на регулярній

основі. Питво було визначене як можливе джерело споживання мікропластику насамперед для морських видів риб [6].

Частинки розміром менше 5 мкм можуть проходити крізь стінку шлунково-кишкового тракту. Виникнення біокумуляції можливе, коли поглинання перевищує викид життєдіяльності організму або коли частинки асимілюються в тканинах або органах. Ефект накопичення може бути значним, особливо у видів, які довго живуть. Та обов'язково треба враховувати властивість мікропластику переноситися через харчовий ланцюг. У [6–8] описано приклади, які підтверджують потенційне перенесення мікропластику від здобичі до хижака.

У річковому та морському середовищах було проведено численні дослідження, присвячені впливу пластмас на біоту. Проте встановити причинно-наслідковий зв'язок ризиків, пов'язаних із впливом мікропластику на довкілля, складно. Складнощі зумовлені особливостями процесів деструкції пластмас. Процес утворення мікрочастинок пластику спостерігається як результат нестійких з'єднань між мономерами в полімерних молекулах пластмас. У результаті в екосистемах зосереджено мікрочастинки пластику різного розміру, оскільки синтетичні полімери, деградуючи, поступово розпадаються до мономерів.

Класифікація мікрочастинок пластику складена відповідно до визначень Європейської комісії для сконструйованих наночастинок (engineered nanoparticle (ENP)) [9–11]. Мікрочастинки визначаються як частинки в діапазоні розмірів від 1 мкм до 5 мм. Наночастинки пластику, які називають нанопластиком, є в діапазоні від 1 нм до 100 нм, а частинки розміром від 100 нм до 1 мкм називають субпластичними.

Одним із завдань є розроблення методики досліджень для кожної фракції мікрочастинок пластику. Фракції від 1 мкм до 5 мм можна вивчати за допомогою світлового мікроскопа, але при цьому виникає проблема диференціації частинок пластмас від інших органічних частинок. Щоб розробити репрезентативні й статистично достовірні висновки про рівень мікропластичного забруднення в будь-якому конкретному зразку, потрібна стандартизація та автоматизація мікроскопічних методів для точного визначення кількості частинок на зразок [12].

Передбачається, що нанопластичні і субпластичні частинки є найбільш токсичними для навколишнього середовища, оскільки вони здатні проникати через мембрани клітин. Ідентифікація нанопластику є складнішою порівняно з ідентифікацією мікропластику та потребує дорогого устаткування. Розроблено методику визначення наночастинок у живій матерії. Проте в цих дослідженнях використовуються наночастинки неорганічних речовин, а наночастинки пластмас є органічними сполуками, до складу яких входить карбон. Потрібна модифікація, а точніше – розроблення нової методики досліджень. Під

час дослідження наночастинок необхідно використати новий підхід в аналітичній методології. Це стосується конкретних характеристик, таких як розподіл частинок за розмірами або морфологія та хімічна ідентичність, для яких знадобляться методи, які виявляють частинки в нанометровому діапазоні. Крім того, відповідна обробка зразка, особливо попередня концентрація, а також стадія розділення для правильної ізоляції частинок будуть важливою частиною необхідного протоколу. Але для щоденного аналізу та виявлення мікропластику в навколишньому середовищі в продуктах харчування та в живих організмах потрібні доступні методи.

Складнощі ідентифікації мікропластику також зумовлені його різноманітністю не лише за розміром, але й за формою та хімічним складом. Концентрація мікропластику в довкіллі варіює, що також ускладнює дослідження. Токсичність мікропластику може виходити передусім від самого полімеру, полімерних домішок, які покращують властивості пластику; від забруднюючих речовин, частинки яких накопичуються у навколишньому середовищі; від бактерій, які пластикові вироби переносять на своїх поверхнях. Ізолювати та нейтралізувати дію мікропластику в їжі, в повітрі сьогодні практично неможливо. Попри те, що було проведено багато досліджень у галузі макро- й мікророзмірних пластиків, частка нанорозмірних пластиків залишається недослідженою [13].

Дослідницька група з Університету штату Вашингтон займалась аналізом агрегації та стабільності нанорозмірних пластиків у водному середовищі [14]. Вченими було вивчено життєвий цикл наночастинок поліетилену і полістиролу, які входять до складу величезної кількості виробів, включно з поліетиленовими пакетами, предметами особистої гігієни, кухонною технікою, одноразовим посудом для пиття та їжі, пакувальним матеріалом. Вони досліджували, яким чином крихітні пластмасові частинки поводити себе за різних хімічних реакцій у різних середовищах – від солоної морської води до води, що містить органічний матеріал, та виявили, що кислотність води мало впливає на нанорозмірні пластики. Сіль і природні органічні речовини важливі для визначення того, як пластмаси рухаються або осідають. Крихітні пластмаси накопичуються в навколишньому середовищі, але наслідки для здоров'я та довкілля ще невідомі. Визначено, що щодня близько 8 трильйонів шматочків мікропластику проходять через очисні споруди і потрапляють у водне середовище [15].

Щороку близько 8 мільйонів тонн відходів пластику потрапляють в океани. З часом ці відходи у вигляді, наприклад, пляшок, пакетів розпадаються на частинки розміром у мікро- або навіть й нанометри. Мікропластики вже цілком заволоділи навколишнім простором: вони містяться в повітрі, ґрунті, воді. Ці частинки проникли в харчовий ланцюг і споживаються в їжу, зокрема, й людьми.

Проведені дослідження виявили в травній системі людини дев'ять видів пластику. Для визначення їхнього впливу на фізіологічні процеси організму людини й інших видів живої матерії потрібні додаткові дослідження [16].

Отже, людство виявило ще одну глобальну екологічну проблему, яка потребує негайного вирішення. Вже запропоновано різні способи зменшення пластикових відходів, накопичених в екосистемах планети. Насамперед увага приділяється екосистемі Світового океану. Для пластикових відходів характерна низька щільність, тому вони пересуваються вітром на великі відстані та накопичуються біля берегів річок і озер. Далі річковими стоками це сміття відноситься до морів і океанів.

Сьогодні вже є кілька запропонованих і реалізованих технічних рішень для збору пластику у Світовому океані. Нідерландець Боян Слат спроектував 600-метровий плавучий бар'єр із гнучких балок із підводною сіткою. Ця величезна система вільно переміщується хвилями та під час руху тягне за собою все сміття, яке прибивається до неї. Процес нагадує прибивання сміття біля берегової лінії. Пристрій здатний збирати сміття, яке плаває в океані, найрізноманітнішого розміру – від покинутих рибальських сіток та автомобільних покришок до невеликих шматочків пластику. Зібрані таким чином відходи, які переміщуються всередині системи, можна потім завантажувати на борт суден і вивозити на сушу для подальшої переробки [17]. У червні 2019 року компанією «Ocean Cleanup», заснованою Боян Слатом, був сконструйований і пройшов вдаль випробування плавучий пристрій на сонячних батареях «Перехоплювач» [18]. Ця унікальна система може зібрати за день щонайменше 50 тонн пластику.

У Лондоні було представлено проєкт спеціалізованого корабля для збору пластикових відходів у Світовому океані. В середньому за рік один корабель SeaVax повинен виробити достатню кількість енергії, щоб обробити 89,9 мільйонів літрів морської води, що на сильно забруднених ділянках океану може скласти порядку 22 400 000 кг пластику біля джерела енергії [19].

Вдосконалення системи переробки пластику має велике значення для зменшення пластикових відходів. Сьогодні у світі від загальної маси пластикових відходів переробляють тільки 10 %. З метою вирішення проблеми пластикових відходів підприємства об'єднують свої зусилля з органами влади в боротьбі із забрудненням навколишнього середовища. Дотримуючись загального бачення та спільних цілей у вирішенні глобальної проблеми пластикового забруднення ними підписане Глобальне зобов'язання з «Нової економіки пластмас» (The New Plastics Economy Global Commitment). Метою зобов'язання є намагання до 2025 року запобігти попаданню пакувальних матеріалів у навколишнє середовище, а також спрямувати виробництво на створення плас-

тикової упаковки, придатної для вторинної переробки або повторного використання. Усі учасники схвалили одну загальну концепцію кругової економіки для пластмас, в якій пластмаси ніколи не стають відходами. Глобальне зобов'язання з «Нової економіки пластмас» очолюється Фондом Елен Макартур у співпраці з Програмою ООН з навколишнього середовища [20]. Згідно із зобов'язанням, прийнятим компаніями та урядами відповідно до угоди «The New Plastic Economy Global Commitment» про глобальне скорочення пластикових відходів головна роль відводиться хімічній переробці. Воно має бути реалізоване до 2030 року. Аналітики вважають, що перероблені матеріали зможуть становити понад 50 % від обсягу виробництва нової упаковки. Велике значення має запланований перехід на альтернативну упаковку. Більшість споживчих товарів до 2025 року продаватимуться без використання одноразової пластикової упаковки. Понад 60 країн розпочали боротьбу з пластиком на законодавчому рівні. За попередніми підрахунками, у світі щогодини використовується близько 5 трильйонів пластикових пакетів. Інакше кажучи, близько 10 мільйонів пакетів за хвилину [21]. Зокрема, у боротьбі з пластиком супермаркети припинили видавати безкоштовні пакети для покупок. До 2021 року в ЄС будуть повністю заборонені одноразові столові прилади й тарілки з пластику [22]. Все більше компаній скорочують обсяги пластмас в упаковці продуктів (а це близько 40% усього пластику). Очікується поява нових типів рішень для роздрібної торгівлі. Сьогодні запропоновані альтернативи пластиковій упаковці. Доведена можливість використання упаковки з водоростей [23]. В Україні планують виробництво одноразового посуду з тростини, який розкладатиметься всього за півтора місяця. Зараз проходять дослідження в Одеській Національній академії харчових технологій, здійснюється техніко-економічне обґрунтування, після чого проєкт почнуть втілювати в життя. Для реалізації проєкту планують залучити кошти зарубіжних грантів [24]. Запропоновано й інші альтернативні рішення, що дають змогу використати органічну упаковку [25].

