

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

1(28)



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

УДК 502+504

*Друкується за рішенням Вченої Ради
Державної екологічної академії післядипломної освіти
та управління (№ 2-20 від 12.03.2020 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. – № 1(28). – 378 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	9
Бондар О.І., Риженко Н.О., Федоренко Є.О., Стрілець Р.О. Небезпечні властивості поліхлорованих дифенілів та екологічно обгрунтоване поводження з ПХД в Україні.....	9
Алексєєва А.А., Маренков О.М. Функціонування фотосинтетичного апарату кушира зануреного (<i>Ceratophyllum demersum</i> L.) в умовах впливу діяльності шахт у м. Кривий ріг.....	20
Вольчин І.А., Кривошеєв С.І. Про регулювання викидів забруднюючих речовин від середніх спалювальних установок на газомоторних компресорах нафтогазової галузі України.....	24
Дмитрієва Є.Р., Лукашов Д.В. Використання засобів автоматизації для розрахунку нормативу використання води підприємством.....	29
Д'яконов В.І., Бузіна І.М., Хайнус Д.Д., Д'яконов О.В. Зміна екологічних та фізико-хімічних властивостей під час змішування подрібнених рослинних відходів при виробництві паливних брикетів підвищеної якості.....	34
Kuznyetsov S.I., Venger O.O., Mishchenko O.V., Okhremenko I.V. Mutual neutralization of alkaline waste water by emission gases of heat and power engineering.....	41
Кулик М.П., Семерак М.М., Кравець Т.Ю. Сучасні методи спалювання твердого органічного палива в комбінованих парогазових енергетичних установках.....	45
Луньова О.В. Наукові основи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств.....	50
Макарова О.В., Григор'єва Л.І. Збільшення радіємності технологічних вод АЕС.....	60
Скляренко А.В., Бессонова В.П. Оцінка щільності та стану зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя в динаміці з використанням даних супутника Landsat.....	64
Степова О.В., Матвієнко А.М. Розрахунок залишкової товщини стінки ділянки нафтопроводу внаслідок зовнішніх корозійних процесів.....	78
Таланюк В.В. Основні характеристики та промислове застосування біополімерів на основі полігідроксидутирату (огляд).....	83
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	90
Азаров С.І., Задунай О.С. Аналіз надійності екосистем.....	90
Азаров С.І., Харламова О.В. Моделювання впливу антропогенних чинників на стан довкілля.....	97
Чугай А.В. Оцінка техногенного навантаження на складові довкілля Одеської області.....	102
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	111
Glibovyt'ska N.I., Mykhailiuk Yu.D. Phytoindication research in the system of environmental monitoring.....	111
Шевченко Р.Ю. Інновінг-інструментарій моніторингу довкілля-простору.....	115
Шевчик-Костюк Л.З., Романюк О.І., Жак Т.В., Жак О.В., Рикмас Я.В. Екологічний моніторинг ґрунтового покриву Бориславського озокеритового родовища.....	122
ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ	130
Алексєєва А.О. Екологічна оцінка способів зрошення сільськогосподарських культур.....	130
Барабаш О.В. Удосконалення організації діяльності суб'єктів господарювання під час впровадження системи екологічного управління.....	135
Качановський О.І. Екологічні проблеми використання земельних ресурсів в умовах інтенсивного видобутку корисних копалин.....	140
Пустовіт С.В., Котков В.І. Підвищення якості посівного матеріалу шляхом сепарації.....	144
ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	148
Бойко О.В., Павлюк С.В. Методика модифікації операційної системи android на мобільних пристроях для економії ресурсів та збільшення його терміну працездатності.....	148
Bondar O.I., Fylypchuk V., Kuryliuk M., Krivoshei P. Substantiation of phytodesalination of mineralized waters in filtration-regeneration bioplato.....	153
УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ	159
Гринь Г.І., Мязіна О.В., Мірошніченко Н.М., Гринь С.О. Утилізація і переробка відпрацьованих молібденових каталізаторів.....	159

Ковров О.С., Зворигін К.О. Визначення вмісту важких металів у сольових батареях та акумуляторах.....	165
Машинистов В.Е., Балакин В.Ф., Коверя А.С. Решение проблемы утилизации радиоактивно загрязненных объектов на основе эффекта самодезактивации.....	173
Мотрич С.І., Король К.А., Попович В.В. Чинники впливу броницького сміттєзвалища Львівської області на регіональну екологічну безпеку.....	182
Становська І.І., Кравченко І.А., Науменко Є.О., Монова Д.А. Екологічні фармацевтичні упаковки з наповненого термореактивного фенол-формальдегідного полімеру.....	186
ЕКОЛОГІЯ І ТРАНСПОРТ	191
Бондар О.І., Машков О.А., Міхєєв В.С. Системний підхід щодо оцінювання екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля.....	191
Ємець Б.В. Покращення показників розганання автомобілів під час роботи на місцевих альтернативних видах палива.....	201
Коваленко Л.О., Гунько І.С. Визначення викидів забруднюючих речовин з урахуванням режимів руху транспортного потоку.....	206
Лямзін А.О., Ніколаєнко І.В. Оцінка впливу транспортного кластера на екологію міста.....	211
Шелудченко Л.С., Комарницький С.П., Поліщук Д.В., Замойський С.М., Семенишена Р.В. Організація резервно-технологічної смуги автомобільної дороги для підвищення рівнів екологічної безпеки.....	216
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	221
Корлятович Т.Ю., Тартачинська З.Р., Покотило І.Я. Дослідження аномальності стану рівня води Шацьких озер у 2019 році.....	221
Рацлав В.В. Дослідження хімічного стану якості з проблемами екологічного використання підземних вод басейну річки Сіверський Донець.....	228
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	235
Бессонова В.П., Іванченко О.Є. Зелена мережа правобережжя міста Дніпро.....	235
Грубник В.В., Токарський В.А. Реінтродукція степового бабака (<i>Marmota bobak</i> Mull. 1776 (Rodentia, Sciuridae) на прикладі Диканського району Полтавської області.....	246
Драган Н.В., Бойко Н.С., Дойко Н.М., Пидорич Ю.В. Динаміка й ініціюючі фактори всихання ялини звичайної в дендропарку «Олександрія» Національної академії наук України.....	252
Кратюк О.Л. Сезонна зміна діелектричних показників сосни звичайної в умовах напіввільного утримання кабана дикого на території мисливсько-спортивного клубу «Сокіл».....	257
Пашкевич Н.А. Біотопи парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва Феофанія.....	263
Поліщук О.І., Лесів М.С., Гілецька І.Б., Панченко В.О., Антоняк Г.Л. Акумуляція важких металів у деяких видах рослин на території міста Львова.....	269
Різничук Н.І., Камінська Х.І., Сикута М.Р. Вплив едафо-кліматичних умов біотопів на віталітет і потенціал відтворення ценопопуляцій видів роду <i>Polygonatum</i> Mill.....	274
Суслова О.П. Особливості росту <i>Aesculus hippocastanum</i> L. У міських насадженнях на південному сході України.....	278
Федорчак Е.Р. Вміст пігментів у хвої <i>Picea abies</i> і <i>Picea pungens</i> в умовах промислового м. Кривий Ріг.....	283
БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	290
Єрмішев О.В. Вплив погодно-кліматичних умов на вегетативний баланс і функціональне здоров'я дівчат.....	290
ЕКОЛОГІЯ І БУДІВНИЦТВО	297
Кравченко С.А., Постернак А.А., Агаєва О.А. Исследование микротрещинообразования конструкционного лёгкого бетона на пористых заполнителях.....	297
Протасенко О.Ф., Мигаль Г.В. Еколого-ергономічне проектування як складник зеленого будівництва.....	302
ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ	307
Боброва М.С., Ворона С.О. Особливості стану компонентів прооксидантно-антиоксидантної системи в тканинах коренів <i>Allium cepa</i> L.....	307
Волков Д.В. Метод оцінки екологічної ефективності транспорту в умовах температурних змін навколишнього середовища.....	311

Воробей П.М., Футорна О.А., Ольшанський І.Г., Жигалова С.Л., Безсмертна О.О. Мікроморфологічні ознаки (анатомічна структура листків та стебел, ультраструктура насінин) <i>Sempervivum globiferum</i> L.....	316
Кірсанова В.В. Доцільність обробітку та використання мікроводоростей (<i>Chlorella</i>) як органічних добрив.....	324
Клименко Т.К., Сягайло І.О. Успішність впровадження інвазійних видів деревних рослин в урбофітоценози.....	328
Корнелюк Н.М., Конякін С.М. Особливості сезонного накопичення мікроелементів (Cu, Pb, Zn, Cd) фітомасою рослин техногенно трансформованих екотопів (на прикладі м. Черкаси).....	335
Кошелєв В.О., Пахомов О.Є. Орнітокомплекси як структурний елемент біогеоценозів: структура, критерії, показники.....	344
Ткачук Н.П. Екологічні зв'язки патогенних мікроорганізмів із водоростями.....	355
ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГО-ЗБАЛАНСОВАНОГО РОЗВИТКУ	361
Radomska M.M., Kolotylo O.A. Analysis of environmental and economic efficiency of “car-free city” projects – case study of Opole, Poland.....	361
Скок С.В., Стратічук Н.В. Науково-методичні аспекти оцінки сталого розвитку міських екосистем.....	367
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	373

CONTENTS

ECOLOGY AND PRODUCTION	9
Bondar O., Ryzhenko N., Fedorenko Y., Strilets R. Dangerous properties of polychlorinated biphenyls and environmentally sound management of PCB in Ukraine.	9
Alexeyeva A., Marenkov O. The functioning of the photosynthetic apparatus of the rigid hornwort (<i>Ceratophyllum demersum</i> L.) under the influence of mines in the Kryvyi Rih city.	20
Volchyn I., Kryvosheiev S. On regulation of pollutants emissions from medium combustion plants on gas engine compressors of oil and gas industry of Ukraine.	24
Dmytriïeva E., Lukashov D. Use of automation measures for calculation of water use by an enterprise.	29
Diakonov V., Buzina I., Khainus D., Diakonov O. Change of environmental and physical and chemical properties during mixing of fake plant waste in the production of fuel briquetic briquettes.	34
Kuznyetsov S., Venger O., Mishchenko O., Okhremenko I. Mutual neutralization of alkaline waste water by emission gases of heat and power engineering.....	41
Kulyk M., Semerak M., Kravets T. Modern methods of burning solid fossil fuel in a combined stem and gas power plants.	45
Lunova O. The scientific foundations of ecological safety management at coal-mining enterprises.	50
Makarova O., Grygorieva L. Radiocapacity increase of technological reservoirs of AEPS.	60
Sklyarenko A., Bessonova V. Assessment of fluctuations in density and growing conditions of green plantations in the area of sanitary protection zones of industrial enterprises in the city of Zaporizhzhya by using Landsat satellite imagery.	64
Stepova O., Matvienko A. Calculation of the residual wall thickness of the pipeline section due to external corrosion processes.	78
Talaniuk V. Main characteristics and industrial application of biopolymers on the basis of polyhydroxybutyrate (review).	83
GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES	90
Azarov S., Zadunaj O. Assessment of stability of ecosystems	90
Azarov S., Kharlamova O. Modeling the influence of anthropogenic factors on the environment.	97
Chugai A. Evaluation of technogeneous load on the environmental components of the Odessa region.	102
ENVIRONMENTAL MONITORING	111
Glibovytska N., Mykhailiuk Yu. Phytoindication research in the system of environmental monitoring.....	111
Shevchenko R. Innovating-tools for monitoring of Environment-Space.	115
Shevchyk-Kostiuk L., Romaniuk O., Zhak T., Zhak O., Rykmas Ya. Environmental monitoring of the soil cover of the Borislav Ozokerite Mine.	122
ECOLOGY AND ECONOMICS OF NATURAL RESOURCE USE	130
Aleksieieva A. Environmental impact assessment of methods of agricultural cultures irrigation.	130
Barabash O. Improvement in the organization of economic entities activity during the implementation of environmental management system.	135
Kachanovskyi O. Environmental problems of use of land resources in conditions of intensive extraction of useful copals.	140
Pustovit S., Kotkov V. Increasing the quality of the sowing material separations.	144
INNOVATIVE ASPECTS OF THE LEVEL INCREASE OF ENVIRONMENTAL SAFETY	148
Boiko O., Pavliuk S. The methodology for modifying the Android operating system on mobile devices to save resources and increase its performance.	148

Bondar O.I., Fylypchuk V., Kuryliuk M., Krivoshei P. Substantiation of phytodesalination of mineralized waters in filtration-regeneration bioplato	153
WASTE MANAGEMENT	159
Hryn H., Miazina O., Miroshnichenko N., Hryn S. Recycling and processing of spent molybdenum catalysts.	159
Kovrov O., Zvoryhin K. Determination of heavy metal contents in salt and rechargeable batteries.	165
Mashinistov V., Balakin V., Koveria A. Solving the problem of radioactively contaminated objects utilization based on the self-decontamination effect.	173
Motrych S., Korol K., Popovych V. Factors of the Impact of the Bronze Landfill in Lviv Region on Regional Environmental Security	182
Stanovska I., Kravchenko I., Naumenko Y., Monova D. Environmental pharmaceutical packaging from filled thermoractive phenol-formaldehyde polymer.	186
ECOLOGY AND TRANSPORT	191
Bondar O., Mashkov O., Mikheev V. System approach to evaluation of environmental impact of aviation technology on the environment.	191
Yemets B. Improvement of car driving asunder indicators during the work with local alternative fuel types.	201
Kovalenko L., Hunko I. Determination of pollutant emissions taking into account traffic flow patterns.	206
Lyamzin A., Nikolaienko I. Estimation of the transport cluster impact on the city ecology.	211
Sheludchenko L., Komarnitskyi S., Polishchuk D., Zamoiskyi S., Semenysheha R. Organization of the technological line of the highway for imporovtments environmental safety.	216
ECOLOGY OF WATER RESOURCES	221
Korliatovych T., Tartachynska Z., Pokotylo I. Investigation of abnormal water level status Shatsk lakes in 2019.	221
Ratslav V. Investigation of the chemical condition of water quality and the problems of ecological use of underground waters in Siverskyi Donets river basin.	228
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	235
Bessonova V., Ivanchenko O. Green network of right bank of Dnipro city.	235
Grubnyk V., Tokarsky V. Results of the reintroduction of steppe marmot (<i>Marmota bobak</i> Mull. 1776 (Rodentia, Sciuridae) in Dikansky district of Poltava region.	246
Dragan N., Boiko N., Doiko N., Pidorch Yu. Dynamics and initiative factors of the drying of European spruce in the “Olexandria” dendrological park of National Academy of Sciences of Ukraine.	252
Kratiuk O. Seasonal changes in dielectric parameters of scots pine in semi-free Wild boars keeping on the territory of Hunting-sports club “Sokil”.	257
Pashkevych N. The biotopes of the park-monuments of the garden art Feophania.	263
Polishchuk A., Lesiv M., Giletska I., Panchenko V., Antonyak H. Accumulation of heavy metals in several plant species in the city of Lviv.	269
Riznychuk N., Kaminska Kh., Sykuta M. Influence of edaph-climatic conditions of biotopes on vitality and potential of reproduction of co-populations of species of the genus <i>Polygonatum</i> mill.	274
Suslova E. Specific features of the growth of <i>Aesculus hippocastanum</i> L. in city green spaces in the south east of Ukraine.	278
Fedorchak E. Content of pigments in needles of <i>Picea abies</i> and <i>Picea pungens</i> in conditions of industrial Kryvyi Rih city.	283
BIOLOGICAL SAFETY	290
Yermishev O. The influence of climate and weather conditions on the vegetative balance and functional health of girls.	290

ECOLOGY AND CONSTRUCTION	297
Kravchenko S., Posternak O., Ahaieva O. The study of microcrack formation of structural light weight concrete with porous aggregates.	297
Protasenko O., Mygal G. Ecological-ergonomic designing as a component of green building.	302
THEORETICAL ECOLOGY	307
Bobrova M., Vorona S. Features of the state of the components of the prooxidant and antioxidant system in <i>Allium cepa L.</i> root tissues.	307
Volkov D. A method for assessing the environmental efficiency of transport in the environment of temperature changes.	311
Vorobej P., Futorna O., Olshanskyi I., Zhygalova S., Bezsmertna O. Micromorphological study (anatomical structure of lamina surface, ultrastructure of seeds) of <i>Sempervivum globiferum L.</i>	316
Kirsanova V. The expediency of cultivating and using microalgae (chlorella) as organic fertilizers.	324
Klymenko T., Syagailo I. The efficiency of implantation of invasive plant species into urban phytocenoses.	328
Kornelyuk N., Koniakin S. Seasonal accumulation of trace elements (Cu, Pb, Zn, Cd) by plant phytomass of technogenic transformed ekotopes (the city of Cherkassy).	335
Kochelev V., Pakhomov O. Ornithocomplexes as a structural element of biogeocenoses: structure, criteria, indicators.	344
Tkachuk N. Ecological relations between pathogenic microorganisms and algae.	355
ISSUES OF ECOLOGICALLY SUSTAINABLE DEVELOPMENT	361
Radomska M., Kolotylo O. Analysis of environmental and economic efficiency of “car-free city” projects – case study of Opole, Poland.....	361
Skok S., Straticzuk N. Scientific and methodological aspects of assessment of sustainable development of urban ecosystems.	367
AUTHORS’ CREDENTIALS	373

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО

УДК 57.044

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.1>

НЕБЕЗПЕЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІХЛОРОВАНИХ ДИФЕНІЛІВ ТА ЕКОЛОГІЧНО ОБҐРУНТОВАНЕ ПОВОДЖЕННЯ З ПХД В УКРАЇНІ

Бондар О.І.¹, Риженко Н.О.¹, Федоренко Є.О.¹, Стрілець Р.О.²

¹ Державна екологічна академія

післядипломної освіти та управління

вул. Митрополита Василя Липківського, 35, к. 2, 03035, м. Київ

² Міністерство енергетики та захисту довкілля України

вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

dei20015@ukr.net

Поліхлоровані дифеніли (ПХД) є одними з найнебезпечніших сполук для здоров'я людини та навколишнього середовища і включені до Додатку С Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі. ПХД є вогнетривкими та стійкими до розкладання; саме тому ці речовини широко використовувались у промисловості, але, з іншого боку, вони є проблемою для навколишнього середовища. Основними небезпечними властивостями ПХД є біоаккумуляція, стабільність у навколишньому середовищі, можливість утворення при аваріях (особливо при пожежах) надзвичайно стійких та токсичних сполук, таких як діоксини та фурани. Середня концентрація ПХД у організмі хижака може бути у десять разів вище, ніж середня концентрація у його здобичі. Адже харчовий ланцюг має багато щаблів, і це призводить до біомагніфікації та надвисоким концентраціям ПХД у хижках, які знаходяться на вершині трофічного ланцюга. ПХД є канцерогенами та мають імунотоксичні та нейротоксичні властивості, впливають на репродуктивну функцію, шкірний покрив, а також щитовидну залозу і шлунково-кишковий тракт. Найбільш вірогідні ризики забруднення ПХД в Україні полягають у зонах експлуатації, ремонту чи зберігання електрообладнання. За кількістю накопичених ПХД в Україні лідерами є Дніпропетровська (458,5 т), Волинська (280 т) та Київська області (255 т). Комплексний підхід до зниження ризику ПХД для здоров'я людини та навколишнього середовища передбачає вдосконалення нормативно-правової бази управління на всіх стадіях «життєвого циклу». Найкраща технологія деградації ПХД повинна не тільки забезпечувати високий ступінь руйнування ПХД, але й не призводити до утворення нових токсичних сполук при цьому. Отримання повної та точної інформації про обсяги та форми накопичення ПХД та створення сучасного ефективного технологічного забезпечення знищення ПХД є необхідною складовою їх екологічно безпечного управління в Україні. *Ключові слова:* поліхлоровані дифеніли (ПХД), токсичність, небезпечні властивості, екологічно обґрунтоване поводження.

Dangerous properties of polychlorinated biphenyls and environmentally sound management of PCB in Ukraine. Bondar O., Ryzhenko N., Fedorenko Y., Strilets R.

Polychlorinated biphenyls (PCBs) are one of the most dangerous compounds for human health and the environment. They are included in Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. PCBs are refractory and resistant to decomposition; that is why these substances have been widely used in industry, but on the other hand they are a problem for the environment. The main hazardous properties of PCBs are bioaccumulation, environmental stability, and the possibility of accidentally occurring (especially in the event of fires) extremely persistent and toxic compounds such as dioxins and furans. The average PCB concentration in a predator could be ten times higher than the average prey concentration. Because the food chain is many steps, it leads to biomagnification and extremely high concentrations of PCBs in predators located on top of the trophic chain. PCBs are carcinogens and have immunotoxic and neurotoxic properties, affect reproductive function, skin, and thyroid and gastrointestinal tract. The most expected risks of PCB contamination in Ukraine are in the operation, repair or storage of electrical equipment. The leaders of accumulated PCBs are Dnipropetrovsk (458.5 t), Volyn (280 t) and Kyiv (255 t) regions. A comprehensive approach to reducing the risk of PCBs to human health and the environment involves improving the regulatory framework for management at all stages of the life cycle. The best degradation technology for PCBs should ensure a high degree of PCB destruction as well as might not lead to the formation of new toxic compounds. Obtaining complete and accurate information on the volumes and forms of PCBs accumulation and the creation of modern efficient technological support for PCBs destruction are the necessary components of their environmentally sound management in Ukraine. *Key words:* polychlorinated biphenyls (PCBs), toxicity, hazardous properties, environmentally sound management.

Вступ. Одними з найнебезпечніших ксенобіотиків для здоров'я людини і навколишнього природного середовища, які відносяться до стійких органічних забрудників (СОЗ), є поліхлоровані дифеніли (ПХД). З одного боку, завдяки своїй вогнетривкості, низькій летючості, стабільності, ПХД

отримали широке застосування в промисловості, але з іншого боку, вони є токсичними і персистентними в об'єктах навколишнього природного середовища, здатні до біоаккумуляції та перенесення на тисячі кілометрів від первинного джерела забруднення. ПХД відносяться до класу ароматичних сполук,

що складаються з двох бензольних кілець, з'єднаних через між'ядерний зв'язок С-С і заміщених від одного до десяти атомами хлору в орто-, мета- або пара- положеннях [1; 2]. Існує 209 індивідуальних конгенерів ПХД, які відрізняються числом і положенням атомів хлору в молекулі, що мають спільну формулу: $C_{12}H_{10-n}Cl_n$, де $n = 1-10$ (рис. 1).

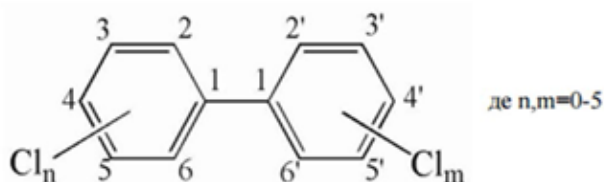


Рис. 1. Структурна формула ПХД

ПХД є безкольоровими рідинами з різким запахом, погано розчиняються у воді і мають низький ступінь випаровування, мало сприйнятливі до дії кислот, лугів, окислення і іншим хімічним реакціям. У звичайних умовах в навколишньому середовищі вони повільно розкладаються; їх період напіврозпаду залежить від рівня хлорування і становить в середньому 10–15 років. Проте ПХД добре розчиняються в жирах, вуглеводнях і органічних сумішах. В результаті цього, ці сполуки можуть біоакумулюватися

в жирових тканинах людини та інших живих організмів. В процесі всесвітнього кругообігу (випаровування, переміщення) ПХД можуть бути перенесені на великі відстані в регіони, де до цього вони ніколи не проводилися і не використовувалися. Наприклад, «сліди» ПХД і нині знаходять в Арктиці [9].

Україна ратифікувала Стокгольмську Конвенцію 18 квітня 2007 року. Національний план імплементації Стокгольмської конвенції щодо поводження із ПХД передбачає: екологічно безпечне захоронення ПХД; створення системи моніторингу та обміну інформацією про ці сполуки; розробку технологій очищення трансформаторів від ПХД; визначення територій, забруднених ПХД тощо [18] (рис. 2).

ПХД ніколи не вироблялися в Україні, але, як і в інших промислово розвинених країнах, широко використовувалися в різних галузях промисловості (переважно як ізолюючі рідини), такі як домішки і герметики в будівельних матеріалах (табл. 1) [14; 15; 19; 21].

Поліхлоровані дифеніли були вперше синтезовані в 1866 році Шмідтом і Шульцем, а комерційне виробництво було розпочато в 1929 році американською компанією Swan Chemical під маркою AROCLOR. Компанія рекомендувала ПХД до використання як матеріал для захисного покриття, водонепроникності, пожежного захисту, клею і електричної ізоляції

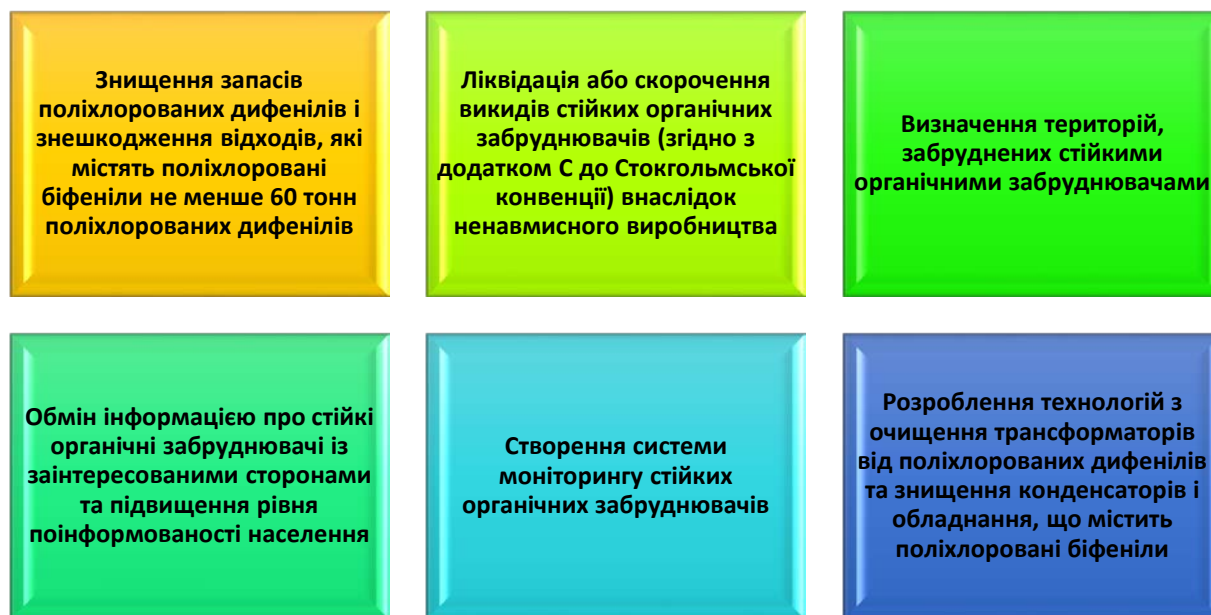


Рис. 2. Заходи щодо поводження із ПХД у Національному плані заходів

Таблиця 1

Найменування брендів ПХД, які ймовірно використовувались на теренах України

Совол	Суміш тетра- і пентахлорованих ПХД (використовувався як пластифікатор у фарбах і лаках)
Совтол	Совол змішаний із 1,2,4 трихлорбензолом; особливо у пропорції 9:1, найменування – Sovtol-10 (використовувався у трансформаторах)
Трихлорбіфеніл (ТСВ)	Суміш ізомерів ПХД, основний компонент – трихлорбіфеніл (використовувався тільки у конденсаторах)

в зв'язку із унікальними фізико-хімічними характеристиками цих речовин. Після 1970-х у багатьох країнах виробництво та використання ПХД поступово обмежувались, а глобальні емісії токсикантів почали зменшуватися. Усвідомлюючи негативні наслідки використання ПХД з 70-х років ХХ століття, багато країн світу почали відмовлятися від їх виробництва, а в 1990-ті виробництво ПХД остаточно було припинено [1; 2; 13; 19; 21]. Однак скорочення надходження ПХД у навколишнє природне середовище значно відстає від темпів припинення виробництва, оскільки запаси продуктів та матеріалів, що використовуються та місять ПХД, продовжують «постачати» ПХД у довкілля. Сміттєві відвали, місця виведення з експлуатації, а також запаси, що використовуються, є на сьогодні первинними джерелами забруднення ПХД навколишнього природного середовища [1; 2]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, основними шляхами надходження ПХД в навколишнє середовище є: випаровування з пластифікаторів; виділення під час спалювання побутових та промислових відходів, а також під час займання трансформаторів, конденсаторів та іншого промислового обладнання, в якому використовуються ПХД; витік промислових відходів; вивезення ПХД на полігони; інші неконтрольовані шляхи. Вміст ПХД у навколишньому середовищі наприкінці ХХ століття оцінювався приблизно у 300 тисяч т, з яких 230 тисяч т приходилися на океани. Тепер їхній вміст у навколишньому середовищі планети багаторазово зріс, особливо в промислових регіонах країн світу [1; 2; 13; 19; 21].

Небезпечні властивості ПХД. ПХД рідко асоціюються з гострим ризиком. Однак небезпечність цих ксенобіотиків насамперед пов'язана із здатністю їх накопичуватись в організмі людини і виявляти небезпечні властивості в дуже малих кількостях

протягом багатьох років. Саме тому вкрай необхідно завжди дотримуватися суворих заходів безпеки при поводженні з ПХД [14; 19; 21].

Залежно від кількості атомів хлору в молекулі, ПХД мають різні фізико-хімічні та токсикологічні властивості. Близько 70 з усіх конгенерів використовуються в технічних сумішах, а 10 з цих конгенерів є найбільш важливими на сьогоднішній день з точки зору оцінки ризику та небезпечності. Діоксиноподібні ПХД є планарними та є потенційно небезпечними [22]. Вони мають ті ж токсичні властивості, що й діоксини і фурани. До цих специфічних конгенерів (діоксиноподібних ПХД) відносяться: чотири не ортозаміщених (планарних) ПХД (ПХД 77, 81, 126, 169), вісім моноортозаміщених ПХД (ПХД 105, 114, 118, 123, 156, 167, 189). Вважається, що 118-й ПХД-конгенер є діоксиноподібним і має високу ймовірність щодо канцерогенних властивостей [1]. Найбільш токсичним конгенером діоксиноподібних ПХД є ПХД 126. Орто-незаміщені та моно-ортозаміщені ПХБ мають аналогічний механізм впливу на живий організм, як 2,3,7,8-тетрахлордібензо-п-діоксин (2,3,7,8-TCDD) [1; 2; 5; 6; 7; 15; 16; 20; 22]. Хронічне надходження до організму тварин різних доз ПХД призводить до дисфункції та руйнування багатьох органів. Міжнародне агентство з досліджень на рак класифікувало діоксиноподібні ПХД як вірогідні канцерогени людини.