Для вирішення проблеми морської пластикової підстилки та мікропластику Індія з Норвегією зобов'язалися працювати разом. Враховуючи невідкладний характер і масштаби проблеми, що створюється морським сміттям і мікропластиками, ці країни визнали, що цю проблему не може вирішити жодна країна самостійно і що для цього знадобляться погоджені дії за допомогою співпраці [26].

Метою статті є проаналізувати правила та проблеми утилізації пластику на судах морського флоту в умовах глобальної екологічної проблеми мікропластику.

Виклад основного матеріалу. Морські перевезення є найбільш ефективним та економічно вигідним способом доставки вантажів, що забез-

печує надійне й недороге транспортування товарів по всьому світу. Судноплавство є міжнародною галуззю, і воно може ефективно функціонувати тільки в тому разі, якщо законодавча база прийнята і впроваджена на міжнародній основі. Міжнародна морська організація (International Maritime Organization (ІМО)) є глобальним органом із встановлення стандартів безпеки та надійності міжнародних екологічних перевезень [27].

У 1973 році ІМО склала та опублікувала Міжнародну конвенцію з відвертання забруднення із суден, відому в усьому світі як МАРПОЛ 73/78, яка постійно доповнюється новими поправками.

Правила відвертання забруднення морського середовища твердими побутовими відходами викладено в Додатку V Конвенції МАРПОЛ 73/78. Згідно з вимогами цього Додатка тверді побутові відходи на судні підлягають сортуванню. З цією метою на палубах суден встановлено п'ять металевих контейнерів, які мають бути надійно закріплені. Частина побутових відходів переробляється. Зокрема, в спеціалізованих пристроях (інсинераторах) спалюються папір, промаслене дрантя, тверді частки стічних вод, жир, який накопичився на камбузі. Утилізація твердих побутових відходів реєструється в спеціальному журналі.

Пластик накопичується в призначеному для цього контейнері з подальшим пресуванням і здачею в портах. Скидання пластику за борт категорично заборонено в будь-якій точці Світового океану. Спалювання пластику дозволяється за наявності відповідного інсинератора, оснащеного вентиляцією і в якому можна підняти температуру до 1500°C. За таких температур пластик не утворює високотоксичний, канцерогенний та біокумулятивний діоксин. У разі, якщо в технічній документації інсинератора не вказано дозволу на спалювання пластику, в портах аналізується попіл на наявність слідів пластику. У разі позитивного результату аналізу караються члени екіпажу, які відповідальні за утилізацію твердих побутових відходів. За належного дотримання вищезазначених правил з утилізації пластику виключено можливість забруднення Світового океану пластиковими відходами. Проте під час дослідження забруднення Світового океану пластиковими відходами виявлено забруднення на великих відстанях від берега. На жаль, пластикові відходи викидаються, зокрема, і з суден також [28].

На нашу думку, в місцях встановлення контейнерів для твердих побутових відходів, необхідно встановити відеоспостереження. Це дасть змогу фіксувати випадки викиду сміття за борт судна.

Як було зазначено вище, багато країн відмовляється від пластикової упаковки. Зокрема, Індія

вимагає відсутності пластикової упаковки під час заходження судна в порт. Оскільки в інших країнах пластикова упаковка та пластикові предмети особистої гігієни не заборонені, то виникає проблема.

Ми впевнені, що в найближчі роки пластикова упаковка та пластикові предмети особистої гігієни будуть заборонені в усьому світі. Проблема пластикових відходів на судні автоматично буде розв'язана. Проте сьогодні ця проблема має місце. Її можна розв'язати за умови повної заборони використання пластику на судні. У магазинах, зосереджених на суднах, можлива організація продажу предметів особистої гігієни та пакувальних виробів, виготовлених із натуральних матеріалів. Під час впровадження таких рішень можливе зменшення забруднення Світового океану пластиковими відходами із суден.

Міжнародна морська організація взяла на себе зобов'язання продовжити вирішення проблеми, пов'язаної з пластиками для морського середовища. Прийнято план дій, спрямований на поліпшення наявних правил і введення нових допоміжних заходів із скорочення кількості морського пластикового сміття із суден [28]. Проте заборону на пластикову упаковку вказаний план не передбачає.

Головні висновки. Виявлено нові властивості пластикових матеріалів, а саме: за тривалого використання або зберігання пластик деградує, піддається деструкції, руйнується та подрібнюється на дрібні частинки різних розмірів, навіть до мікрочастинок. Майже увесь пластик, який був коли-небудь створений, накопичився та існує в тій або іншій формі сьогодні. Мікропластики виявлені в повітрі, ґрунті та відкладеннях, прісних водах, морях, океанах, рослинах, тваринах. Вони походять із пластмасових виробів, текстилю, промисловості, сільського господарства й загальних відходів. Виявлено їхню різноманітність, а також їхнє проникнення в харчові ланцюжки біосфери. В результаті проведених ученими досліджень виявлено мікропластики в організмі різних морських тварин, зокрема в організмі людини. Визначено їхній негативний вплив на морську біоту.

Екологічна проблема мікрочастинок пластику мало вивчена і не вирішена, але їхній негативний вплив доведений. Збір пластикового сміття та відмова від пластикової упаковки дасть змогу пом'якшити глобальний негативний вплив мікропластику на біосферу. Під час заборони використання пластикових предметів особистої гігієни та пластикової упаковки на судні можливе зменшення забруднення Світового океану пластиковими відходами із суден. А у разі відмови від пластикової упаковки, пластикового посуду й пластикових предметів особистої гігієни в усіх країнах світу можливе скорочення забруднення планети пластиковими відходами на 40%.