Загалом, діоксиноподібні ефекти включають велику різноманітність деформаційних, вікових та видових специфічних ефектів, включаючи канцерогенність, імунотоксичність, токсичність для репродуктивного розвитку, гепатотоксичність, нейротоксичність, втрату ваги тощо (рис. 3).

Сучасні епідеміологічні дослідження також припускають наявність зв'язку між впливом ПХД



Рис. 3. Токсикологічні особливості ПХД

та виникненням діабету типу 2. Деякі з конгенерів ПХД також мають антиестрогенну дію. Також існує гіпотеза щодо впливу ПХД на зміну співвідношення статей новонароджених; доведено, що ПХД здатні викликати передчасні пологи та викидні. ПХД є потужним чинником придушення імунітету і при хронічному надходженні навіть у невеликих дозах може викликати так званий «хімічний СНІД». За даними Куценка (2003), ПХД мають і мутагенну дію [16]. В багатьох дослідках показана здатність речовин утворювати аддукти з молекулами ДНК. Іспанські дослідження 2012 року виявили суттєву кореляцію між рівнем ПХД в пуповині та ожирінням у дівчат у віці 6,5 років. Встановлення впливу ПХД на щитовидну залозу новонароджених та порушення неврологічного розвитку у дітей віком 3 місяців. Високохлоровані ПХД (ПХД 156,180,194) пов'язують із підвищеним ризиком розвитку лімфоми [5; 6]. Оскільки значні кількості ПХД знаходяться у материнському молоці, діти є однією з основних груп ризику у відношенні впливу цих ксенобіотиків. Рівень ПХД в материнському молоці може використовуватися як індикатор забруднення ними навколишнього середовища. В США у 70-х роках ХХ ст. близько 30% проб жіночого молока містили ПХД (максимальна концентрація – 56,3 мкг/л), в Канаді – 98% проб (максимальна концентрація – 68 мкг/л; середня – 12 мкг/л) [1, 2].

Вплив ПХД на здоров'я людини може бути спричинений забрудненням їжі та / або води, вдиханням парів із наявністю ПХД у повітрі та шляхом прямого

контакту токсиканту зі шкірою. Допустима добова доза (ДДД) ПХД для людини становить 5 мкг/кг маси тіла або 350 мкг/добу для людини масою 70 кг. За виникнення отруєння у Юшо (Японія) вміст ПХД в олії коливався від 2000 до 3000 мкг/кг; у окремих осіб в організм потрапило 500–800 мг ПХД протягом кількох тижнів [20]. Симптоми підгострого отруєння проявлялись з перших днів і виражались у появі нудоти, втомлюваності, порушення функції печінки, набряків на ногах і ураженні шкіри у вигляді хлоракне та гіперпігментації. Спостерігалось також явище подразнення з боку очей і верхніх дихальних шляхів. В організмі людини співвідношення середньої концентрації ПХБ в тканинах мозку, печінки та жиру становить $1 \div 3,5 \div 81$ [15]. Жертви Ю-Ченга (одного з найвідоміших у світі забруднення РСВ, 1979) мали 80 нг / г (загальна кількість ПХБ) у мозку та відповідно 11 мкг / г у жировій тканині [3].

Доза ПХД, вміст хлору у сполуці, вік та стать, видова належність, шлях та тривалість дії ПХД, умови середовища – фактори, від яких залежить ступінь реакції організмів на дію ПХД.

Постановою Комісії ЄС у 2011 році, що включає поправки до Постанови Комісії №1881/2006, встановлено максимальні рівні для ПХДД/ПХДФ, суми ПХДД/ПХДФ і діоксиноподібних ПХД і суми 6 недіоксиноподібних (індикаторних) ПХД (ПХД 28, ПХД 52, ПХД 101, ПХД 138, ПХД 153 і ПХД 180) на основі переглянутих значень токсичної еквівалентності (рис. 4) [4, 22]. Максимальні рівні ПХБ в харчових продуктах в Україні аналогічні до таких,

які зазначені у Регламенті Комісії (ЄС) № 1259/2011 від 2 грудня 2011 року.

Антропогенні джерела надходження ПХД у навколишнє природне середовище можна умовно розділити на первинні і вторинні. Первинні охоплюють перелік емісій токсикантів у об'єкти навколишнього природного середовища насамперед у безпосередній близькості від джерела забруднення техногенного походження, наприклад, надходження ПХД у ґрунт (водні об'єкти) при аварійних ситуаціях за експлуатації трансформаторів (конденсаторів). До вторинних можна віднести такі, які здійснюються через опосередковані носії або суттєво віддалені від безпосереднього джерела забруднення, наприклад забруднення річок Північної півкулі через танення снігу Арктики,



Рис. 4. Регламенти ПХД Європейського Союзу у продуктах харчування

що містить ПХД [10]. Прикладом вторинних забруднень компонентів екосистеми слугує також результат захоронення ПХД-вмісного електричного обладнання в кар'єрах або шахтах, який може призвести до наявності поллютантів у підземних і наземних водах, що збільшить існуючий масштаб забруднення не тільки річкових басейнів, але й океанів, які є кінцевим акцептором ПХД. ПХД, які використовують як діелектричний матеріал у трансформаторах, конденсаторах і баластах флуоресцентних ламп, застосовувалися у промисловості по всьому світу. У підземних шахтах і кар'єрах для операцій із дроблення, фрезерування і плавлення використовувалось зокрема і ПХД-вмісне електричне обладнання. ПХД трансформатори зазвичай розташовуються по кілька одиниць на підземних підстанціях. ПХД-вмісні конденсатори також знаходяться на підстанціях, але можуть ще знаходитися в електричних локомотивах. Масштаб і складність структури підземних шахт збільшує ймовірність непрогнозованого поховання небезпечних відходів [15; 19].

За попередніми оцінками, близько 35% обсягів синтезованих людством ПХД, надійшли у довкілля. Будучи стійкими сполуками, ПХД інтенсивно акумулюються в об'єктах навколишнього середовища і передаються через харчові ланцюги. Разом із хлороганічними пестицидами, ПХД є найбільш поширеними поллютантами, що забруднюють воду в природних водоймах, акумулюючись у гідробіонтах. Океани є найбільшими «поглиначами стоків» ПХД, і наслідки цього нині непрогнозовані. Середні коефіцієнти біологічної концентрації ПХД, що надходять з води у фітопланктон, становлять від 10 тисяч до 1 мільйона. Проте часто забувається той факт, що фітопланктон є основою харчового ланцюга в океані і головним джерелом атмосферного кисню [1; 2]. В зв'язку з високими ліпофільними властивостями ПХД мають тенденцію до накопичення в тканинах риб. Тому рівень ПХД в гідробіонтах розглядають як один з найважливіших критеріїв забруднення навколишнього середовища. Високі концентрації ПХД характерні для риб пелагіалі Середземного моря (240–660 нг/г сирої маси). Особливо значний вміст ПХД в печінці та м'язах риб (у камбали – 942 нг/г та 105 нг/г відповідно); у карасів (ріка Дунай) вміст ПХД досягає 1602 нг/г. Вміст ПХД в рибах Арктики – найбільший і досягає 11000 мкг/г. Помічена тенденція до акумулювання найменш метаболічно активних орто- і ортопаразаміщених ПХД. Вміст ПХД в цілій рибі у 1,5 рази вищий, ніж у філе. Це свідчить про накопичення ПХД у підшкірному жирі. Тому рекомендується знімати шкіру з підшкірним жиром перед вживанням риби в їжу. У підшкірному шарі дельфінів і риб в Атлантичному океані вміст ПХД тільки за період з 1993 по 1996 роки порівняно з 1988–1992 роками підвищився майже у 2 рази [1; 2; 19].

ПХД є дуже персистентними сполуками. Здатність до деградації і біоаккумуляції є специфічною для

різних конгенерів ПХД, складу їх промислових сумішей, які забруднювали навколишнє природне середовище [7; 9; 12]. Як правило, менш хлоровані конгенери є більш розчинними у воді, більш летючими і більш схильними до біорозкладання. Високо хлоровані ПХД часто більш стійкі до деградації, міцніше адсорбуються твердими частинками. Деякі з цих більш хлорованих ПХД мають тенденцію до біоаккумуляції у високих концентраціях в тканинах тварин, ніж ПХД з низькою молекулярною вагою. Більш хлоровані ПХД мають здатність до біомагніфікації у харчових ланцюгах. Конгенери ПХД з високою молекулярною масою мають специфічні структури, які роблять їх сприйнятливими до біодеградації ферментами за поглинання рибами, ракоподібними, птахами та ссавцями. Аеробна біотрансформація ПХД аналогічна до аеробної біодеградації самої молекули дифенілу. Першим етапом цього процесу є окислення кільця 2,3-діоксигенази, яка заміщує два атома водню двома гідроксильними групами в сусідніх орто- і мета-положеннях молекули. Відкрите кільце потім метаболізується за добре відомим шляхом. Конгенери ПХД, що містять кілька груп хлору, особливо в 2 (орто), або 3 (мета) положеннях, можуть блокувати першу оксигенацію ПХД. Оскільки атоми хлору в кільці ПХД ефективно блокують дію оксигенування ферментів, тільки ПХД з відносно невеликим числом атомів хлору дуже схильні до аеробної біодеградації. В анаеробних умовах конгенери ПХД перетворюються шляхом відновлюваного дегалогенізування: атом хлору віддаляється з молекули і заміщується воднем. В останні роки відновлювальне дегалогенізування органічних молекул стало загально прийнятим процесом, який ефективний для дегалогенізування різних галогенованих органічних сполук, від пестицидів і багатьох ароматичних сполук, таких як ПХД, до аліфатичних сполук, таких як хлоровані розчинники [8; 11]. При такому відновленні галогенорганічних речовин кисень служить акцептором електронів у аеробних умовах. Оскільки анаеробні умови є кращими для розкладання більш хлорованих ПХД і аеробних умов для менш хлорованих ПХД, ймовірно, послідовне перебування токсиканту у анаеробних і аеробних умов може привести до повної деградації ПХД. Наприклад, анаеробна деградація в донних відкладеннях може призвести до утворення менш хлорованих конгенерів, які будуть більш мобільними і будуть дифундувати у аеробні води в річці, де може статися аеробна деградація [11]. Як правило, коли концентрації ПХД високі в поверхневих відкладеннях, вони також високі і у біоті, зокрема, в рибі.

Фотодеградація ПХД проходить в дуже обмежених кількостях, сполуки не піддаються гідролізу і окисленню, вони стійкі до дії кислот і лугів та високої температури. Процес біологічного розкладу ПХД проходить дуже повільно, а у сполук, в молекулі яких міститься 4–5 і більше атомів, заміщених на

хлор, він взагалі неможливий. Тому основні проблеми в екосистемі, забрудненої ПХД, пов'язані із перситетністю, біодоступністю та біоаккумуляцією цих токсикантів (рис. 5) [1; 2; 11].

Середня концентрація ПХД у організмі хижака може бути у десять разів вище, ніж середня концентрація у його здобичі (рис.6). Адже харчовий ланцюг має багато щаблів та надвисокі концентрації ПХД у хижаках, які знаходяться на вершині трофічного ланцюга [1; 2]. Згідно даних Міністерства навколишнього середовища Канади, забруднення СОЗ яєць деяких видів птахів, що живляться рибою, може у 25 мільйонів разів перевищувати концентрацію СОЗ, що знайдено у воді, де живе риба. Відтак людина, яка знаходиться на найвищому щаблі харчового ланцюга, отримує максимальні кількості ПХД серед усієї біоти у екосистемі [1; 2; 19].

Оскільки стійкість ПХД є ключовим параметром оцінки їх небезпечності, вкрай важливим є отримання достовірної інформації щодо вмісту токсикантів у компонентах екосистем. Нині сумарний вміст ПХД у повітрі населених місць коливається в межах від 30 пг/м² (у сільській місцевості Нової Зеландії) до 129 пг/м² – у містах. У ґрунті концентрація ПХД коливається у широких межах: від 5,6 до 1000000 пг/г ґрунту (у перерахунку на органічний

матеріал – 200-360000 пг/г та при перерахунку на об'єм ґрунту – 42-160000 пг/м²).

За розрахунком кількості ПХД на грам ґрунту найменш забрудненою є територія Гренландії, найбільш – Німеччини; за перерахунком кількості ПХД на органічний матеріал найменший ступінь забруднення виявлений в арктичних районах Канади, найбільший – у Австрії [10].

Сучасні рівні забруднення атмосферного повітря ПХД в різних країнах становить кілька нанограмів на 1 м³ і не перевищують 50 нг/м³; забруднення поверхневих вод коливається від кількох нг до 500 нг/л (в промислових зонах).

Середньорічні концентрації ПХД у атмосфері різних географічних точок, зокрема, у Алерті (Канада), Палласі (Фінляндія), Сторхофді (Ісландія), Цепеліне (Шпіцберген/Норвегія), Кошетіце (Чехія), Рао (Південна Скандинавія) варіюють в залежності від їх близькості до джерел та їх географічного розташування (широта, довгота), а також залежно від факторів навколишнього природного середовища (вплив моря чи контенту, висота над рівнем моря, переважні метеорологічні умови) кожної станції спостереження [10]. В Україні вміст ПХД виявлений в димових газах заводів з термічного оброблення твердих побутових відходів у межах 460-670 нг/м².



Рис. 5 – Небезпечні властивості ПХД для біоти

У природній воді Дніпровського басейну (Київ, Дніпро, Запоріжжя, Миколаїв, Нікополь) вміст ПХД у середньому становить 41 нг/дм³. За даними Моклячук (2008), в Україні забруднення ґрунтів СОЗ, зокрема, ПХД, утворилось навколо складів отрутохімікатів внаслідок випадкового надходження їх у ґрунт (рис. 6) [17].

ПХД можуть переноситись повітряними течіями на великі відстані, оскільки є випаровуючись у повітря, легко прикріплюються до часток атмосферного пилу. Однак політанти не достатньо легкі, щоб залишатися у атмосфері, вони подорожують із повітряними течіями на короткі та довгі відстані, а потім, коли температура понижується або починаються опади, ПХД із повітря надходить назад на поверхню ґрунту. ПХД залишаються на поверхні ґрунту тільки протягом короткого часу, потім випаровуються знов у повітря, переміщуючись між повітрям та поверхнею ґрунту. Це явище отримало назву «ефект коника-стрибунця» [15]. При цьому низько хлоровані ПХД легкіші і можуть переноситись в атмосфері понад 20000 км [10]. Зазвичай ПХД випаровуються значно легше у теплом кліматі і осідають у більш холодному регіоні. В результаті загальною тенденцією для ПХД та багатьох інших СОЗ є імміграція з теплих регіонів у холодні (зокрема, забруднення Арктичного регіону, хоча ПХД там, практично, не вироблялись та не застосовувались (табл. 1)) [1; 21]. Сучасні концентрації ПХД у Північному Льодовитому океані коливаються від (сума 13 ПХД) 0,13 до 21 пг/л, при чому більш високі концентрації у шельфових морях, ніж у центральній частині океану. Трихлоровані ПХД складають приблизно 50 % від загального навантаження ПХД у поверхневих водах східної Арктики (Берингове, Чукотське і Бофортське моря), що свідчить про переважання атмосферного джерела. Гексахлоровані ПХД більш розповсюджені у західній частині Арктики (Баренцове та Гренландське моря), що свідчить про вплив водного транспорту з регіонів з інтенсивним використанням ПХД, таких як Північна Європа та Північна Америка. Зміна клімату призведе до глобальних значних змін щодо транспортних шляхів та долі всіх стійких органічних забруднювачів і, зокрема, ПХД [10]. Прогнозується, що зміна клімату вплине здебільшого у Арктиці на долю РСВ153

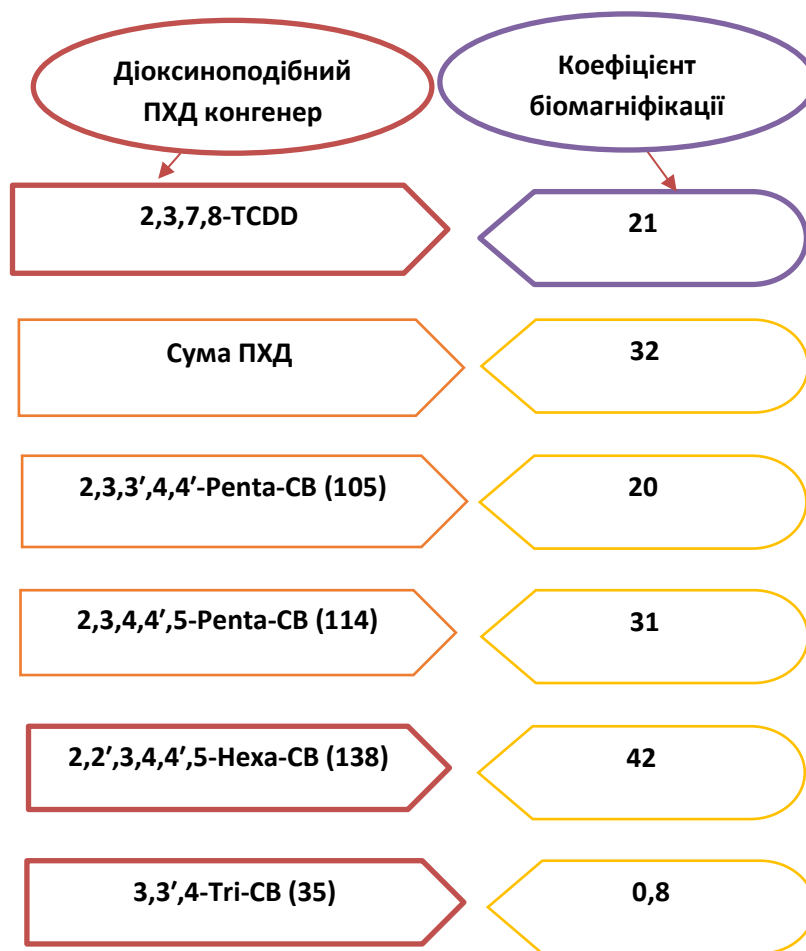


Рис. 6. Коефіцієнти біомагніфікації для чайки діоксиноподібних конгенерів ПХД

в морській воді у порівнянні з атмосферою. У той час як в Європі відносно зростання РСВ153 прогнозується в 1,5 рази, в Арктиці – у 3-4 рази. Це збільшення є результатом зростання відносно високих концентрацій в атмосфері (в 1,5 рази вище в Арктиці і в 2 рази вище в європейській атмосфері) в поєднанні з підвищеною інтенсивністю осадження політантів у Північному Льодовитому Океані, чому також сприяє зменшення морського льодового покриття. Прогнозується також збільшення РСВ28 (в 2,5–3 рази) в Північному Льодовитому океані [10]. Тож нині вторинні джерела ПХД (накопичені в резервуарах навколишнього середовища, зокрема, донні відкладення, вода, ґрунт, сніг і лід), стають важливішими за первинні, зокрема, через зміну клімату. Під час сезонної відлиги накопичені ПХД у кризі можуть вивільнятися у воду, а далі біоакумулюватись і мігрувати у біогеохімічних циклах і за харчовим ланцюгом. Поки що атмосферне перенесення ПХД є основним маршрутом глобального розповсюдження політантів у полярних регіонах, а атмосферні опади є важливим шляхом їх поширення як у наземних, так і морських сферах, де океанічні течії відіграють суттєву роль у поширенні ПХД на Землі [10].

Екологічно обґрунтоване поводження з ПХД в Україні. Інвентаризація є початковою стадією в управлінні ПХД-забрудненим устаткуванням і має бути проведена найбільш екологічно прийнятним засобом. Дотримання таких основних заходів може допомогти у достовірності збору даних про ПХД; оцінка національної ситуації щодо ПХД; оцінка національного законодавства; визначення можливих зацікавлених сторін; проведення тренінгів по підвищенню обізнаності для підвищення компетентності можливих зацікавлених сторін; попередня інвентаризація; інформування громадськості; адаптація національного законодавства; інформація про відомі зацікавлені сторони; детальна інвентаризація (фізична інспекція, відбір проб, аналіз, база даних); інфраструктура (збір, транспортування, тимчасове зберігання, знищення) [14; 19].

Метою інвентаризації є виявлення і облік обладнання і матеріалів, що потенційно містять або забруднені ПХД. Ця інформація є незамінною при підготовці Плану управління ПХД, який повинен охопити весь «життєвий цикл» ПХД, включаючи: зберігання, використання, очищення, збирання відходів, знищення. Загальнодержавною поглибленою

інвентаризацією передбачається охопити всі можливі форми накопичення ПХД, а саме: «концентровані ПХД» у діючому електротехнічному обладнанні та резерві; ПХД-відходи: виведені з використання трансформаторні оливи на базі ПХД; виведені з експлуатації конденсатори; відходи від демонтажу електротехнічного обладнання та витратні матеріали, забруднені ПХД; відходи розчинників з ПХД тощо; «ПХД-забруднення» – головним чином мінеральні оливи, забруднені ПХД (з концентрацією ПХД більше 50ppm) [14; 19].

В результаті інвентаризації доцільно також оцінити забруднення ПХД прилеглих до об'єктів накопичення ПХД ґрунтів, будівельних конструкцій і елементів обладнання [19; 21]. ПХД можуть використовуватись у закритих, частково закритих і відкритих системах (рис. 7).

Ідентифікація та первинний облік обладнання з концентрованими ПХБ в Україні здійснюється відповідно до орієнтовних переліків стандартного обладнання, наведених у «Методичних рекомендаціях щодо виявлення та ідентифікації поліхлорованих дифенілів (ПХД)», затверджених Міністерством екології та природних ресурсів України в 2003 році.



Рис. 7. Можливі сфери застосування ПХД

Ідентифікація та первинний облік відходів ПХБ в Україні здійснюються відповідно до діючої системи обліку відходів. Хімічні аналітичні дослідження щодо наявності забруднення ПХД в Україні здійснюються у два етапи. Перша стадія – скринінг-тест на наявність сполук хлору, а друга стадія – ідентифікація сполук ПХД та їх кількісне визначення методами хроматографії (EN 12766-1:2000, IDT; EN 12766-2:2001, IDT; IEC 61619:1997, IDT). З вересня 2019 року вищезазначені стандарти набули чинності як Державні стандарти України. Найбільш поширене застосування для скринінг-тестів – це набори Clog-N-Oil 50 проміле (CL-050-SG) з аналізатором L2000 PCV / хлорид, а також SM – TCPs-KIT (Sea Marconi) [14; 19].

Попередня інвентаризація ПХД (2003–2007 рр.) в Україні показала, що, майже все накопичення токсикантів припадає на електрообладнання. За кількістю накопиченого ПХД лідерами є Донецька (724 т), Дніпропетровська (458,5 т), Волинська (280 т) та Київська області (255 т). Що стосується галузей промисловості, то тут лідерами є металургія за кількістю трансформаторів з концентрованим ПХД та машинобудування за кількістю конденсаторів з ПХД. Загальна маса ПХД, які наявні в обладнанні та зберігаються окремо на об'єктах України, за результатами первинної інвентаризації приблизно оцінюється в 5000 тонн. Розподіл за вмістом ПХД на підприємствах України по областях має вигляд: за трансформаторами – Донецька область (21 %), Дніпропетровська область (9 %), Київська область (9 %); за конденсаторами – Запорізька область (16 %), Дніпропетровська область (7 %); за синтетичними рідинами з ПХД – Волинська область (27 %), Донецька область (19 %), Дніпропетровська область (18 %).

Інформаційна система «База даних ПХД в Україні» була створена як Національний реєстр ПХД в Україні. Він був розроблений для систематизації, структурування та аналізу великої кількості інформації, зібраної під час інвентаризації ПХД. З 2017 року Національний реєстр поповнюється базами даних забрудненого обладнання, що містить ПХБ. Національний інвентаризаційний реєстр використовуватиметься для: визначення базової кількості продуктів, виробів і відходів, що складаються із ПХД, містять їх або забруднених ними; складання реєстру інформаційних даних для сприяння в проведенні інспекцій щодо дотримання вимог з техніки безпеки, нормативів та стандартів; сприяння в підготовці планів дій у надзвичайних ситуаціях; відстеження ходу здійснення заходів щодо мінімізації використання ПХД та їхньої ліквідації. Поповнення баз даних національного реєстру має здійснюватися на систематичних засадах на базі документів первинного обліку та створених на їх основі реєстрових карт об'єктів поводження з ПХД для кожної із категорій об'єктів. Документи первинного обліку

мають включати наступні дані: про власника ПХД: код за ЄДРПОУ, його підпорядкованість та код за СПОДУ, вид економічної діяльності за КВЕД, юридична адреса та код за КОАТУУ, контактні телефони та особа (організація), що склала звіт, дата складання; про стан та кількість накопичених ПХД. На основі документів первинного обліку обладнання та синтетичних рідин складається реєстрова карта об'єкту використання ПХД. На основі документів первинного обліку відходів складаються реєстрові карти об'єктів утворення відходів (ОУВ) і реєстрові карти об'єктів обробки та утилізації відходів (ООУВ), затверджені наказом Міністерства екології України № 41 від 17.02.1999 [14; 19].

Сукупність операцій, які слід виконати при вивезенні відходів, що містять ПХБ, визначається такою інформацією, як: агрегатний стан відходів; вміст ПХБ у відходах; наявність у відходах компонентів, що потребують конкретних способів утилізації; необхідність або можливість повторного використання деяких компонентів відходів тощо. Вибір технології знищення ПХД слід робити з урахуванням токсичних властивостей ПХД, особливо їх стійкості у навколишньому природному середовищі та здатності утворювати токсичні сполуки під час нагрівання. Найкраща технологія деградації ПХД має не тільки забезпечувати високий ступінь руйнування ПХД, але й забезпечувати відсутність утворення нових супутніх токсичних сполук [14].

Висновки. Поліхлоровані дифеніли, перелічені у Додатку С до Стокгольмської Конвенції, відносяться до речовин «ненавмисного утворення» та є дуже небезпечні для здоров'я людини та біоти. Залежно від кількості атомів хлору в молекулі, ПХД мають різні фізичні, хімічні та токсичні властивості. Близько 70 з усіх конгенерів ПХД використовуються в технічних сумішах, а 10 з цих конгенерів є найбільш важливими нині з точки зору оцінки ризику та небезпечності. Існує 209 індивідуальних конгенерів ПХД, що відрізняються числом і положенням атомів хлору в молекулі. Основні небезпечні властивості ПХД пов'язані з біонакопиченням цих стійких сполук в організмі, стійкістю у навколишньому природному середовищі, а також з можливістю утворення в разі нещасних випадків, зокрема пожеж, надзвичайно стійких і токсичних ароматичних сполук – діоксинів і фуранів. ПХД є канцерогенами та мають імунотоксичні та нейротоксичні властивості, впливають на репродуктивну функцію, шкірний покрив, а також щитовидну залозу і шлунково-кишковий тракт.

Деструкція ПХД, зокрема, фотодеградація, проходить в дуже обмежених кількостях, сполуки не піддаються гідролізу і окисленню, вони стійкі до дії кислот і лугів та високої температури. Тому основні проблеми в екосистемі, забрудненої ПХД, пов'язані із персистентністю, біодоступністю та біокумуляцією цих токсикантів. Середня концентрація ПХД у організмі хижака може бути у десять разів вище,

ніж середня концентрація у його здобичі. Адже харчовий ланцюг має багато шаблів, і це призводить до біомагніфікації та надвисоким концентраціям ПХД у хижаках, які знаходяться на вершині трофічного ланцюга.

ПХД можуть переноситися повітряними течіями на великі відстані, оскільки при випаровуванні легко прикріплюються до часток атмосферного пилу. ПХД надходять до екосистем від віддалених джерел після того, як з повітряними течіями пройшли шлях в тисячі або навіть десятки тисяч кілометрів. ПХД залишаються на поверхні ґрунту тільки протягом короткого часу, потім випаровуються знов у повітря, переміщуючись між повітрям та поверхнею ґрунту. Це явище отримало назву «ефект коніка-стрибунця». При цьому низько хлоровані ПХД легкіші і можуть переноситись в атмосфері понад 20000 км. ПХД, що надійшли у атмосферу, переміщуються з більш теплих регіонів у полярні регіони, особливо у північній півкулі, де вони накопичуються на поверхні ґрунту та води.

Комплексний підхід щодо усунення ризиків для здоров'я людей та навколишнього середовища від ПХД передбачає вдосконалення нормативно-правового регулювання поведінки з ним на всіх ста-

діях їх «життєвого циклу»; отримання повної і точної інформації щодо обсягів і форм їх накопичення; створення сучасного ефективного технологічного забезпечення для їх знешкодження.

Важливим чинником при визначенні стратегії поводження з ПХД є інформація про обсяги та форми їх накопичення. Така інформація нині збирається та розміщується у відповідних базах даних стосовно електричного обладнання з концентрованими ПХД, іншого електричного обладнання з мінеральною оливою, забрудненим ПХД та ділянок, які мають забруднення ПХД в результаті неналежної експлуатації обладнання або аварійних ситуацій. Інформації в базах даних щодо форм та обсягів накопичення ПХД в подальшому стала основою для техніко-економічного обґрунтування найбільш прийнятної за екологічними та економічними показниками інфраструктури видалення ПХД в Україні. За обґрунтування був врахований досвід вирішення проблеми ПХД в інших країнах. Таким чином, завдяки комплексному підходу до проблеми ПХД створене надійне підґрунтя для її вирішення у відповідності до вимог Стокгольмської конвенції про СО₂ та чинного українського законодавства.