Література

1. Виды и свойства пластмасс. Определение типа пластика. URL: <https://artmalyar.ru/pokraska/okraska-plastika-first.html> (дата звернення: 23.03.2020).
2. Теблов П.А., Цгоев Т.Ф. Диоксины и их потенциальная опасность в экосистеме «Человек – окружающая среда». URL: <http://old.skngmi-gtu.ru/mountain2010/Napравlenie2/Section4/ТебловЦгоев.pdf> (дата звернення: 23.03.2020).
3. Henderson L., Green C. Making sense of microplastics? Public understandings of plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 152. March 2020, 110908. URL: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110908> (дата звернення: 20.03.2020).
4. Oliveira M., Almeida M. The why and how of micro(nano)plastic research. *TrACends i Trn Analytical Chemistry*. V. 114. May 2019. P. 196–201. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.02.023> (дата звернення: 20.03.2020).
5. Fuentes J., Eddy F.B. Drinking in marine, euryhaline and freshwater teleost fish. *Ionic Regulation in Animals: A Tribute to Professor W.T.W. Potts* (eds. Hazon N., Eddy F.B., Flik G.). 1997. P. 135–149. (Springer Berlin Heidelberg). URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-60415-7_9 (дата звернення: 20.03.2020).
6. Roch S., Friedrich C., Brinker A. Uptake routes of microplastics in fishes: practical and theoretical approaches to test existing theories. *Sci Rep* 10, 3896 (2020). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60630-1> (дата звернення: 26.03.2020).
7. Setälä O., Fleming-Lehtinen V., Lehtiniemi M. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution*. 2014. Vol. 185. P. 77–83. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013> (дата звернення: 26.03.2020).
8. Santana M.F., Moreira F.T., Turra A. Trophic transference of microplastics under a low exposure scenario: Insights on the likelihood of particle cascading along marine food-webs. *Marine Pollution Bulletin*. 15 August 2017. Vol. 121. Issues 1–2. P. 154–159. URL: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.061> (дата звернення: 28.03.2020).
9. Дубовик О.Л. Новое законодательство Европейского Союза о предотвращении загрязнения окружающей среды отходами, содержащими макро- и микрочастицы пластика. *Международное право и международные организации*. 2019. № 2. С. 16–27. DOI: 10.7256/2454-0633.2019.2.30107. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=30107 (дата звернення: 20.04.2020).
10. Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nano material. *Official Journal of the European Union*. 20.10.2011. P. 38–40. URL: <http://data.europa.eu/eli/reco/2011/696/oj> (дата звернення: 10.04.2020).
11. Huffer T., Praetorius A., Wagner S., Kammer F., Hofmann T. Microplastic Exposure Assessment in Aquatic Environments: Learning from Similarities and Differences to Engineered Nanoparticles Environmental. *Science and Technology*. 2017. № 51. P. 2499–2507. DOI: 10.1021/acs.est.6b04054.
12. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 19 Jul 2017. Vol. 3. № 7. e1700782. DOI: 10.1126/sciadv.1700782.
13. Oliveira M., Almeida M. The why and how of micro(nano)plastic research. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. Vol. 114. May 2019. P. 196–201. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.02.023> (дата звернення: 20.04.2020).
14. Invisible plastics in water. URL: https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-03/wsu-ipi031320.php (дата звернення: 12.04.2020).
15. Shams M., Alam I., Chowdhury I. Aggregation and stability of nanoscale plastics in aquatic environment. *Water Research*. Vol. 171. 15 March 2020, 115401. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115401> (дата звернення: 16.04.2020).
16. Scott A. Microplastics are showing up in our food and in our bodies. Is that a problem? *C&EN*. 2019. № 97 (5). P. 28–33. URL: <https://cen.acs.org/articles/97/i5/pervasiveness-microplastics.html> (дата звернення: 16.04.2020).
17. Юный борец с морским мусором не сдаётся. URL: https://www.bbc.com/russian/society/2014/10/141017_dutch_boy_ocean_cleanup (дата звернення: 16.04.2020).
18. У Нідерландах показали пристрій для очищення річок від пластику. URL: <https://www.unian.ua/ecology/10733994-у-нідерландах-показали-пристрій-для-очищення-річок-від-пластику.html> (дата звернення: 21.04.2020).
19. SEAVAX™ – ROBOTIC VACUUM SHIP. URL: https://www.bluebird-electric.net/oceanography/Ocean_Plastic_International_Rescue/SeaVax_Ocean_Clean_Up_Robot_Drone_Ship_Sea_Vacuum (дата звернення: 21.04.2020).
20. Global Commitment. A circular economy for plastic in which it never becomes waste. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/new-plastics-economy/global-commitment> (дата звернення: 15.04.2020).
21. Состояние пластика. URL: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25513/state_plastics_WED_RU.pdf?sequence=11&isAllowed=y (дата звернення: 22.04.2020).
22. Как победить пластик? 4 сценария. URL: https://pikabu.ru/story/kak_pobedit_plastik_4_stsenariya_7228109 (дата звернення: 02.04.2020).
23. Смесь крахмала и масел: ученые ЕС внедряют биорецепты в производство пластика. URL: <https://ru.euronews.com/2019/05/27/1-long-green-investments> (дата звернення: 02.04.2020).
24. Под Одессой запустят производство уникальной одноразовой посуды из камыша. URL: <https://www.048.ua/news/2050725/pod-odessoj-zapustat-proizvodstvo-unikalnoj-odnorazovoj-posudy-iz-kamysa-foto> (дата звернення: 08.04.2020).
25. Phasing out plastic: what is the alternative? URL: <https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/sme-sector/phasing-out-plastic-what-is-the-alternative/articleshow/72236442.cms> (дата звернення: 08.04.2020).
26. India, Norway pledge to address issue of marine plastic litter, microplastics. URL: <https://economictimes.indiatimes.com/news/politics-and-nation/india-norway-pledge-to-address-issue-of-marine-plastic-litter-microplastics/articleshow/74170067.cms> (дата звернення: 14.04.2020).
27. Міжнародна морська організація. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 25.03.2020).
28. Addressing marine plastic litter from ships – action plan adopted. URL: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/20-marinelitteractionmescp73.aspx> (дата звернення: 25.03.2020).

СТРУКТУРА УТВОРЕННЯ ТА СТАН ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ В ІВАНО-ФРАНКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ (ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД)

Мельниченко Г.М., Миленька М.М., Різничук Н.І., Цап'юк Л.М.
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Галицька, 201, 77008, м. Івано-Франківськ
gdutchak@ukr.net, mulenka.m@gmail.com, nadja1986_24@ukr.net, lesja.zapjuk@gmail.com

У статті проаналізовано структуру утворення та стан поводження з відходами в Івано-Франківській області. За даними Державної служби статистики України, Міністерства розвитку громад та територій України та Головного управління статистики в Івано-Франківській області, проаналізовано динаміку загального обсягу утворення відходів, структуру утворення відходів за категоріями матеріалів та у розрізі окремих міст і районів області. Досліджено основні тенденції поводження з відходами в Івано-Франківській області, зокрема охарактеризовано динаміку утилізації, спалення та видалення відходів I–IV класів небезпеки. Аналіз офіційних статистичних даних покаже різке зростання обсягів їх утворення, порівняно з 2000 та 2010 рр. У структурі утворення відходів домінують відходи від економічної діяльності підприємств (у 16 разів більше, порівняно з відходами домогосподарств). У розрізі категорій матеріалів у 2018 р. домінували відходи згоряння (1 036 272 тонн), тваринні екскременти, сеча та гній (477 510,4 тонн), побутові та подібні відходи (130 707 тонн). Понад половина загальнообласних обсягів відходів (49,8%) утворюється у м. Бурштині. Сучасний стан поводження з відходами залишається незадовільним. Спостерігається низький рівень перероблення й утилізації та високий показник їх захоронення. Рівень утилізації відходів коливався від 374 тис. тонн у 2011 р. до 681,8 тис. тонн у 2016 р. За останні три роки спостерігається спад у динаміці утилізації відходів у середньому на 17%. Натомість обсяг спалених відходів у області впродовж 2010–2015 рр. постійно зростав і за 6 років зріс більш ніж у 7 разів (з 19,2 тис. тонн до 147,5 тис. тонн). Аналіз офіційних статистичних даних показує, що найбільш традиційним способом поводження з відходами є їхнє видалення у спеціально відведені місця. У 2018 р. було видалено 1005,5 тис. тонн. Під час захоронення відходів на полігонах і звалищах відбувається процес забруднення ґрунтів фільтраційними стоками звалищ, що призводить до забруднення підземних вод і негативно впливає на здоров'я людей. *Ключові слова:* відходи, поводження з відходами, утилізація, спалення, видалення, статистичні дані.

Structure of formation and state of waste management in the Ivano-Frankivsk region (information-analytical review). Melnichenko G., Milenka M., Riznychuk N., Tsapyuk L.

The article analyses the structure of formation and state of waste management in the Ivano-Frankivsk region. On the basis of data of the State Statistics Service of Ukraine, the Ministry of Communities and Territories of Ukraine and the Central Statistics Office in Ivano-Frankivsk region, the dynamics of the total volume of waste generation, the structure of waste generation by categories of materials and by individual cities and districts of the region are analyzed. The main trends of waste management in the Ivano-Frankivsk region are investigated, in particular the dynamics of waste utilization, incineration and disposal are characterized. An analysis of official statistics shows a sharp increase in waste generation compared to 2000 and 2010. Waste production is dominated by waste from the economic activity of enterprises (sixteen times more than household waste). The category of materials in 2018 was dominated by combustion waste (1 036 272 tonnes), animal excrement, urine and pus (477 510.4 tonnes), household and similar wastes (130 707 tonnes). More than half of the municipal waste (49.8%) is generated in Burshtyn. The current state of waste management remains unsatisfactory. There is a low level of recycling and utilization of waste and a high rate of disposal. The level of waste utilization ranged from 374 thousand tons in 2011 to 681.8 thousand tons in 2016. In the last three years, there has been a 17% decline in the dynamics of waste disposal. Instead, the volume of incinerated waste in the region during 2010–2015 has steadily increased and in 6 years increased more than 7 times (from 19.2 thousand tons to 147.5 thousand tons). An analysis of official statistics shows that the most traditional way of dealing with waste is to dispose of it in designated areas. In 2018, 1005.5 thousand tons were removed. During landfills disposal, there is the process of the soil contaminatedion by filtration effluents of landfills, which leads to groundwater contamination and has a negative impact on human health. *Key words:* waste, waste management, utilization, incineration, disposal, statistics.

Постановка проблеми й актуальність дослідження. Проблеми утворення відходів і поводження з ними є надзвичайно актуальними для України. З одного боку, природні ресурси використовують за екстенсивним принципом, що не відповідає основним засадам сталого розвитку і призводить до виснаження мінеральних і сировинних запасів. З іншого боку, нераціональне використання природних ресурсів, застарілі технології й відсутність сфери вторинної переробки сприяють утворенню великих обсягів відходів, зберігання

яких потребує вилучення значних земельних ділянок. Зберігання та накопичення відходів, особливо I–III класів небезпеки, є джерелом тривалого негативного впливу на стан здоров'я людей і якість навколишнього середовища [1; 2].