Література

1. A Risk-Management Strategy for PCB-Contaminated Sediments, 2001, 432 p., URL: <https://www.nap.edu/read/10041/chapter/4>
2. A Risk-Management Strategy for PCB-Contaminated Sediments, 2001, 432 p.
3. Chen, P., Hsu S. (1986.) PCB poisoning from toxic rice-bran oil in Taiwan. Pp. 27–38 in book PCBs and the Environment, Waid J., CRC Press. Boca Raton
4. Commission regulation (EU) No 1259/2011, URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:320:0018:0023:EN:PDF>
5. De Roos, A., Hartge, P., Lubin, J., Colt, J., Davis, S., Cerhan, J., Severson, R., Cozen, W., Patterson D., Needham, L., Rothman, N. (2005). Persistent organochlorine chemicals in plasma and risk of non-Hodgkin's lymphoma. *Cancer Res*, 65(23), 11214–226. doi:10.1158/0008-5472.CAN-05-1755.
6. Faroon, O., Ruiz, P. (2011). Addendum to the toxicological profile for polychlorinated biphenyls, Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Environmental Medicine Atlanta, GA 30333.
7. Giesy, J.P., and K.Kannan. 1998. Dioxin-like and non-dioxin-like toxic effects of polychlorinated biphenyls (PCBs): implications for risk assessment. *Crit. Rev. Toxicol.* 28(6):511–569.
8. Holliger, C., G.Schraa, A.J.Stams, and A.J.Zehnder. 1993. A highly purified enrichment culture couples the reductive dechlorination of tetrachloroethene to growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 59(9):2991–2997.
9. Newman, J.W., J.S.Becker, G.Blondina, and R.S.Tjeerdema. 1998. Quantitation of aroclors using congener-specific results. *Environ. Toxicol. Chem.* 17(11):2159–2167.
10. Pernilla Carlsson, Knut Breivik, Eva Brorström-Lundén, Ian Cousins, Jesper Christensen, Joan O. Grimalt, Crispin Halsall, Roland Kallenborn, Khaled Abass, Gerhard Lammel, John Munthe, Matthew MacLeod, Jon Øyvind Odland, Janet Pawlak, Arja Rautio, Lars-Otto Reiersen, Martin Schlabach, Irene Stemmler, Simon Wilson, Henry Wöhrnschimmel. Polychlorinated biphenyls (PCBs) as sentinels for the elucidation of Arctic environmental change processes: a comprehensive review combined with ArcRisk project results // *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018; 25(23): 22499–22528.
11. Tiedje, J.M., J.F.Quensen III, J.Chee-Sanford, J.P.Schimel, and S.A.Boyd. 1993. Microbial reductive dechlorination of PCBs. *Biodegradation* 4(4):231–240.
12. Zell, M., and K.Ballschmiter. 1980. Baseline studies of the global pollution. III. Trace analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by glass capillary gas chromatography in environmental samples of different trophic levels. *Fresenius Z. Anal Chem.* 304:337–347.
13. Брудна дюжина у нашому житті // ВЕГО «МАМА-86», Київ, 16 с., URL: http://archive.mama-86.org/archive/files/soz_web.pdf
14. Визначення шляхів екологічно обґрунтованого видалення поліхлорованих дифенілів (ПХД) в Україні : методичний посібник / В.В. Четвериков, С.М. Коваль, А.В. Россоха, О.І. Бондар. Херсон : Олді-Плюс, 2018. 68 с.
15. Джек Вайнберг Руководство по стойким органическим загрязнителям для НПО, 90 с.
16. Куценко С.А. Основы токсикологии. Санкт-Петербург: ООО Из-во Фолиант, 2004. 720 с.
17. Моклячук Л.І. Науково-методичні основи екотоксикологічного моніторингу і ремедіації забруднених органічними ксенобіотиками ґрунтів: : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора с-г наук [спец.] 03.00.16 «Екологія» / Інститут агроєкології Української академії аграрних наук, 2008, 41 с.

18. План заходів з виконання Стокгольмської Конвенції про стійкі органічні забруднювачі. ЗАТВЕРДЖЕНО розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 липня 2012 р. № 589-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/589-2012-%D1%80>.
19. Поліхлоровані дифеніли: небезпечні властивості та екологічно обґрунтоване поводження . Монографія / О.І. Бондар, Н.О. Риженко, В.В. Четвериков, Є.О. Федоренко, Р.О. Стрілець. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. 182 с.
20. Смоляр В.І., Петрашенко Г.І Поліхлоровані біфеніли в харчових продуктах і раціонах // Проблеми харчування, № 2, 2006, URL: http://medved.kiev.ua/arh_nutr/art_2006/n06_2_5.htm
21. Урс К. Вагнер, Эвелин Шнайдер, Анна-Мария Дашер, Франциз де Хаас Руководство по Управлению ПХД, Казахстан, 2012, 170 с.
22. Чміль В.Д. Организация и осуществление в Украине контроля за содержанием диоксинов и полихлорированных бифенилов в продовольственном сырье, пищевых продуктах и кормах в соответствии с нормативами Европейского Союза // Украинский журнал современных проблем токсикологии, № 3, 2015, С. 87–103.

ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ КУШИРА ЗАНУРЕНОГО (*CERATOPHYLLUM DEMERSUM* L.) В УМОВАХ ВПЛИВУ ДІЯЛЬНОСТІ ШАХТ У М. КРИВИЙ РІГ

Алексєєва А.А., Маренков О.М.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро
ann.alekseeva21@gmail.com

На сьогодні регулярний контроль якості природних водойм на території індустріальних міст є актуальним і необхідним. Водні екосистеми малих річок гірничопромислових регіонів зазнають особливого антропогенного тиску. Річка Саксагань є прикладом водотоку із сильнозміненим природним режимом, розташованого в центрі промислової агломерації Кривого Рогу. Вища водна рослинність у водоймах збагачує водні маси киснем, органічними і мінеральними речовинами. Тому дослідження морфо-анатомічних та фізіолого-біохімічних властивостей макрофітів в урбосередовищі викликають інтерес у науковців. Одним із найчутливіших метаболічних процесів до впливу у рослин є фотосинтез, зокрема, всі процеси біосинтезу фотосинтезувальних пігментів чутливі до екоумов. Рівень пластидних пігментів та їх стан визначають стійкість, життєздатність і продуктивність рослин. Мета роботи – визначити вміст і співвідношення хлорофілів у листках кушира зануреного (*Ceratophyllum demersum* L.) з різних ділянок р. Саксагань, поблизу шахт «Тернівська» та «Октябрська». Відбір зразків рослин *C. demersum* здійснювали у вересні 2019 року на дослідних ділянках, розташованих вище випусків зворотних (дошових і талих) вод, у місцях випусків зворотних (дошових і талих) вод та нижче випусків зворотних (дошових і талих) вод. Вміст хлорофілів (Chl *a*, Chl *b* і загального хлорофілу) визначали за методом Wintermans J. F. G. M. De Mots A. (1965) в етанольних екстрактах листків дерев за допомогою спектрофотометра «КФК-3». Математичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом. Достовірність відмінності одержаних експериментальних даних із контрольними оцінювали за допомогою *t*-критерію Стьюдента. Нульову гіпотезу відкидали при $P \leq 0,05$. Всі розрахунки проводили за допомогою програмного пакета Statistica 6.0. У ході дослідження встановлено, що вміст хлорофілів та співвідношення форм хлорофілу (Chl *a*/Chl *b*) варіювали в листках *C. demersum* залежно від умов впливу діяльності обох шахт. Враховуючи інформативність показників вмісту пластидних пігментів у листках *C. demersum* і чутливість виду до антропогенного забруднення, перспективним є його використання як біоіндикатора при здійсненні оцінки екологічного стану водойм урбанізованих територій. *Ключові слова:* *Ceratophyllum demersum*, водні рослини, фотосинтез, хлорофіл *a*, хлорофіл *b*, забруднення водойм, біомоніторинг.

The functioning of the photosynthetic apparatus of the rigid hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.) under the influence of mines in the Kryvyi Rih city. Alexeyeva A., Marenkov O.

Currently, regular quality control over natural water bodies in industrial cities is relevant and necessary. Water ecosystems of small rivers in mining regions are under particular anthropogenic pressure. The Saksahan river is an example of a watercourse with a strongly changed natural regime, it is located in the center of the industrial agglomeration of Kryvyi Rih. Higher water vegetation in reservoirs enriches water masses with oxygen, organic and mineral substances. Therefore, the study on the morphological, anatomical, physiological and biochemical properties of macrophytes from urban areas is of scientists' interest. Metabolic processes in plants called photosynthesis is especially sensitive to the effects of anthropogenic factors, in particular, all processes of photosynthetic pigment biosynthesis are sensitive to environmental conditions. The level of plastid pigments and their state determine the stability, viability and productivity of plants. The aim of the work is to determine the content and ratio of chlorophylls in the leaves of common hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.) collected in different sites of the Saksahan river near the Ternivskay and Oktyabrskay mines. Sampling of *C. demersum* plants took place in September 2019 at experimental sites located above the discharge of return water (rain water and meltwater) in the places of discharge of return water (rain water and meltwater) and below the discharge of return water (rain water and meltwater). The content of chlorophylls (Chl *a*, Chl *b*, and total chlorophyll) has been determined using the J. Wintermans F. G. M. method. De Mots A. (1965) in ethanol extracts of tree leaves using the KFK-3 spectrophotometer. The results were mathematically processed using the variable-based statistical method. The significance of differences between the experimental data obtained and the control data was evaluated using the Student's *t*-test. The null hypothesis was rejected at $P \leq 0.05$. All calculations were performed using the Statistica 6.0 software package. The study has revealed that the chlorophyll content and the ratio of chlorophyll forms (Chl *a*/Chl *b*) varied in *C. demersum* leaves depending on the influence of both mines. Taking into account the informative content of plastid pigments in the *C. demersum* leaves and the sensitivity of the species to anthropogenic pollution, its use as a bioindicator in the assessment of the ecological state of reservoirs in urban areas is promising. *Key words:* *Ceratophyllum demersum*, aquatic plants, photosynthesis, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, water pollution, biomonitoring.

Постановка проблеми. Кількість хімічних елементів, що надходять у навколишнє середовище в результаті техногенезу, останнім часом значно перевищує рівень їхнього природного надходження. Включаючись у біогеохімічні цикли міграції, антропогенні потоки призводять до швидкого поширення

забруднюючих речовин в компонентах міського ландшафту. Обсяги поллютантів, що містять важкі метали (ВМ) та синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), щорічно зростають і завдають шкоди навколишньому середовищу, порушуючи існуючу екологічну рівновагу [12; 13]. До прикладу, надлишок

свинцю в рослинах, пов'язаний з високою його концентрацією в ґрунті, пригнічує дихання і процес фотосинтезу, іноді призводить до збільшення вмісту кадмію та зниження надходження цинку, кальцію, фосфору, сірки. Унаслідок цього відбувається зменшення урожайності та різке погіршення якості виробленої продукції. Зовнішніми симптомами негативного впливу свинцю є поява темно-зеленого листя, скручування старого листя, в'янення листя [10].

Актуальність дослідження. Інтерес до вищих водних рослин (макрофітів) обумовлений їх роллю у водних екосистемах. Вважається, що вища водна рослинність у водоймах відіграє подвійну роль: позитивну – збагачення водної маси киснем, органічними і мінеральними речовинами, і негативну – накопичення в період розпаду рослинних залишків у воді легкоокиснюючихся органічних і токсичних речовин, природу яких до теперішнього часу остаточно не з'ясовано. У літературі відомості про пігментний склад більшості прибережно-водних і водних рослин незначні [14; 17], а детальні дослідження пігментного комплексу виконані на обмеженій кількості найбільш поширених видів гідрофітів [18].

Адаптаційні процеси до стресових факторів залежать головним чином від оптимального функціонування асиміляційного апарату рослини, одним із показників якого є рівень фотосинтетичних пігментів і їхнє співвідношення [8]. Уміст пластидних пігментів та їх стан визначають стійкість, життєз-

датність і продуктивність рослин [16]. Порушення фотосинтезу є найпершими невидимими пошкодженнями, які з'являються у рослин, призводячи до появи видимих морфологічних і анатомічних змін, пов'язаних із руйнуванням пігментних комплексів [7]. Зменшення вмісту пластидних пігментів у листках в міру зростання антропогенного навантаження на екотопи зумовлено здатністю окремих екоотоксикантів, зокрема важких металів, акумулюватися у хлоропластах, інтенсифікувати процеси вільнорадикального окислення ліпідів їх мембран та інгібувати синтез фотосинтетичних ферментів [9; 11; 14].

Метою даної роботи було визначити вміст і співвідношення хлорофілів у листках кушира зануреного (*Ceratophyllum demersum* L.) з різних ділянок р. Сакагань.

Методологія дослідження. Відбір зразків рослин *C. demersum* здійснювали у вересні 2019 року на 6 ділянках р. Сакагань поблизу шахт «Тернівська» та «Октябрська». Дослідні ділянки (ДД) були розташовані вище випусків зворотних (дощових і талих) вод (48°04'00.2"N 33°31'15.6"E – ДД №1; 47°59'24.6" N 33°25'50.3"E – ДД №4), у місцях випусків зворотних (дощових і талих) вод (48°03'55.0"N 33°31'29.9"E – ДД №2; 47°59'25.7" N 33°25'50.0"E – ДД №5) та нижче випусків зворотних (дощових і талих) вод (48°03'56.6"N 33°31'12.6"E – ДД №3; 47°59'31.0" N 33°26'07.9"E – ДД №6) (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема розташування дослідних ділянок поблизу шахт «Тернівська» (1, 2, 3) та «Октябрська» (4, 5, 6) у м. Кривий Ріг

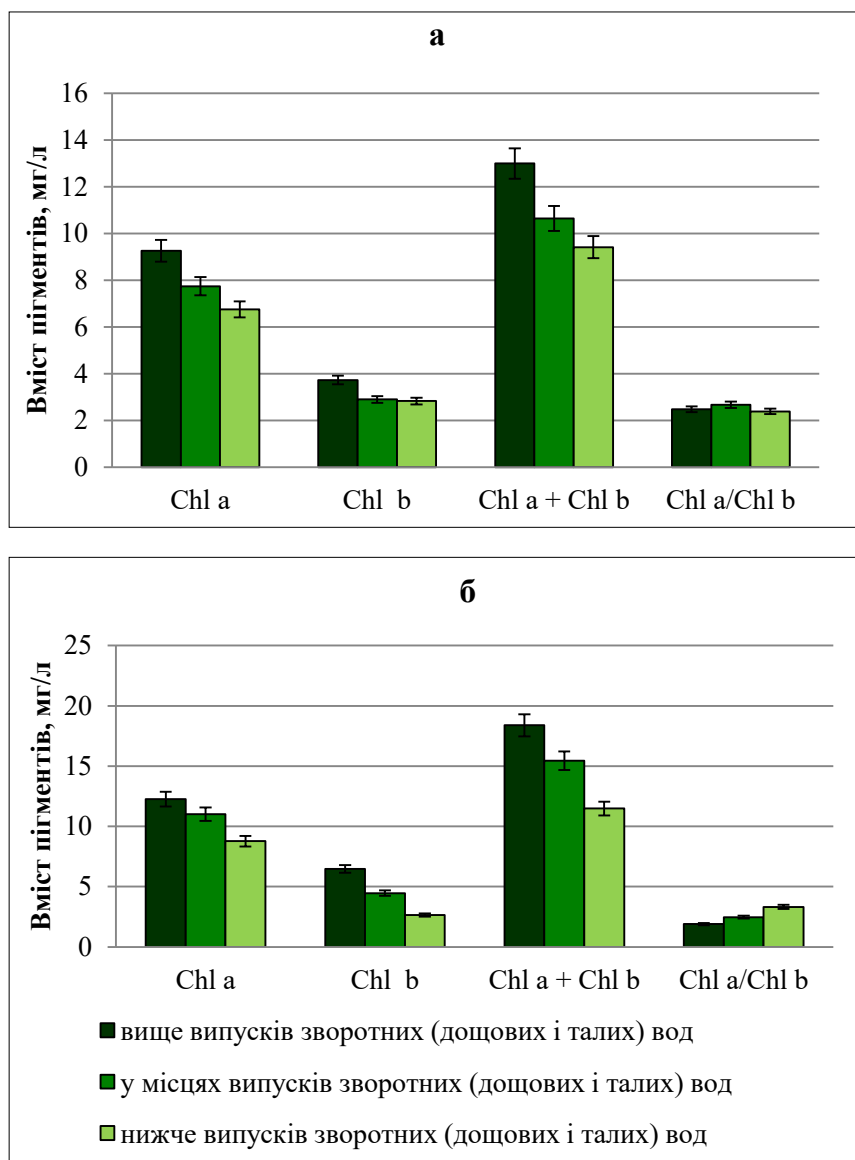


Рис. 2. Вміст і співвідношення пігментів у листках *C. demersum* з різних ділянок р. Саксагань у зоні впливу діяльності шахт «Тернівська» (а) та «Октябрська» (б): Chl a – хлорофіл a, Chl b – хлорофіл b, Chl a + Chl b – сума хлорофілу a та хлорофілу b, Chl a/Chl b – співвідношення хлорофілу a до хлорофілу b

Вміст хлорофілів (Chl a, Chl b і загального хлорофілу) визначали за методом Wintermans J. F. G. M. De Mots A. (1965) [4] в етанольних екстрактах листків дерев за допомогою спектрофотометра «КФК-3». Концентрацію хлорофілів визначали за рівняннями [2]:

$$C_{\text{Chl } a} \text{ (мг/л)} = 13,70 D_{665} - 5,76 D_{649}$$

$$C_{\text{Chl } b} \text{ (мг/л)} = 25,80 D_{649} - 7,60 D_{665}$$

$$C_{\text{Chl } a+b} \text{ (мг/л)} = 6,10 D_{665} + 20,04 D_{649}$$

де: $C_{\text{Chl } a}$ – концентрація хлорофілу a; $C_{\text{Chl } b}$ – концентрація хлорофілу b; D_{665} – оптична густина екстракту за λ 665 нм; D_{649} – оптична густина екстракту за λ 649 нм.

Математичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом. Достовірність відмінності одержаних експериментальних даних із контрольними оцінювали за допомогою t-критерію

Стьюдента. Нульову гіпотезу відкидали при $P \leq 0,05$. Всі розрахунки проводили за допомогою програмного пакета Statistica 6,0.

Виклад основного матеріалу. Характер залежності функціонального стану рослин від умов їхнього росту й розвитку та пристосування до чинників зовнішнього середовища тісно пов'язаний зі складною природою фотосинтезу та, насамперед, особливістю функціонування пігментного апарату [1; 5; 6]. Хлоропласти представлені великою кількістю ферментних систем, що зумовлюють різноманіття біохімічних перетворень у цих структурних елементах протоплазми, у тому числі хлорофілом a і b. Дані вмісту головних фоторецепторів рослинних клітин дозволяють проаналізувати їх взаємодію з чинниками зовнішнього середовища.

Встановлено, що вміст хлорофілів та співвідношення форм хлорофілу (Chl *a*/Chl *b*) варіювали в листках *C. demersum* залежно від умов впливу діяльності обох шахт (рис. 2). У листках рослин кушира зануреного з ділянок у місцях та нижче випусків зворотних (дощових і талих) вод поблизу шахти «Тернівська» відмічено достовірне зниження вмісту хлорофілу *a* і *b* та їхньої суми відповідно на 16 і 27 %, 22 і 24 % й 18 і 28 % у порівнянні з варіантами з ділянки вище випусків зворотних (дощових і талих) вод (рис. 2, а).

Зменшення співвідношення Chl *a*/Chl *b* у листках *C. demersum* з ділянки у місцях випусків зворотних (дощових і талих) вод порівняно з листками з ділянки вище випусків зворотних (дощових і талих) вод вказує на підвищення кількості Chl *b*, який виконує допоміжну і захисну роль [15], сприяє підтриманню фотосинтетичної функції.

У зоні впливу шахти «Октябрська» у листках кушира зануреного з ділянок у місцях та нижче випус-

ків зворотних (дощових і талих) вод зафіксовано зменшення концентрації хлорофілу *a* і *b* та їхньої суми відповідно на 10 і 28 %, 31 і 60 % й 16 і 38 % у порівнянні з варіантами з ділянки вище випусків зворотних (дощових і талих) вод (рис. 2, б). Збільшення співвідношення Chl *a*/Chl *b* від 1,9 у листках *C. demersum* з ділянки вище випусків зворотних (дощових і талих) вод до 2,47 і 3,32 у листках макрофіта з ділянок у місцях та нижче випусків зворотних (дощових і талих) вод вказує на більш значну редукцію вмісту хлорофілу *b*. Отримані результати узгоджуються із зауваженням J. A. Ramirez-Valiente, K. Koehler, J. Cavender-Bares [3], що фотосинтез – це один із найбільш чутливих процесів до стресів навколишнього середовища.

Головні висновки. Враховуючи інформативність показників вмісту пластидних пігментів у листках *C. demersum* і чутливість виду до антропогенного забруднення, перспективним є його використання як біоіндикатора при здійсненні оцінки екологічного стану водойм урбанізованих територій.

Література

1. Brouwer B., Ziolkowska A., Bagard M., Keech O., Gardeström P. The impact of light intensity on shade-induced leaf senescence. *Plant Cell Environ.* 2012. № 35 (6). P. 1084–1098.
2. Current Protocols in Food Analytical Chemistry / E. Wrolstad (Editor-in-Chief; Oregon State University), Terry E. Acree (Cornell University), Eric A. Decker (University of Massachusetts) and other. 2001. 1000 p.
3. Ramirez-Valiente J. A., Koehler K., Cavender-Bares J. Climatic origins predict variations in photoprotective leaf pigments in response to drought and low temperature in live oaks (*Quercus series virentes*). *Tree Physiology.* 2015. № 35 (1). P. 521–534.
4. Wintermans J. F. G. M., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Etanol. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1965. № 109 (2). P. 448–453.
5. Zhang H., Zhong H., Wang J., Sui X., Xu N. Adaptive changes in chlorophyll content and photosynthetic features to low light in *Physocarpus amurensis* Maxim and *Physocarpus opulifolius* «Diabolo». *Peer J.* 2016. №4: e2125.
6. Болондинский В. К., Виликайнен Л. М. Исследование CO₂-газообмена деревьев карельской березы в условиях низкой освещенности в посадках с разным плодородием почвы. *Труды Карельского научного центра РАН.* 2017. № 5. С. 52–65.
7. Глібовицька Н. І. Вплив антропогенного забруднення довкілля на вміст пластидних пігментів у листках липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.). *Вісник Львівського університету. Серія біологічна.* 2014. Вип. 65. С. 197–201.
8. Гнатів П.С. Функціональна діагностика в дендроекології. Львів: Камула, 2014. 336 с.
9. Дымова О. В., Далькэ И. В. Фотосинтетические пигменты и CO₂-газообмен водных макрофитов в подзоне средней тайги. *Известия Коми научного центра УрО РАН.* 2016. № 1(25). С. 37–44.
10. Дымова О. В., Далькэ И. В. Фотосинтетические пигменты и CO₂-газообмен водных макрофитов в подзоне среней тайги. *Известия Коми научного центра УрО РАН.* 2016. № 1(25). С. 37–44.
11. Ипатова В. И. Адаптация водных растений к стрессовым абиотическим факторам среды. Москва: Графикон-принт, 2005. 224 с.
12. Кравчинський Л. Р. Характеристика кисневого режиму поверхневих вод басейну р. Ингулець. *Наук. праці УкрНДГМІ,* 2009, Вип. 258. С. 149–159.
13. Макурина О. Н., Розина С. А., Розенцвев О. А. Динамика ферментативной активности и пигментного состава в тканях водного погруженного растения *Ceratophyllum demersum* в условиях воздействия ксенобиотиков и последующей реабилитации. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2015. Т. 17, № 4(5). С. 1000–1007.
14. Новаковская Т. В., Дымова О. В. Видовое разнообразие и пигментный комплекс макрофитов водоемов окрестностей г. Сыктывкара (Республика Коми). *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского.* 2012. № 5 (1). С. 127–134.
15. Павлов И. Н. Влияние выбросов алюминиевого завода на содержание хлорофилла в листьях деревьев и кустарников. Непрерывное экологическое образование и экологические проблемы. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СибГТУ, 2004. Т. 1. С. 164–170.
16. Пасічна О. О. Використання макролітів для біомоніторингу та очистки водного середовища за умови комбінованого забруднення важкими металами. *Гидробиол. журн.* 2013. № 4. Т. 49. С. 78–86.
17. Ронжина Д. А., Некрасова Г. Ф., Пьянков В. И. Сравнительная характеристика пигментного комплекса надводных, плавающих и погруженных листьев гидробионтов. *Физиология растений.* 2004. Т. 51. С. 27–34.
18. Шерстнева О. А. Пигментный комплекс подводных листьев некоторых видов *Potamogeton (Potamogetonaceae)* в разных условиях освещенности. *Ботанический журнал.* 2004. Т. 89. № 5. С. 821–829.

ПРО РЕГУЛЮВАННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВІД СЕРЕДНІХ СПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ГАЗОМОТОРНИХ КОМПРЕСОРАХ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Вольчин І.А., Кривошеєв С.І.

Інститут вугільних енерготехнологій НАН України
вул. Андріївська, 19, 04070, м. Київ
volchyn@gmail.com, lksi@ukr.net

Україна та країни ЄС у 2014 році підписали Угоду про асоціацію, яка включає гармонізацію українського екологічного законодавства з європейським щодо захисту навколишнього природного середовища. В 2015 р. в ЄС прийнято екологічну Директиву 2015/2193/EU про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин в атмосферу від середніх спалювальних установок (ССУ), номінальна теплова потужність яких становить від 1 до 50 МВт. Ця директива встановлює значно жорсткіші значення граничнодопустимих викидів діоксиду сірки, оксидів азоту і пилу від ССУ, ніж нині діючі нормативи в Україні відповідно до наказу Мінприроди від 27.06.2006 № 309. Для нових ССУ вимоги Директиви мають діяти після 20.12.2018. Для існуючих ССУ в країнах ЄС термін введення в дію вимог Директиви становить від 01.01.2025 до 01.01.2030 в залежності від потужності установки. Наразі в нафтогазовій галузі України експлуатується багато газотурбінних установок та газомоторних компресорів. Аналіз викидів від газомоторних компресорів показав, що їх фактичні викиди (зокрема, викиди оксидів азоту) не відповідають загальним вимогам наказу № 309. Для такого обладнання доцільно розробити поточні та перспективні технологічні нормативи допустимих викидів. Поточні нормативи врахують технічний стан існуючих спалювальних установок та забезпечать правове регулювання їх діяльності, а перспективні нормативи законодавчо визначають терміни впровадження в Україні вимог Директиви 2015/2193/EU. На прикладі викидів від газомоторних компресорів виконано оцінку можливих значень поточних нормативів викидів оксидів азоту. Перспективні нормативи мають відповідати вимогам Директиви. Для викидів монооксиду вуглецю доцільно не встановлювати технологічні нормативи. *Ключові слова:* середні спалювальні установки, газомоторні компресори, забруднюючі речовини, викиди, технологічні нормативи.

On regulation of pollutants emissions from medium combustion plants on gas engine compressors of oil and gas industry of Ukraine. Volchyn I., Kryvosheiev S.

In 2014, Ukraine and the EU signed an Association Agreement, which includes the harmonization of Ukraine's environmental legislation with European legislation on environmental protection. In 2015, the EU adopted Directive 2015/2193/EC on the limitation of emissions of certain pollutants into the atmosphere from medium combustion plants (MCPs) with a rated thermal input from 1 to 50 MW. This Directive establishes much more stringent emission limit values for sulfur dioxide, nitrogen oxides and dust than allowed by the emission standards currently in force in Ukraine in accordance with Order No. 309 of the Ministry of the Environment of Ukraine dated June 27, 2006. For new MCPs, the requirements of the Directive are effective starting 20.12.2018. In the EU countries, for existing MCPs the implementation of the requirements of the Directive shall be effected starting from 01.01.2025 to 01.01.2030, depending on the rated thermal input of the combustion plant. At present, Ukrainian oil and gas industry operates numerous gas turbine units and gas engine compressors. The analysis of emissions from gas-engine compressors showed that their actual emissions (in particular, emissions of nitrogen oxides) do not meet the requirements of Order No. 309. For such equipment, it is advisable to develop current and prospective emission standards. Current emission standards shall take into account the technical condition of the existing combustion plants and provide legal regulation of their current activity, while the prospective emission standards will legally define the timing of implementation of the requirements of Directive 2015/2193/EU in Ukraine. On the example of emissions from gas engine compressors, the estimation of possible values of current emission standards of nitrogen oxides is provided. Prospective standards must comply with the requirements of the Directive. For carbon monoxide emissions it is advisable to not set technological standards. *Key words:* medium combustion plants, gas engine compressors, pollutants, emissions, technological standards.

В Україні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря регулюються нормативними актами на основі Закону України «Про охорону атмосферного повітря» [1]. 27.06.2006 р. було затверджено наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 309 (наказ 309) «Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» [2], в якому визначено граничні значення викидів (нормативи граничнодопустимих викидів) забруднюючих речовин:

ангідрид сірчистий	– 500 мг/нм ³ ;
оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту	– 500 мг/нм ³ ;
речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом	– 50 мг/нм ³ ;
оксид вуглецю	– 250 мг/нм ³ .

Встановлені наказом 309 значення нормативів граничнодопустимих викидів для існуючих стаціонарних джерел викиду мають базовий рамковий

формат і не враховують технічні та економічні можливості операторів щодо їх досягнення. Між тим Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2001 № 1780 (Постанова 1780) «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» дозволяє встановлення «поточних технологічних нормативів для діючих окремих типів обладнання, споруд на рівні підприємств з найкращою існуючою технологією виробництва аналогічних за потужністю технологічних процесів» [3]. При цьому має бути забезпечено «дотримання нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря з урахуванням економічної доцільності, рівня технологічних процесів, технічного стану обладнання та газоочисних установок, вимог національного законодавства і законодавства Європейського Союзу».