Не менш гострою залишається проблема поводження із твердими побутовими відходами. Збільшуються обсяги їх накопичення, виникають несанкціоновані звалища [2–4]. Сьогодні поводження з побутовими відходами в Україні набуло критичного рівня [2]. За даними Держпродспоживслужби,

92% від загальної кількості ТПВ складають на відкритих територіях. Тверді побутові відходи акумулюються більш аніж на 6700 сміттєзвалищах і полігонах загальною площею близько 9 тис. га. Загалом у нашій державі станом на 1 січня 2018 року накопичено 37,6 млрд тонн відходів, з яких 1,6 млрд тонн – небезпечні [3; 5]. Така ситуація призводить до посилення техногенного пресингу на довкілля та погіршення екологічного стану загалом. Враховуючи глобальний для суспільства характер проблеми, дослідження структури утворення, накопичення та поводження з відходами у регіональному розрізі є актуальним завданням.

Мета роботи – проаналізувати структуру утворення та стан поводження з відходами в Івано-Франківській області.

Для аналізу основних тенденцій у галузі поводження з відходами в Івано-Франківській області використовували офіційні статистичні дані Державної служби статистики України, Міністерства розвитку громад і територій України та Головного управління статистики в Івано-Франківській області.

Виклад основного матеріалу.

1. Аналіз динаміки утворення відходів у Івано-Франківській області

Під час аналізу динаміки утворення відходів в Івано-Франківській області простежується різке зростання обсягів їх утворення. Якщо у 2000 р. обсяг утворення відходів становив 15,4 тис. тонн, то у 2010 р. він зріс більш ніж у 70 разів і становив 1099 тис. тонн. Аналіз статистичних показників свідчить про ще одне різке зростання обсягу утворених відходів у 2012 р. (до 1782 тис. тонн) [6; 8].

Значне зростання обсягів відходів у 2010 році частково пов'язане з тим, що до державної статистичної звітності щодо обсягів утворення відходів в результаті економічної діяльності підприємств і організацій почали включати дані про побутові відходи, утворені в домогосподарствах [9].

Як видно з рисунку 1, стабільно високим залишається рівень утворення відходів до сьогодні. Максимальне значення показника утворення відходів у Івано-Франківській області зафіксовано у 2015 р. (2124,8 тис. тонн) [6].

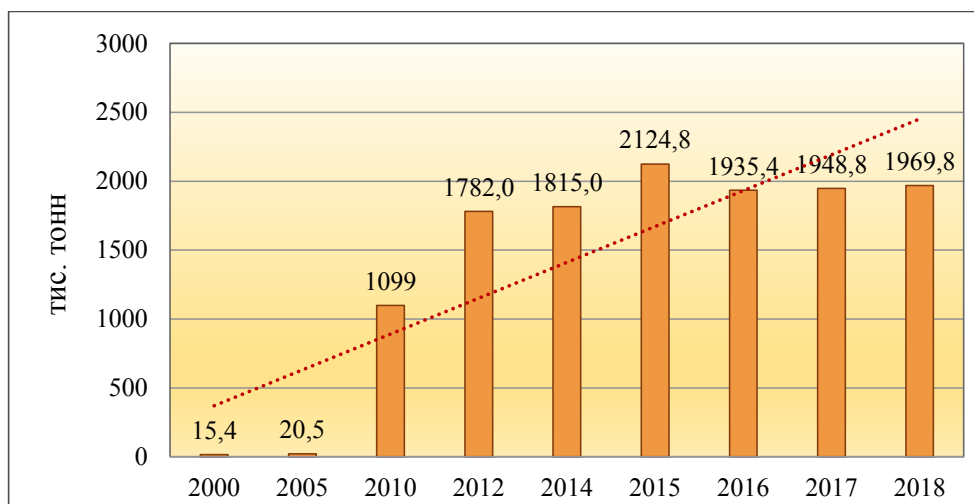


Рис. 1. Динаміка утворення відходів у Івано-Франківській області у 2000–2018 рр.



Рис. 2. Структура утворення відходів (тис. тонн)

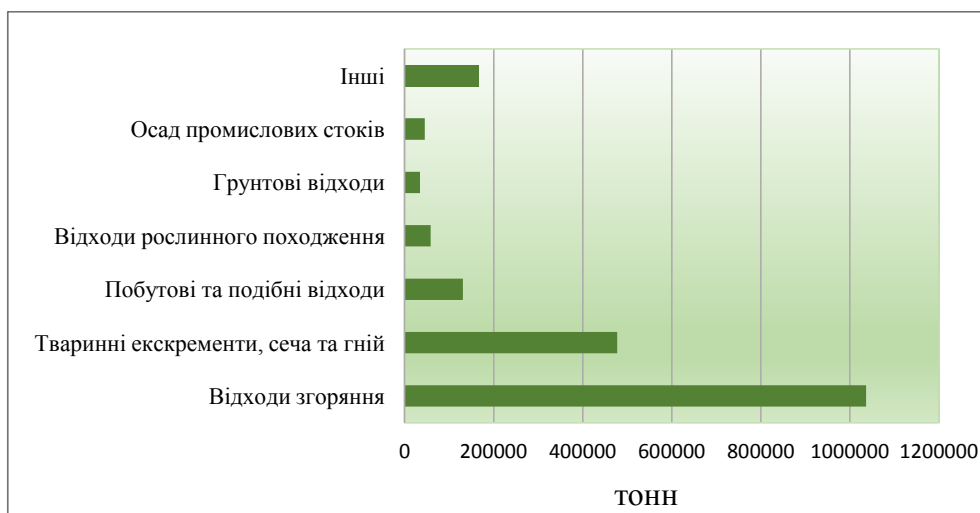


Рис. 3. Структура утворення відходів за категоріями матеріалів у 2018 р.

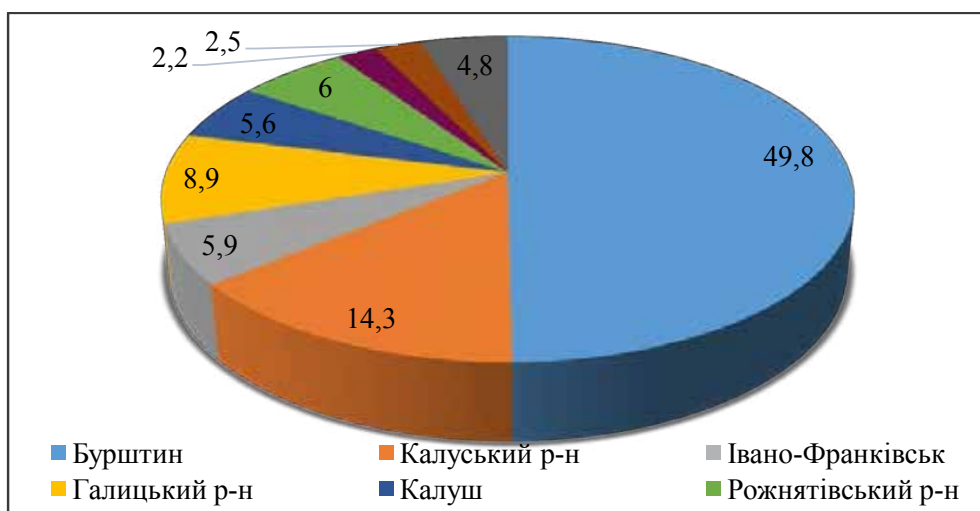


Рис. 4. Частки утворених відходів у розрізі окремих міст і районів Івано-Франківської області (%)

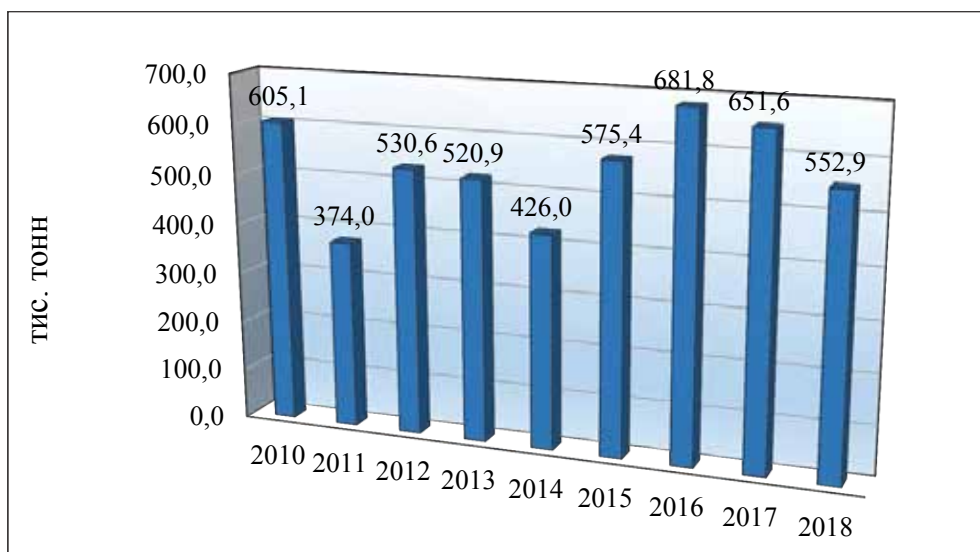


Рис. 5. Динаміка утилізації відходів I-IV класів небезпеки з 2010 по 2018 рр. (тис. тонн)

Аналіз статистичних даних свідчить про домінування утворення відходів від економічної діяльності над утворенням відходів від домогосподарств. Наприклад, у 2018 р. від економічної діяльності підприємств було утворено 1854,2 тис. тонн відходів, а від домогосподарств – 115,8 тис. тонн, що у 16 разів менше (рис. 2) [8].