Нафтопереробне та газопереробне устаткування нафтогазової галузі України входить до пункту 1 «Переліку типів устаткування, для яких розробляються нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» відповідно до Наказу Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 317 від 16.08.2004 [4]. Тому для нього доцільне розроблення граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин (технологічних нормативів допустимих викидів – ТН) за умови застосування пунктів 5 і 6 Постанови 1780 [3]:

«5. Для нових стаціонарних джерел і таких, що проектується, будуються або модернізуються, окремих типів обладнання, споруд нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин розробляються з урахуванням передових вітчизняних і світових технологій та досягнень у розробленні технологій зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

У разі коли законодавством Європейського Союзу для нових стаціонарних джерел і таких, що проектується, будуються або модернізуються, встановлено нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин, в Україні застосовуються норми цього законодавства.

6. Нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин для діючих стаціонарних джерел встановлюються за середніми показниками викидів, визначених для типів устаткування, де обсяги таких викидів є найменшими:

для 12 відсотків типів устаткування – за наявності 30 чи більше типів;

для 5 типів устаткування – за наявності менш як 30 типів.»

Для великих газотурбінних установок, які використовуються в нафтогазовій промисловості України (номінальною тепловою потужністю понад 50 МВт) викиди забруднюючих речовин регулюються наказом Мінприроди від 16.02.2018 № 62 [5]

та Національним планом скорочення викидів від великих спалювальних установок [6]. Для нових великих газотурбінних установок гранично допустимі викиди забруднюючих речовин визначені як ТН згідно вимог Директиви 2010/75/EU про промислові викиди [7].

В 2014 році Україна та країни ЄС підписали Угоду про асоціацію [8], яка передбачає, зокрема, гармонізацію українського екологічного законодавства з пріоритетним європейським стосовно захисту навколишнього природного середовища.

В 2015 році в Європейському Союзі прийнято нову екологічну Директиву 2015/2193/EU (Директива) про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин від середніх спалювальних установок (ССУ), номінальна теплова потужність (НТП) яких становить від 1 до 50 МВт [9]. Ця Директива встановлює правила контролю викидів діоксиду сірки SO_2 , оксидів азоту NO_x і пилу в атмосферне повітря від ССУ, що знижує викиди в повітря і потенційні ризики для здоров'я людини і навколишнього середовища від таких викидів. Нею встановлюються також правила моніторингу викидів вище вказаних газів та оксиду вуглецю CO – чадного газу. Директивою визначено граничні значення викиду забруднюючих речовин для нових та існуючих ССУ (для газових турбін та двигунів вони приведені на 15 % кисню в сухих димових газах).

Відповідно до Директиви після 20.12.2018 викиди в атмосферу SO_2 , NO_x та пилу від нової ССУ (газової турбіни або двигуна) не повинні перевищувати граничних значень викидів (mg/nm^3), які визначені у таблиці 1.

В таблиці 2 наведено граничні значення викидів (mg/nm^3) забруднюючих речовин для існуючих двигунів та газових турбін, які є чинними для ССУ із НТП не більше 5 МВт після 01.01.2030, а для спалювальних установок із НТП більше 5 МВт – до 01.01.2025.

В ЄС до 01.01.2030 ССУ із НТП більше 5 МВт, які використовуються для приводу газових компресорних станцій і необхідні для забезпечення безпеки національної газотранспортної системи, можуть бути звільнені від дотримання вимог таблиці 2.

В нафтогазовій галузі України наявна велика кількість газомоторних компресорів, які обладнані двигунами із НТП до 50 МВт. Найбільш вживаними є газомоторні компресори різних модифікацій типу 10 ГК [10]. Модифікований газомоторний компресор типу 10 ГК(Н) складається з двотактного газового двигуна з V-подібним розташуванням циліндрів і поршневого компресора. Компресор і двигун мають загальну фундаментну раму і колінчастий вал. Потужність газового двигуна компресора 10 ГК дорівнює 735 кВт (1000 кінських сил – к.с.). Він повністю уніфікований з газомоторним компресором 10 ГКН і відрізняється тільки відсутністю системи наддуву. Наявність наддуву дозволяє збільшити потужність газового двигуна, величина якої становить для 10 ГКН 1100 кВт (1500 к.с.) [10].

Таблиця 1

Граничні значення викидів для нових газових турбін та двигунів [9]

Забруднююча речовина	Тип установки	Газойль (дизпаливо)	Інше рідке паливо	Природний газ	Інше газоподібне паливо
Діоксид сірки	Двигуни та газові турбіни	–	120 ⁽¹⁾	–	15 ⁽²⁾
Оксиди азоту	Двигуни ⁽³⁾⁽⁴⁾	190 ⁽⁵⁾	190 ⁽⁵⁾⁽⁶⁾	95 ⁽⁷⁾	190
	Газові турбіни ⁽⁸⁾	75	75 ⁽⁹⁾	50	75
Пил	Двигуни та газові турбіни	–	10 ⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾	–	–

Мала ізольована система (мала ІС) означає будь-яку систему, річне електричне споживання якої нижче 3000 ГВтгод, де менше 5% річного споживання отримується за рахунок взаємозв'язку з іншими системами

Мікроізольована система (мікро ІС) означає будь-яку систему з річним електричним споживанням нижче 500 ГВтгод, де немає зв'язку з іншими системами

⁽¹⁾ До 01 січня 2025 р. для дизельних двигунів, які частинами малих ІС або мікро ІС

⁽²⁾ 40 мг/нм³ у випадку біогазу

⁽³⁾ Двигуни, що працюють від 500 до 1500 годин на рік, можуть бути звільнені від дотримання цих граничних значень викидів, якщо вони застосовують первинні заходи для обмеження викидів NOx та дотримання граничних значень викидів, викладених у п. (4)

⁽⁴⁾ До 01.01.2025 в малих ІС та мікро ІС: для двигунів на двох паливах 1850 мг/нм³ у рідкому режимі та 380 мг/нм³ в газовому режимі; 300 мг/нм³ для дизельних двигунів і не більше 1200 об/хв. із загальною тепловою потужністю не більше 20 МВт та 1850 мг/нм³ для дизельних двигунів із загальною тепловою потужністю більше 20 МВт; 750 мг/нм³ для дизельних двигунів більше 1200 об/хв

⁽⁵⁾ 225 мг/нм³ для двигунів на двох паливах в рідкому режимі

⁽⁶⁾ 225 мг/нм³ для дизельних двигунів з номінальною тепловою потужністю не більше 20 МВт і не більше 1200 об/хв

⁽⁷⁾ 190 мг/нм³ двигунів на двох паливах в газовому режимі

⁽⁸⁾ Граничні значення викидів застосовуються при навантаженні більше 70 %

⁽⁹⁾ До 01.01.2025 550 мг/нм³ для установок, які є частинами малих ІС та мікро ІС

⁽¹⁰⁾ До 01.01.2025 75 мг/нм³ для установок, які є частинами малих ІС та мікро ІС

⁽¹¹⁾ 20 мг/нм³ у разі установок з загальною номінальною тепловою потужністю від 1 до 5 МВт

Таблиця 2

Граничні значення викидів для існуючих газових турбін та двигунів

Забруднююча речовина	Тип установки	Газойль (дизпаливо)	Інше рідке паливо	Природний газ	Інше газоподібне паливо
Діоксид сірки	Двигуни та газові турбіни	–	120	–	15 ⁽¹⁾⁽²⁾
Оксиди азоту	Двигуни	190 ⁽³⁾⁽⁴⁾	190 ⁽³⁾⁽⁵⁾	190 ⁽⁶⁾	190 ⁽⁶⁾
	Газові турбіни ⁽⁷⁾	200	200	150	200
Пил	Двигуни та газові турбіни	–	10 ⁽⁸⁾	–	–

⁽¹⁾ До 01 січня 2025 р. для дизельних двигунів, які частинами малих ІС або мікро ІС

⁽²⁾ 40 мг/нм³ у випадку біогазу

⁽³⁾ Двигуни, що працюють від 500 до 1500 годин на рік, можуть бути звільнені від дотримання цих граничних значень викидів, якщо вони застосовують первинні заходи для обмеження викидів NOx та дотримання граничних значень викидів, викладених у п. (4)

⁽⁴⁾ До 01.01.2025 в малих ІС та мікро ІС: для двигунів на двох паливах 1850 мг/нм³ у рідкому режимі та 380 мг/нм³ в газовому режимі; 300 мг/нм³ для дизельних двигунів і не більше 1200 об/хв. із загальною тепловою потужністю не більше 20 МВт та 1850 мг/нм³ для дизельних двигунів із загальною тепловою потужністю більше 20 МВт; 750 мг/нм³ для дизельних двигунів більше 1200 об/хв

⁽⁵⁾ 225 мг/нм³ для двигунів на двох паливах в рідкому режимі

⁽⁶⁾ 225 мг/нм³ для дизельних двигунів з номінальною тепловою потужністю не більше 20 МВт і не більше 1200 об/хв

⁽⁷⁾ 190 мг/нм³ двигунів на двох паливах в газовому режимі

⁽⁸⁾ Граничні значення викидів застосовуються при навантаженні більше 70 %

Газомоторні компресори типу 10 ГКМА і 10 ГКНА є модифікаціями відповідно установок 10 ГКМ і 10 ГКН, які обладнані системою автоматики «Компресор», що дозволяє створити повністю автоматизовану компресорну станцію.

Для розрахунку НТП всієї спалювальної установки треба поділити величину потужності двигуна на його усереднений ККД – 0.36 [10], що дає НТП установок 10 ГК та 10 ГКН 2.0 та 3.1 МВт, відповідно. Аналогічно можна розрахувати НТП двох установок з газовим двигуном Caterpillar G3412LE, знаючи ККД двигуна – 0.357, і вона становитиме 1.3 МВт. Таким чином, рецензований парк газомоторних компресорів входить у діапазон середніх спалювальних установок. В них як паливо використовується природний газ, технічний пропан та суміш нафтового та природного газів.

Для кожного класу двигунів і кожного палива було підраховано середнє значення та значення середнього квадратичного відхилення даних про величини викидів (мг/нм³) забруднюючих речовин, які наведені в таблиці 3.

До уваги не бралися спалювальні установки, викиди забруднюючих речовин на яких суттєво відрізнялися від інших.

З аналізу даних таблиці 3 можна побачити, що практично всі ССУ газомоторних компресорів не

задовольняють вимогам наказу 309, їх використання формально не відповідає існуючим нормам екологічного законодавства. Єдиною нормативною можливістю їх повернення у законодавче поле є розроблення і встановлення окремих поточних і перспективних ТН граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин для спалювальних установок газомоторних компресорів.

В таблиці 4 наведено дані про діапазон значень викидів забруднюючих речовин для існуючих спалювальних установок газомоторних компресорів, які розраховані відповідно до пункту 6 Постанови 1780.

Аналіз даних таблиці 4 показує, що принципово можливе встановлення поточних ТН граничнодопустимих викидів (наприклад оксидів азоту) для існуючих спалювальних установок газомоторних компресорів на рівнях (мг/нм³)

При використанні суміші нафтового та природного газів	– 2244
При використанні технічного пропану	– 2345
При використанні природного газу	– 969

Поточні ТН граничнодопустимих викидів діоксиду сірки та пилу для спалювальних установок газомоторних компресорів потрібно встановити за даними таблиці 2, а поточні ТН граничнодопустимих викидів монооксиду вуглецю взагалі встановлювати

Таблиця 3

Аналіз викидів від ССУ на газомоторних компресорах

Тип установки	Паливо	Кількість установок	Забруднююча речовина	Діапазон значень	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення
10ГК(Н)	суміш нафтового та природного газів	33	Оксиди азоту	2212-3291	2551	356
			Оксид вуглецю	484-1151	943	166
10ГК(Н)	технічний пропан	7	Оксиди азоту	1565-2406	2091	351
			Оксид вуглецю	521-1031	816	210
10ГК(Н)	природний газ	44	Оксиди азоту	912-3203	1461	433
			Оксид вуглецю	284-1200	704	145
Caterpillar G3412LE	природний газ	2	Оксиди азоту	2632-3327	2980	347
			Оксид вуглецю	2292-3056	2674	382

Таблиця 4

Найнижчі значення викидів для ССУ на газомоторних компресорах

Тип установки	Паливо	Забруднююча речовина	Діапазон кращих значень	Середнє значення	Директива 2015/2193/ЄС
10ГК(Н)	суміш нафтового та природного газів	Оксиди азоту	2212-2244	2535	225 ¹
		Оксид вуглецю	484-612	523	
10ГК(Н)	технічний пропан	Оксиди азоту	1565-2345	1972	225 ¹
		Оксид вуглецю	521-1013	732	
10ГК(Н)	природний газ	Оксиди азоту	912-969	947	225 ¹
		Оксид вуглецю	284-364	315	
Caterpillar G3412LE	природний газ	Оксиди азоту	2632-3327	2980	225 ¹
		Оксид вуглецю	2292-3056	2674	

¹ Значення відповідно до примітки 6 Таблиці 2

недоцільно, оскільки цього не вимагає європейське законодавство.

Перспективні ТН граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин для існуючих спалювальних установок газомоторних компресорів із НТП менш ніж 5 МВт мають бути встановлені на рівні даних Таблиці 2 (як для існуючих двигунів) з граничним терміном введення в дію 01.01.2030, відповідно до вимог Директиви 2015/2193/EU.

Для нових спалювальних установок газомоторних компресорів поточні ТН граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин після 20.12.2018 вже повинні відповідати вимогам Директиви 2015/2193/EU (табл. 1).

Висновки

1. Європейська Директива 2015/2193/EU про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин від середніх спалювальних установок, яка має пріоритет над національним законодавством, встановила граничні значення викидів оксидів азоту в атмосферне повітря для нових ССУ (нові двигуни на природному газі – 95 мг/нм³, на іншому газоподібному паливі – 190 мг/нм³), починаючи з 20.12.2018.

2. Для існуючих газових двигунів тепловою потужністю не більше 5 МВт на природному газі або іншому газоподібному паливі) граничні значення викидів оксидів азоту мають бути встановлені на рівні 225 мг/нм³, починаючи з 01.01.2030, і визначені як перспективні ТН.

3. До цього терміну граничні значення викидів оксидів сірки і азоту, а також пилу, від існуючих ССУ мають регулюватись вимогами Наказом 309. Проте фактичні значення викидів оксидів азоту від існуючих спалювальних установок газомоторних компресорів значно перевищують граничнодопустимі. Правове врегулювання даної проблеми можливе через розроблення та впровадження поточних ТН допустимих викидів, відповідно до Постанови 1780, з урахуванням реальних технічних та економічних можливостей операторів щодо їх досягнення і виконання. Це питання актуальне саме зараз, тому що поточні ТН розробляються на 10 років, а впровадження перспективних ТН станеться 01.01.2030.

4. Встановлення граничних значень викидів монооксиду вуглецю для ССУ в Україні недоцільне, оскільки в ЄС вони не встановлені взагалі через широкий діапазон навантажень середніх спалювальних установок.

Література

1. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16 жовтня 1992 р. (із змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> (дата звернення 14.02.2020).
2. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27 червня 2006 р. № 309 «Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06> (дата звернення 14.02.2020).
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2001 р. № 1780 «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1780-2001-p> (дата звернення 14.02.2020).
4. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 16 серпня 2004 р. № 317 «Про затвердження Переліку типів устаткування, для яких розробляються нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1102-04> (дата звернення 14.02.2020).
5. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів від 16 лютого 2018 р. № 62 «Про внесення змін до наказу Мінприроди від 22 жовтня 2008 року № 541». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0290-18> (дата звернення 14.02.2020).
6. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 796-р «Про Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80#n8> (дата звернення 14.02.2020).
7. DIRECTIVE 2010/75/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (Recast). *Official Journal of the European Union*. 17.12.2010. L 334/17-119.
8. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Ратифіковано із заявою Законом № 1678-VII від 16.09.2014. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011. (дата звернення 14.02.2020).
9. DIRECTIVE (EU) 2015/2193 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants. *Official Journal of the European Union*. 28.11.2015. L 313/1-19.
10. Берлин М.А., Гореченков В.Г., Волков Н.П. Переработка нефтяных и природных газов. Москва : Химия, 1981. 472 с.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НОРМАТИВУ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ ПІДПРИЄМСТВОМ

Дмитрієва Є.Р.¹, Лукашов Д.В.²

¹ННЦ «Інституту біології та медицини»

Київського національного університету імені Тараса Шевченка
пр. Академіка Глушкова, 2, 02000, м. Київ

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка
пр. Академіка Глушкова, 2, 02000, м. Київ

j.shmatova@gmail.com, ecologyknu@gmail.com

У 2010 році Генеральна Асамблея ООН чітко визнала право людини на воду і санітарію. Для будь-якої країни питання забезпечення питною водою є питанням стратегічної безпеки. На сучасному етапі, в умовах зростаючого дефіциту якісної питної води та кліматичних змін, першочерговим заходом повинно бути її раціональне використання та всебічне збереження. Законодавством України передбачено лімітоване використання води різноманітними підприємствами, з метою її раціонального використання та всебічного збереження. Для забезпечення збереження та відтворення водних ресурсів передбачені різноманітні організаційно-економічні заходи, серед яких – видача дозволів на спеціальне водокористування на основі розрахунків обґрунтування потреби у воді. Для отримання даного дозволу необхідним є тривалий розрахунок, який вимагає значних зусиль та часу і створює певні труднощі для його своєчасного оформлення. В Україні на сьогодні відсутні програмні рішення для автоматизації розрахунку нормативу використання води підприємствами. Для розробки програмного продукту виникає необхідність врахування місцевого законодавства та принципів, за якими здійснюється водокористування. Відповідно до визначених вимог, нами було створено програмний продукт, який дозволяє автоматизувати розрахунок нормативу використання води підприємствами з автоматичним заповненням затвердженій міністерством форми обґрунтування потреби у воді, відповідно до чинного законодавства, що прискорює сам процес розрахунку та зменшує вплив людського фактору на результати опрацювання великих масивів даних. Створений додаток є адаптованим під законодавство України й може використовуватися на території всієї держави. На сьогодні не виявлено аналогів, які б виконували функції, що вирішує розроблений додаток. *Ключові слова:* водокористування, програмний продукт, автоматизація, розрахунок, потреба у воді.

Use of automation measures for calculation of water use by an enterprise. Dmytriieva E., Lukashov D.

In 2010 the UN General Assembly clearly determined the human rights to water and sanitation. The issue of water supply is the strategic security for any country. First priority should be rational usage and universal water saving in a growing problem of climate changes and quality and deficit of water. The legislation of Ukraine provides for limited water usage by various enterprises for the purpose of rational water saving. Various organizational and economic measures are envisaged to ensure the conservation and reproduction of water resources, including the issuance of permits for special water use based on the calculations of justification for water demand. This permit requires a long calculation, which takes considerable time and effort and creates some difficulties for its timely completion. Market analysis for environmental programs has that in the field of water use only software is available to assess the quality of wastewater. There are currently no software solutions in Ukraine to automate the calculation of water usage by enterprises. In order to develop a software product, it is necessary to take into account local legislation and the principles by which water use is carried out. In accordance with certain requirements, we have created a software product that allows to automate the calculation of the standard of water usage by enterprises with automatic filling of the form of justification of the need for water in accordance with the current legislation, which speeds up the process of calculation and reduces the impact of human factors on the results of processing data. The created application is adapted to the legislation of Ukraine and can be used throughout the country. Today, no analogs have been found that would perform the functions of the developed application. *Key words:* water use, software, automation, calculation, water demand.

Постановка проблеми. Прісна вода для України є стратегічним ресурсом, адже вода – це один із найважливіших факторів економічного розвитку та життєдіяльності. На сучасному етапі, в умовах зростаючого дефіциту якісної питної води та кліматичних змін, першочерговим заходом повинно бути її раціональне використання та всебічне збереження.

Водні ресурси забезпечують не лише провадження виробничих процесів, а й задоволення протистих фізіологічних і санітарно-гігієнічних потреб людства. І саме вони виступають лімітуючим чинником розміщення населення і розвитку економіки.

Однак, недостатня увага до вирішення водогосподарсько-екологічних проблем, низькі технічні можливості їх розв'язання, руйнація водогосподарської інфраструктури, загострюють й так вкрай напружену ситуацію [1].

Актуальність дослідження. Для будь-якої країни питання забезпечення питною водою є питанням стратегічної безпеки.

У вигляді опадів на Землю, за підрахунками спеціалістів, потрапляє 110 тис. км³ води, значна її частина випаровується в атмосферу чи поглинається рослинами. Приблизно 42700 км³ поповнюють річковий

стік. Але об'єм світового річкового стоку на душу населення, у зв'язку з демографічним зростанням, щорічно скорочується. Наприклад, якщо в 1970 р. він становив близько 10000 км³, у 1995 р. – 7300 км³, то в 2007 р., зменшився до 6400 км³, а в 2009 р. – до 6200 км³ [2].

У 2010 році Генеральна Асамблея ООН чітко визнала право людини на воду і санітарію. Кожен має право на достатнє, безперервне, безпечне, фізично доступне і прийнятне за ціною водопостачання для особистих і побутових потреб.

Законодавством України передбачено лімітоване використання води різноманітними підприємствами, з метою її раціонального використання та всебічного збереження.

Для забезпечення охорони вод та відтворення водних ресурсів передбачені різноманітні організаційно-економічні заходи, серед яких – видача дозволів на спеціальне водокористування. Для отримання даного дозволу необхідним є нормативний розрахунок водокористування.

Процес розрахунку тривалий і вимагає значних зусиль та часу, що створює певні труднощі для своєчасного оформлення та створює передумови маніпулювання результатами розрахунків, тож виникла необхідність розробки автоматизованої системи розрахунку нормативу водоспоживання, адаптованої до чинного українського законодавства, що забезпечить її правомірне застосування на території держави.

Мета роботи: створення механізму, що забезпечить автоматизований розрахунок нормативів водокористування з автоматичним заповненням затвердженої міністерством форми обґрунтування потреби у воді, відповідно до чинного законодавства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Водні об'єкти та їх ресурси відіграють значну роль в сучасному соціально-економічному розвитку регіонів країни. Природні і антропогенні зміни характеристик їхнього режиму часто призводять до ризику негативного впливу вод на населення і господарство. Попередження або зменшення цих ризиків та підвищення безпеки водокористування багато в чому залежить від ефективності сучасного і майбутнього моніторингу стану водних об'єктів [3].

Доступні ресурси прісної води розміщені на континентах планети нерівномірно: США – 46 %, Азія – 34 %, Африка – 11 %, Європа – 8 %, Австралія – 1 %. В середньому, на одного жителя Землі припадає близько 13×10^3 м³ прісної води в рік [4].

При цьому, основна частина стоку припадає на декілька великих річок. Так, зокрема, 16 % переноситься Амазонкою, а в басейні Конго-Заїр зосереджено третину річкового стоку Африки. Крім того, навіть у регіонах, де течуть великі ріки, водозабезпеченість залежить від сезону і географічного розподілу водних ресурсів, коли одного року відбуваються великі повені, а другого, навпаки, посуха [5].

Щодо України, то водні ресурси тут формуються переважно за рахунок стоку річок Дніпра, Дністра, Південного Бугу, Сіверського Дінця, Тиси і Західного Бугу. Значна частина річкового стоку є транзитною з територій суміжних держав. На басейні Чорного й Азовського морів припадає 95,3 % всього річкового стоку і лише 4,7 % – це стік до Балтійського моря. Майже 65 % річкового стоку припадає на басейн Дніпра, 11 % – Дністра, 4 % – Сіверського Дінця, 3,5 % – Південного Бугу. Потенційні ресурси річкових вод становлять 209,8 км³, з яких приблизно 25 % формується на території України. Решта всіх вод – це припливи з Росії, Білорусі та Румунії. Отже, за запасами місцевих водних ресурсів (дещо більше 1 тис. м³ на 1 жителя) Україна – одна з найменш забезпечених у Європі країн [1].

Важливе значення в забезпеченні раціонального використання та охорони водних об'єктів відіграє державне управління. Державний облік вод ведеться для встановлення відомостей про кількість і якість вод, а також для встановлення даних про водокористування, на основі яких здійснюється розподіл води між водокористувачами та розробляються заходи щодо раціонального використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів [6].

Державний облік водокористування ведеться з метою систематизації даних про забір та використання вод, скидання зворотних вод та забруднюючих речовин, наявність систем оборотного водопостачання та їх потужність, а також про діючі системи очищення стічних вод та їх ефективність.

Державний облік та аналіз стану водокористування здійснюються шляхом подання водокористувачами звітів про водокористування.

Розрахунок водокористування відбувається на основі даних Державних будівельних норм (ДБН) «Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво» за формулою 1.1.

$$V=Q_x \cdot U \cdot d \cdot k / 1000 \quad (1.1)$$

де Q – середньорічні питомі добові витрати води на одиницю водоспоживання.

U – кількість водоспоживачів (приладів).

d – кількість робочих днів на рік.

k – коефіцієнт, що залежить від кліматичного району.

Для розрахунку використовують розрахункові (питомі) середні за рік добові витрати води, л/добу на одиницю виміру, що наведені у додатках до ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво» [8].

Проектування, будівництво й експлуатація систем промислового водопостачання повинні здійснюватися відповідно до основних нормативних актів у області охорони навколишнього середовища і здоров'я населення, до яких, перш за все, відносять:

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища, Водний кодекс України та інші нормативні акти, що встановлюють правові основи комплексного і раціонального використання й охорони водних об'єктів і покликані сприяти забезпеченню екологічної безпеки господарської та іншої діяльності, що може негативно впливати на стан навколишнього природного середовища.

За інформацією Укргідрометцентру, зараз на більшості річок України спостерігається низька водність і передбачається відсутність весняного водопілля цього року.

Статтю 45 Водного кодексу України передбачено обмеження або зміна прав водокористувачів у разі настання маловоддя.

За даними Держводагенства, Україна вперше за 120 років опинилася у ситуації, коли гідрометеорологічні умови можуть спричинити обмеження прав водокористувачів у використанні води.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. На українському ринку програмних продуктів екологічного спрямування широко використовується програма «ЕОЛ 2000», створена ТОВ «Софтфонд». Вона являє собою автоматизовану систему розрахунку розсіювання викидів шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери і реалізує «Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться в викидах підприємств. ОНД-86» з відображенням карти розсіювання викидів шкідливих речовин. Програма «ЕОЛ 2000» та інші її версії та компоненти рекомендовані до використання Міністерством охорони навколишнього природного середовища України. Обов'язковою системою вимогою є наявність Windows 32,64.

Розробниками ЕОЛ 2000 було, також, створено Інтернет-редакцію «Екозвіт». Вона націлена допомогти в підготовці документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів для отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для підприємств, установ, організацій та громадян-підприємців.

На основі програми «АРМ-ЕКО», яка була схвалена Міністерством екології України, створена вітчизняна система «ЕКОЛОГІЯ», яка була розроблена Державним підприємством «Державний науково-дослідний інститут автоматизованих систем у будівництві», та здатна значно полегшити і прискорити процес формування екологічної звітності (документів з інвентаризації джерел викидів та розділу ОВНС проектної документації), а також дозволяє проводити розрахунок розсіювання за затвердженими методиками ОНД-86.

Цікавим прикладом є київський проект «екоГІС-КИЇВ», який почав створюватися з кінця 1996 року. «екоГІС-КИЇВ» створений на основі пакета ArcView GIS та раніше згаданого пакета розрахунку забруднення приземного шару атмосфери

«ЕОЛ 2000». За її допомогою користувач може вирішувати цілий комплекс аналітичних задач. Отже, «екоГІС-КИЇВ» є не просто системою збору моніторингових досліджень, а й системою підтримки рішень.

Новизна. З урахуванням вище викладеного, можна зробити висновок, що в Україні відсутні програмні рішення для автоматизації розрахунку нормативу використання води підприємствами і що для розробки таких додатків необхідно враховувати місцеве законодавство та принципи, за якими здійснюється водокористування. Також, не зважаючи на те, що у сфері екології представлена досить велика кількість програмних продуктів для вирішення тих чи інших проблем, більшість з них мають певний рівень вимог, що робить неможливим їх до використання на традиційних обчислювальних пристроях.

Викладення основного матеріалу. Розробка здійснювалась мовою JavaScript з використанням платформи Node.js у серверній частині та бібліотеки React на клієнтській стороні. Для написання програмного коду було обрано текстовий редактор коду Visual Studio Code

В основі Node лежить автономна віртуальна машина JavaScript з розширеннями, що роблять її придатною для програмування загального призначення з упором на розробку серверів та додатків.

Зараз платформа Node швидко розвивається, і багато хто вважає її привабливою альтернативою традиційному підходу до розробки веб-додатків – на базі Apache, PHP, Python).

Однією з основних нефункціональних характеристик програмних продуктів є доступність. Для продуктів, що можуть бути використані без встановлення на обчислювальну машину, характеристики є наступними:

- наявність підключення до світової мережі Інтернет;
- наявність програми для перегляду веб-сторінок (програми сімейства веб-браузерів).

У багатьох операційних системах веб-браузери встановлені за замовчуванням. Відповідно до цього, програмні продукти, що розміщені у мережі Інтернет, можуть бути запуснені на будь-яких операційних системах де є наявним або встановленим додатково будь-який застосунок сімейства веб-браузерів.

Також, усі продукти, що розміщені у мережі Інтернет, можуть виконувати розрахунки на віддалених серверах. Таким чином, для виконання важких розрахунків, вимоги до характеристик користувальницьких обчислювальних машин можуть не висуватися.

Окрім того, наявність програмного продукту у мережі Інтернет не вимагає його використання користувачем лише з певної обчислювальної машини. Повна сесія роботи зберігається на сервері програмного застосунку та зі зміною обчислювальної машини або браузеру у межах тієї самої обчислювальної

машини є можливість продовжити роботу з програмним продуктом без додаткових налаштувань та встановлення програмного продукту до системи.

Відповідно до визначених вище характеристик програмного забезпечення, було прийнято рішення розробити новий програмний продукт доступним через мережу Інтернет.

Сам програмний продукт розроблений на двох рівнях:

– зовнішньому – необхідні описи, що інтерпретуються та виконуються веб-браузерами на стороні клієнта;

– внутрішньому – програмна частина, яка оброблює запити користувачів та формує, залежно від запиту, певного формату відповіді.

Розроблений додаток містить велику кількість даних, необхідність в яких для різних користувачів буде різною, залежно від напрямку діяльності підприємства, для якого необхідно здійснити розрахунок нормативу використання води. Тому дані було структуровано для зручності та виведено саме в додаток з динамічним завантаженням. Для того щоб не перевантажувати користувача текстом і не здійснювати пошук у великому переліку даних, є можливість