У розрізі категорій матеріалів, за даними Головного управління статистики в області, у структурі утворення відходів у 2018 р. домінували відходи згоряння (1 036 272 тонн). На другому місці у структурі утворення відходів були тваринні екскременти, сеча та гній (477 510,4 тонн), на третьому – побутові та подібні відходи (130 707 тонн), на четвертому – відходи рослинного походження (58 375 тонн), на п'ятому – ґрунтові відходи (34 475,2 тонн), на

шостому – осад промислових стоків (45 115 тонн) (рис. 3). Частка інших категорій матеріалів, таких як: хімічні відходи, шлами та рідкі відходи очисних споруд, відходи від медичної допомоги та біологічні, скляні відходи, паперові та картонні відходи, гумові відходи, деревні, текстильні, непридатне обладнання, відходи чорних і кольорових металів та деяких інших була порівняно незначною [6].

За даними Головного управління статистики в області, впродовж 2018 р. в результаті економічної діяльності підприємств і організацій та в домогосподарствах утворилось 1969,8 тис. тонн відходів (на 21 тис. тонн, або 1,1 % більше, ніж у попередньому році) [8].

Аналіз статистичних даних Івано-Франківської обласної державної адміністрації показує, що

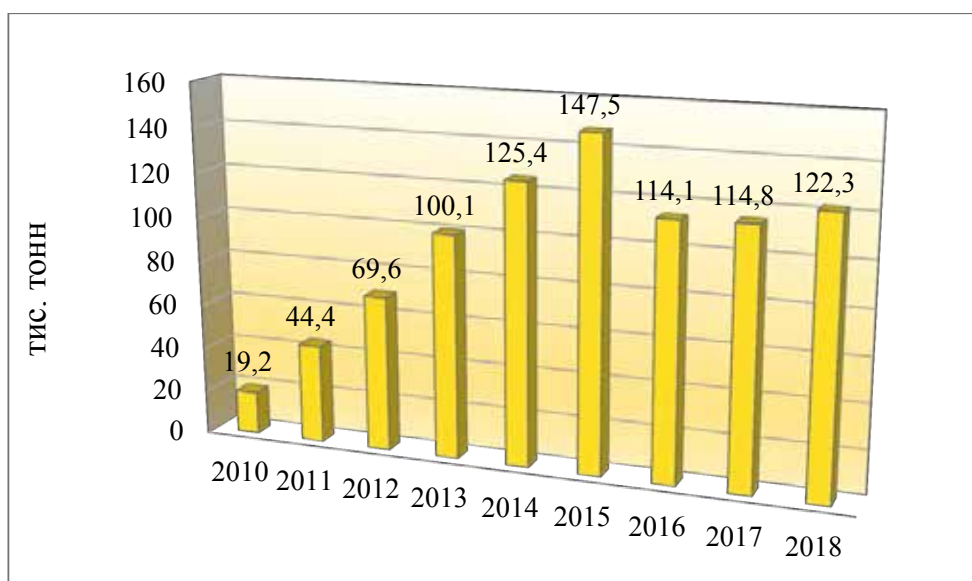


Рис. 6. Динаміка спалення відходів I–IV класів небезпеки з 2010 по 2018 рр. (тис. тонн)

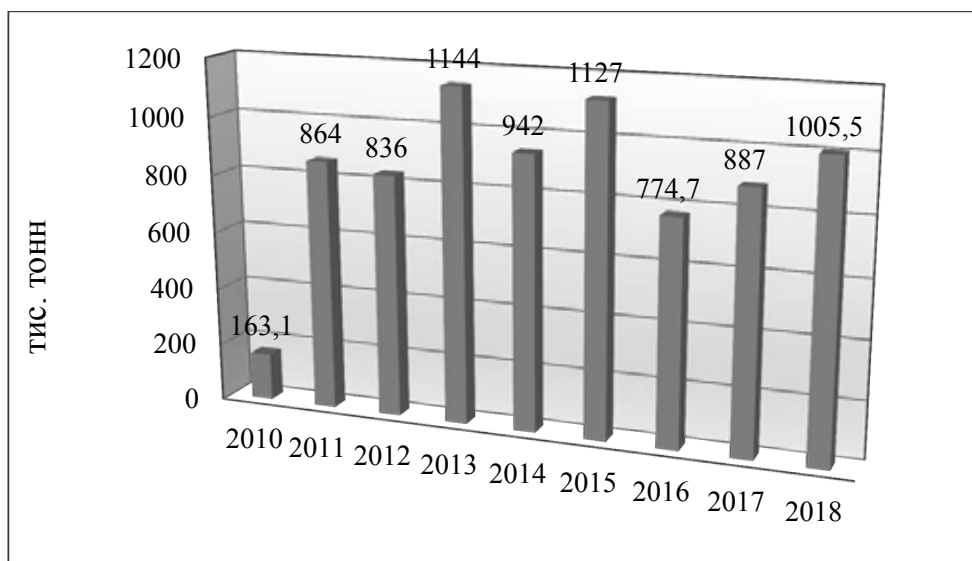


Рис. 7. Динаміка видалення відходів I–IV класів небезпеки з 2010 по 2018 рр. (тис. тонн)

у 2018 р. понад половина загальнообласних обсягів відходів (49,8%) було утворено в м. Бурштині, 14,3% – у Калуському районі, 5,9% – у м. Івано-Франківськ, 8,9% – у Галицькому районі, 5,6% – у місті Калуші, 6,0% – Рожнятівському районі, 2,2% – у Долинському районі, 2,5% – у Тисменицькому районі. Частка решти міст і районів не досягає 1% (рис. 4) [8].

2. Основні тенденції поводження з відходами в Івано-Франківській області

Залежно від способу поводження Державний комітет статистики України із загального обсягу відходів розрізняє видалені, спалені й утилізовані відходи [9].

2.1. Динаміка обсягів утилізації відходів

Як видно з рисунку 5, рівень утилізації відходів у Івано-Франківській області впродовж 2010–2018 рр. постійно змінювався. Найменший рівень утилізації відходів зафіксовано у 2011 р. (374 тис. тонн), найбільший – у 2016 р. – 681,8 тис. тонн. За останні три роки спостерігається спад у динаміці утилізації відходів у Івано-Франківській області, зокрема у 2018 р. було утилізовано 552,9 тис. тонн відходів, що на 15% менше, ніж у 2017 р., і на 19% менше, порівняно з 2016 р. [6].

2.2. Динаміка обсягів спалення відходів

Як видно з рисунку 6, обсяг спалених відходів у області впродовж 2010–2015 рр. постійно зростав і за 6 років зріс більш ніж у 7 разів (з 19,2 тис. тонн до 147,5 тис. тонн). За останні три роки цей показник стабілізувався і на сьогодні залишається стабільно високим (122,3 тис. тонн) [6].

Термічна переробка відходів в умовах застарілого та зношеного обладнання є абсолютно економічно недоцільною й екологічно небезпечною. Економічна недоцільність обґрунтовується тим, що під час спалювання втрачаються корисні компоненти сміття, які можуть бути утилізовані, а екологічна – тим, що відбувається забруднення довкілля токсичними речовинами, які становлять значну небезпеку для здоров'я людей [7]. Отже, цей спосіб поводження з відходами може спричинити значний негативний вплив на

навколишнє середовище, тому його слід використовувати у крайньому разі.

2.3. Динаміка обсягів видалення відходів

Аналіз офіційних статистичних даних показує, що найбільш традиційним способом поводження з відходами в Україні та Івано-Франківській області зокрема є їхнє видалення у спеціально відведені місця [6; 8].

Упродовж досліджуваного періоду їхній обсяг сильно коливався (рис. 7). У зв'язку з неефективним поводженням із відходами, відсутністю сучасних способів переробки їхній обсяг у спеціально відведених місцях постійно збільшується. Найменший обсяг видалення відходів констатовано у 2010 р. (163,1 тис. тонн). У 2011 р. рівень видалення відходів зріс більш ніж у 5 разів і продовжував зростати до 2013 р. (до 1144 тис. тонн). Зменшення обсягу видалених відходів спостерігали у 2016 р. (до 774,7 тис. тонн), проте у 2017 і 2018 рр. цей показник знову зростав до 887 тис. тонн та 1005,5 тис. тонн відповідно [6].

Головні висновки. Отже, сучасний стан поводження з відходами залишається незадовільним. Для Івано-Франківської області, як і для України загалом, на відміну від європейських держав, характерним є низький рівень перероблення й утилізації відходів і високий показник їхнього захоронення [10]. У 2018 р. обсяги видалення відходів у Івано-Франківській області майже вдвічі перевищували обсяги утилізації. Під час захоронення відходів на полігонах і звалищах відбувається процес забруднення ґрунтів фільтраційними стоками звалищ, що призводить до забруднення підземних вод і негативно впливає на здоров'я людей. Значна частина полігонів працює в режимі перевантаження, не відповідає санітарним і природоохоронним нормам. Кризовий стан економіки та військові дії знижують актуалізацію проблеми відходів і призводять до зменшення інвестиційних можливостей. Однак послаблення уваги в цьому напрямі може призвести до погіршення якості довкілля і здоров'я людей.

Література

1. Всеукраїнська екологічна ліга. URL: <http://www.ecoleague.net/pro-vel/tematychni-napriamy-diialnosti/povodzhennia-z-vidkhodamy> (дата звернення: 11.10.2019).
2. Оскорський В.П. Соціально-екологічні проблеми утворення й накопичення побутових відходів та роль ОМС у їх вирішенні. *Економіка і суспільство*. 2019. № 20. С. 504–512. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2019-20-66.pdf> (дата звернення: 20.03.2020).
3. Попович Н.П. Екологічно безпечний збір, транспортування та знешкодження твердих побутових відходів : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Львів. 2019. 209 с.
4. Попович Н.П., Мальований М.С., Попович В.В. Підвищення регіональної екологічної безпеки шляхом удосконалення логістичної системи поводження з відходами. *Науково-практичний журнал: «Екологічні науки»*. 2018. № 1 (20). Т. 2. С. 11–14.
5. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2018 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti-zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik> (дата звернення: 17.03.2020).
6. Статистичний збірник «Довкілля України» за 2018 рік. Київ : Держстат, 2019. 214 с.
7. Борисовська О.О., Бочарова А.С. Спалювання відходів та його екологічні наслідки. *Двадцятьа всеукраїнська практично-пізнавальна інтернет-конференція*. 2020. URL: <http://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/50-dvadsyata-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/459-spalyuvannya-vidkhodiv-ta-jogo-ekologichni-naslidki> (дата звернення: 24.03.2020).
8. Статистична інформація Івано-Франківської області. URL: <https://www.ifstat.gov.ua> (дата звернення: 15.02.2019 р.).
9. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 15.02.2019 р.).
10. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. Київ, 2014. 350 с.

РЕЦЕНЗІЯ НА МОНОГРАФІЧНЕ ВИДАННЯ «ПРОДРОМУС РОСЛИННОСТІ УКРАЇНИ»

Хом'як І.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю., Брень А.Л., Шкилюк Ю.В.
Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Велика Бердичівська, 40, 10002, м. Житомир
ecosystem_lab@ukr.net

У публікації здійснена оцінка нової синтаксономії в монографічному виданні «Продромус рослинності України». Із цією метою було проведено класифікацію рослинних угруповань, описи яких зберігаються у фітоценотеці лабораторії теорії екосистем Житомирського державного університету імені Івана Франка із застосуванням нової синтаксономії рослинності України. Аналіз 2438 описів із фітоценотеки лабораторії теорії екосистем Житомирського державного університету імені Івана Франка привів до створення синтаксономічної схеми, в яку входять до 33 класів, 54 порядків, 107 союзів, 355 асоціацій. Встановлено, що лише 12% описів були наведені в інших продромусах і не мали своїх аналогів у «Продромусі рослинності України». Це дуже добрий показник, зважаючи на ситуацію в українській фітосоціологічній спільноті. В Україні сьогодні головною проблемою досліджень рослинності є низька кількість фахівців фітоценологів по відношенню до площі території та величини фітоіриноманіття. Це призводить до малої кількості профільних публікацій та відсутності традиції використання національної бази даних. За результатами наших досліджень нова синтаксономія отримала дуже високу оцінку. Продромус рослинності України є актуальним та досконалим доробком, необхідним для теоретичної та практичної діяльності у сфері екології, біології різних груп організмів, екозоології та управління довкіллям. Сфера його застосування охоплює вищу освіту, наукові установи та систему охорони природи. Порівняння результатів класифікації рослинних угруповань за старими і новим продромусом дали добрі результати щодо охоплення ним усієї різноманітності рослинності Українського Полісся. Перевагами нового продромусу є те, що синтаксони названі відповідно до сучасних вимог Міжнародного кодексу фітосоціологічної номенклатури (ICPN), назви видів узгоджені з номенклатурою сучасних чек листів, охоплено 75 класів, 127 порядків, 252 союзи і 1009 асоціацій, наведено великий перелік синонімічних назв, здійснено синзоологічний аналіз згідно з міжнародними та національними списками раритетних представників біоти. *Ключові слова:* синтаксономія, Міжнародний кодекс фітосоціологічної номенклатури, класифікація, фітоценотека, рослинні угруповання, фітоценологія.

Review of monographic editions “Prodromus of the vegetation of Ukraine”. Khomiak I., Onyshchuk I., Kotsiuba I., Bren A., Shkyliuk Yu.

In this article, we describe our assessment of a new syntaxonomy in the monograph “Prodromus of the vegetation of Ukraine” We did the descriptions of the classification of the plant aggregations using the new syntaxonomy of the vegetation of Ukraine are stored in the phytocoenothecis of the laboratory of the Ecosystem Theory of Zhytomyr State University named after Ivan Franko. We have received convincing research findings on the quality of the new syntaxonomy. The analysis of 2438 descriptions from the phytocoenothecis of the laboratory of the Ecosystem Theory of Zhytomyr State University named after Ivan Franko led to the creation of a syntaxonomic scheme that includes up to 33 classes, 54 orders, 107 unions, and 355 associations. It is determined that only 12% of the descriptions were given in other prodromus and were unparalleled in “The Prodromus of the Vegetation of Ukraine”. This is a very good indication especially of the situation in the Ukrainian phytosociological community. There are few phytocenologists in Ukraine today. This is the reason for the small amount of published information needed to create the complete syntaxonomy. The prodromus of the vegetation of Ukraine is a relevant and advanced inquiry necessary for the theoretical and practical activities in the field of ecology, biology of various groups of organisms, ecosozology and environmental management. Its implementation area covers the higher education, scientific institutions and the conservation system. The comparison of the results of the plant aggregations classification according to the old and new prodromus came to good regarding the coverage of the entire diversity of the vegetation of Ukrainian Polissia.

The advantages of the new prodromus are that the syntaxons are named in accordance with the modern requirements of the International Code of Phytosociological Nomenclature (ICPN), the names of the species are agreed with the nomenclature of modern checklists, 75 classes, 127 orders, 252 unions and 1009 associations are covered, there is a large list of synonymous names, a synzoological analysis in accordance with the international and national lists of rare representatives of the biota was carried out. *Key words:* syntaxonomy, the International Code of Phytosociological Nomenclature, classification, phytocoenotics, plant aggregation, phytocoenology.

Вступ. Дисгармонійні впливи людини на довкілля призвели до глобальної екологічної кризи. Одним із ключових її проявів є зниження біотичного та ландшафтного різноманіття. Це пов'язано з антропогенною трансформацією оселищ. Щоб зупинити зниження показників біорізноманіття, необхідно ство-

рювати ефективні прогностичні моделі екосистем. Оскільки ключовим центром природних екосистем є автотрофний блок, то першим кроком до збереження оселищ є вивчення різноманітності фітоценозів.

Історично склалося кілька підходів до класифікації рослинності. Деякі з них втратили свою

актуальність і в наш час не використовуються, деякі мають обмежену сферу використання, а деякі є актуальними до сьогодні. Останні десятиліття європейська екозоологічна практика повністю перейшла до охорони оселищ, визначених за фітоценозами, класифікованими відповідно до еколого-флористичної класифікації Браун-Бланке. Ця класифікація є досконалим інструментом як для теоретичних розробок, так і для природоохоронної практики. Інтеграція української класифікації рослинності із європейськими підходами та узагальнення набутого досвіду в єдиному джерелі є на сьогодні актуальною задачею.

Огляд попередніх підходів. Історія української еколого-флористичної класифікації розпочинається із другої половини ХХ сторіччя, коли відомий радянський фітоценолог Б.М. Міркін завітав у Київ і зустрівся із провідними українськими ботаніками. Борис Михайлович познайомив їх із основними принципами швейцарсько-французької школи фітоценології та її перевагами над іншими підходами. Дехто із учасників зустрічі загорівся ідеєю переходу від поширеної в СРСР домінантної класифікації на популярну в Європі класифікацію Браун-Бланке.

Вже у 1979 році виходить спільна публікація в Українському ботанічному журналі, де Б.М. Міркін та Ю.Р. Шеляг-Сосонко публікують статтю «Актуальні питання класифікації рослинності» [6; 9]. У 1983 році Т.Л. Андрієнко та Ю.Р. Шеляг-Сосонко проводять порівняння домінантної та флористичної класифікації для болотної рослинності [1]. Із початку вісімдесятих з'являються відносно нечисленні публікації ряду авторів, присвячені цій тематиці. Викристалізуються центри поширення даного методу. Насамперед це інститут ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України, університет ім. Т.Г. Шевченка, Нікітинський ботанічний сад та деякі інші.

У 1986 році виходить друком колективна монографія «Классификация растительности СССР с использованием флористических критериев» [7], де було здійснено першу спробу розглянути рослинність з позицій Браун-Бланке. До цієї книги увійшли результати досліджень українських фітоценологів. Однак лише із середини дев'яностих починають публікуватися загальноукраїнські синтаксономії. В основному вони стосуються окремих груп рослинності [3; 5].

Найбільш активно в цьому напрямі працював В.А. Соломаха. У 1996 році в виданні «Український фітосоціологічний збірник» виходить робота його авторства «Синтаксономія рослинності України» [12]. Це був перший опублікований продромус, в якому наводилися класифіковані за еколого-флористичними принципами рослинні угруповання для усіх визначених груп. Це була складна задача з багатьох причин, однією з головних є дуже молода на той час фітоценологічна традиція застосування флористичної класифікації в Україні. Крім того, доступ-

ний для аналізу матеріал був дуже різномірним. Починаючи із 2001 року українські фітоценологи разом із вищеназваним використовували польський визначник рослинних угруповань за авторством А. Матюшкевича [19]. Поступове накопичення матеріалу дозволило вдосконалити продрому, і в 2008 році вийшла «Синтаксономія рослинності України» у третьому наближенні [11].

Використання еколого-флористичної класифікації рослинності в міжнародній природоохоронній діяльності розвинуло гостру потребу інтеграції національної синтаксономії з міжнародною [18]. Із метою узагальнення накопиченого за три десятиліття досвіду та узгодження фітоценотичної інформації з міжнародними тенденціями колектив авторів, очолюваний Д.В. Дубиною, приступив до розробки нового продромуса [10].

У результаті було створено критичне зведення синтаксономії рослинності, в якому сучасна класифікація рослинності України мала бути узгоджена із європейською класифікацією та стандартизована. Для цього було проаналізовано великі бази даних із застосуванням новітніх програмних пакетів, таких як Turboveg [17; 22]. Виділення одиниць рослинності українськими авторами мало бути піддане критичному аналізу.

Мета та завдання дослідження – надати оцінку новій синтаксономії в монографічному виданні «Продромус рослинності України». Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

1. Визначити актуальність нового «Продромуса рослинності України» для здійснення теоретичної та практичної діяльності у сфері екології та біології.
2. Порівняти результати класифікації рослинних угруповань за старими і новим продрому сом.
3. Визначити переваги нового продромуса порівняно з попередніми виданнями.

Матеріали досліджень. Нами було проведено порівняльний аналіз нового продромуса з попередніми виданнями. Крім того, ми застосували новий продромус для класифікації рослинних угруповань для описів, що зберігаються у фітоценотеці лабораторії теорії екосистем Житомирського державного університету імені Івана Франка. Для аналізу використано 2438 стандартних геоботанічних описи, які були попередньо класифіковані з використанням попередніх українських продромусів, а також синтаксономічних зведень Польщі, Словаччини та Чехії [11; 12; 20; 23].

Результати досліджень та їхнє обговорення. «Продромус рослинності України» – це монографія обсягом 784 сторінки [10]. Наведена тут синтаксономічна схема включає 75 класів, 127 порядків, 252 союзи і 1009 асоціацій. Для кожного синтаксону наводиться назва а також її основні синоніми, групи діагностичних видів, умови місцезростання, поширення в Україні, синзоологічний статус та перелік послань.

Синтаксони названі відповідно до сучасних міжнародних вимог Міжнародного кодексу фітосоціологічної номенклатури (ICPN) [16]. Однією з особливостей української фітоценології є те, що вона мусить оперувати значним різноманіттям угруповань, велика частка яких не зустрічається в країнах Західної та Центральної Європи. Це призводить до того, що українські геоботаніки весь час вимушені наводити синтаксони, аналогів яких не має світова практика. Це створює певні труднощі. З одного боку, такі нові синтаксони важко визнаються світовою фітосоціологічною спільнотою. З іншого боку, українські дослідники зловживають прагненням наводити нові типи угруповань. Чітке дотримання правил ICPN має важливе значення. Однак щоб не втратити цінні напрацювання, важливо знати перелік усіх синонімічних назв та їхніх авторів. Новий продромус надає нам таку можливість. Тут є не лише досить повний перелік усіх синонімів, а й посилання на публікації із ними пов'язані. У продромусі використано досить об'ємний список літературних посилань на 68 сторінках.

Нами було проаналізовано базу даних фітоценологічної інформації, яка зберігається в лабораторії теорії екосистем Житомирського державного університету імені Івана Франка. У цій базі зберігаються описи, зібрані на території Полісся із 2004 до 2019 років. На основі аналізу побудовано синтаксономічну схему, в яку входять до 33 класів, 54 порядків, 107 союзів, 355 асоціацій. В окремих випадках нами не було знайдено необхідного синоніма для визначеного угруповання. Це вказує на високу повноту синонімічних зведень.

Деякі угруповання не вдалося визначити до рівня асоціації за новим продромусом. У зв'язку із цим ми були вимушені додати синтаксони, визначені за іншими зведеннями. При цьому 16 угруповань залишаються в статусі безрангових. З усієї множини лише 44 асоціації (12%) не мали свого точного аналога чи синоніму в новому продромусі. Основною причиною такого явища є те, що українська фітоценологія – дуже молода наука, в якій поки що відсутні певні традиції. Насамперед, це стосується небажання або неможливості через дефіцит часу та інших ресурсів

передавати усі свої фітоценологічні дані до централізованої національної бази або міжнародних баз [14]. Із цієї причини велика кількість отриманих результатів недоступні науковій спільноті. Таким чином, укладачі продромусу не мали змоги ознайомитися із цими матеріалами.

Великою перевагою нового продромусу є використання нових синонімічних назв діагностичних та раритетних видів рослин. Їхня номенклатура узгоджена із чек-листом судинних рослин України [20] та іншими списками для решти груп [2; 21].

Під час визначення синсозологічного статусу автори користувалися Директивою Ради Європи 92/43/ЄЕС, Резолюцією 4 Бернської конвенції, класифікацією EUNIS, списками раритетних видів Червоного списку МСОП та Європейського червоного списку, Додатком I до Бернської конвенції, Червоною книгою України та іншими зведеннями.

Характеристика кожного синтаксону складається з таких компонентів: повна назва, перелік синтаксонів, блок діагностичних видів, умови місцезростань, поширення в Україні, синсозологічний статус, список літератури щодо нього. У монографії для зручності користувачів є покажчики видів та синтаксонів.

Висновки. Продромус рослинності України є актуальним та досконалим доробком, необхідним для теоретичної та практичної діяльності у сфері екології, біології різних груп організмів, екосозології та управління довкіллям. Сфера його застосування охоплює вищу освіту, наукові установи та систему охорони природи.

Порівняння результатів класифікації рослинних угруповань за старими і новим продромусом дали добрі результати щодо охоплення ним усієї різноманітності рослинності Українського Полісся.

Перевагами нового продромусу є те, що синтаксони названі відповідно до сучасних вимог Міжнародного кодексу фітосоціологічної номенклатури (ICPN), назви видів узгоджені з номенклатурою сучасних чек-листів, охоплено 75 класів, 127 порядків, 252 союзи і 1009 асоціацій, наведено великий перелік синонімічних назв, здійснено синсозологічний аналіз згідно з міжнародними та національними списками раритетних представників біоти.

Література

1. Андриенко Т.Л., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Флористическая и доминантная классификации болотной растительности Украинского Полесья. *Ботанический журн.* 1983. № 368, т. 68. С. 361–369.
2. Бойко М.Ф. Чекліст мохоподібних України. Херсон : Айлант, 2008. 232 с.
3. Воробйов С.О. Попередній продромус суходільних лісів та рідколісь природного та штучного походження з переважанням або помітною участю *Pinus sylvestris* L. рівнинної частини України. *Рослинність хвойних лісів України*. Київ : Фітосоціоцентр, 2003. С. 13–42.
4. Воробйов С.О., Балашов Л.С., Соломаха В.А. Синтаксономія рослинності Поліського природного заповідника. *Український фітоценологічний збірник Серія В*. 1997. № 1. Т. 8. 128 с.
5. Классификация растительности СССР (с использованием флористических критериев). Под. ред. Миркин Б. М. Москва : Изд-во Московского ун-та, 1986. 200 с.
6. Миркин Б. М. Метод классификации растительности по Браун–Бланке и современная отечественная фитоценология. *Бюллетень МОИП. Отделение биологии*. 1978. № 3. Т. 83. С. 77–88.
7. Миркин Б.М. Классификация растительности СССР (с использованием флористических критериев). Москва : Изд-во Московского ун-та, 1986. 200 с.

8. Миркин Б.М. Соломещ А.И. Предварительный продромус растительности СССР. IV. Дополнение. Ленинград : Редакция журнала Биологические науки, 1990. 40 с.
9. Міркін Б. М. Шеляг-Сосонко Ю. Р. Актуальні питання класифікації рослинності. *Український ботанічний журнал*. 1979. № 6. Т. 36, С. 513–523.
10. Продромус рослинності України / Д.В. Дубина та ін. Київ : Наукова думка, 2019. 784 с.
11. Соломаха В.А. Синтаксономія рослинності України. Третє наближення. Київ : Фітосоціоцентр, 2008. 296 с.
12. Соломаха В.А. Синтаксономія рослинності України. *Український фітоценотичний збірник Серія А*. 1996. № 4. Т. 5. 120 с.
13. Устименко П.М. Дубина Д.В. Кодекс фітоценотаксономічної номенклатури України (проект). *Український ботанічний журнал*. 2015. № 2. Т. 72. С. 103–115.
14. Хом'як І.В. Характеристика асоціацій *Agrostio-Populetum tremulae* та *Epilobio-Salicetum capreae* класу *Epilobietea angustifolii* для Правобережного Полісся. *Український ботанічний журнал*. 2016. № 4. С. 239–254.
15. Шеляг-Сосонко Ю.Р., Соломаха В.А., Міркін Б.М. Стан класифікації рослинності України за методом Браун-Бланке *Український ботанічний журнал*. 1989. № 1. Т. 46. С. 5–10.
16. Barkman J.J., Moravec J., Rauschert S. Code of phytosociological nomenclature. *Vegetatio*. 1986. № 3, 67. P. 145–158.
17. Hennekens S. Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur, 2009. 84 p.
18. Jiménez-Alfaro B., Chytrý, M. Hennekens S. et al. The Braun-Blanquet project: evaluating and characterizing European vegetation alliances. 23rd International Workshop of the European Vegetation Survey, Ljubljana 8–12 May 2014. Ljubljana, 2014. P. 33.
19. Matuszkiewicz A. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych polski. Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN. 2001. 537 s.
20. Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist. Kiev, 1999. 345 pp.
21. Pioneer lichen communities of the Teteriv River Basin (Ukraine). N. V. Kapets et al. *Acta Botanica Hungarica* 2018. 60(3–4), pp. 331–355.
22. Tichý L. JUICE, software for vegetation classification. *J. Veget. Sci.* 2002. Vol. 13. P. 451–453.
23. Vegetation Science Group. веб-сайт. URL : <https://www.sci.muni.cz/botany/vegsci>.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Андрющенко Юрій Олексійович (Мелітополь) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач лабораторією, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Белоконь Каріна Володимирівна (Запоріжжя) – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та охорони праці, Запорізький національний університет.

Биковець Наталя Петрівна (Ізмаїл) – кандидат технічних наук, завідувач кафедри загальнонаукових дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія».

Біленька Ольга Богданівна (Львів) – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри загальної фізики, Національний університет «Львівська політехніка».

Боброва Марія Сергіївна (Кропивницький) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології та методики її викладання, Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка.

Бордун Ігор Михайлович (Львів) – кандидат фізико-математичних наук, доцент, докторант кафедри екології та збалансованого природокористування, Національний університет «Львівська політехніка».

Борисюк Анатолій Костянтинович (Львів) – старший науковий співробітник кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства, Національний університет «Львівська політехніка».

Брень Ангеліна Леонідівна (Житомир) – студентка, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Венгер Наталя Олегівна (Миколаїв) – магістрант кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили.

Виговська Ганна Павлівна (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Мінекоенерго України.

Войціцький Володимир Михайлович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Волошина Наталя Олексіївна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, зав. кафедри екології, Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова.

Гайдаржи Марина Миколаївна (Київ) – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Ботанічний сад імені академіка О. В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Гетьман Володимир Іванович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри заповідної справи і рекреаційної діяльності Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління.

Гільбран Сергій Володимирович (Київ) – студент, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Мінекоенерго України.

Гончар Ганна Юріївна (Київ) – молодший науковий співробітник відділу екологічного моніторингу, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України».

Горбачова Катерина Юріївна (Київ) – магістрантка кафедри геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Грицак Людмила Русланівна (Тернопіль) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри геоекології та методики навчання екологічних дисциплін, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка.

Гуцул Христина Ростиславівна (Київ) – студентка V курсу хіміко-технологічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Данилків Ольга Миколаївна (Кропивницький) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та методики її викладання, Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка.

Дробик Надія Михайлівна (Тернопіль) – доктор біологічних наук, професор, декан хіміко-біологічного факультету, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка.

Дядічева Олена Анатоліївна (Мелітополь) – молодший науковий співробітник, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Іваненко Ірина Миколаївна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології хіміко-технологічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Іващенко Тарас Григорович (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Кірсанова Валентина Василівна (Ізмаїл) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальнонаукових дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія».

Карпушин Андрій Сергійович (Львів) – студент II курсу Інституту будівництва та інженерних систем, Національний університет «Львівська політехніка».

Карпушин Сергій Олександрович (Кропивницький) – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних, дорожніх машин та будівництва, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Климчик Ольга Миколаївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та економіки природокористування, Поліський національний університет.

Ковров Олександр Станіславович (Дніпро) – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Коцюба Ірина Юріївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

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.

Кравченко Микола Дмитрович (Дніпро) – магістр кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Кузик Олександр Володимирович (Кропивницький) – кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Кулик Михайло Павлович (Івано-Франківськ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

Кулікова Дар'я Володимирівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Лапоша Олена Адамівна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Луньова Оксана Володимирівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Лю Чан (Чжаньцзян, провінція Гуандун, КНР) – кандидат економічних наук, доцент, Інститут електроніки та інформаційної інженерії Університету океану Гуандун.

Ляшенко Олена Миколаївна (Херсон) – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій, Херсонський національний технічний університет.

Мальований Мирослав Степанович (Львів) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування, Національний університет «Львівська політехніка».

Мамонов Костянтин Анатолійович (Харків) – доктор економічних наук, професор, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

Матухно Олена Вікторівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, теплотехніки та охорони праці, Національна металургійна академія України.

Медведєв Олександр Валентинович (Львів) – провідний інженер-конструктор, Філія «Науководослідний інститут автомобілебудування «Еталон».

Мельниченко Галина Михайлівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, асистент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника.

Миленька Мирослава Миронівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника.

Мідик Світлана Вікторівна (Київ) – кандидат ветеринарних наук, завідувач науково-дослідного сектору спектральних досліджень УЛЯБП АПК, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Нужина Наталія Володимирівна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Онищук Ірина Петрівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Пакош Дмитро Зеновійович (Київ) – аспірант кафедри теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Пантелеєнко Володимир Іванович (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

Патлатюк Олександр Юрійович (Львів) – магістр кафедри екології та збалансованого природокористування, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська політехніка».

Патрушева Лариса Іванівна (Миколаїв) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Медичний інститут Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

Патрушева Лариса Іванівна (Миколаїв) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили.

Пісоцька Валерія Валеріївна (Харків) – аспірантка кафедри зоології Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди.

Поліщук Павло Володимирович (Київ) – аспірант кафедри екології, Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова.

Полтавченко Тетяна Вікторівна (Рівне) – кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри водних біоресурсів, Національний університет водного господарства та природокористування.

Попенко Володимир Макарович (Мелітополь) – кандидат біологічних наук, доцент, старший науковий співробітник, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Пташник Вадим Вікторович (Львів) – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних систем та технологій, Львівський національний аграрний університет.

Репін Микола Володимирович (Київ) – кандидат технічних наук, асистент кафедри геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Різничук Надія Іванівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника.

Русин Ірина Богданівна (Львів) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська політехніка».

Сибір Артем Віталійович (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, теплотехніки та охорони праці, Національна металургійна академія України.

Сірий Олександр Анатолійович (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Соломаха Андрій Сергійович (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної і промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Тверда Оксана Ярославівна (Київ) – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Тихий Андрій Анатолійович (Кропивницький) – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних, дорожніх машин та будівництва, Центральнорукіанський національний технічний університет.

Тищенко Марина Олегівна (Київ) – директор, ТОВ НВО «Екоальянс».

Ткачук Костянтин Костянтинович (Київ) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Трускавецька Ірина Ярославівна (Переяслав) – кандидат історичних наук, доцент кафедри біології і методики навчання, Університет Григорія Сковороди в Переяславі.

Філін В'ячеслав Миколайович (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, науковий консультант, ТОВ НВО «Екоальянс».

Хижняк Світлана Володимирівна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Хом'як Іван Владиславович (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Цап'юк Леся Мирославівна (Івано-Франківськ) – старший лаборант, асистент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника.

Черничко Раїса Миколаївна (Мелітополь) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Чумакевич Віктор Олександрович (Львів) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної геодезії, Національний університет «Львівська політехніка».

Чумаченко Марія Миколаївна (Ізмаїл) – старший викладач кафедри загальнонаукових дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія».

Шкилюк Юлія Василівна (Житомир) – лаборант кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Шматков Григорій Григорович (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

Шпак Ніна Петрівна (Кирсанівка) – науковий співробітник, Національний природний парк «Кармелюкове Поділля».

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

2(29). Т. 1

- *Екологія і виробництво*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*
- *Інноваційні аспекти підвищення рівня екологічної безпеки*
- *Теоретична екологія*
- *Управління відходами*
- *Критика та бібліографія*

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. 21,15. Тираж 100. Замовлення № 0720/193.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета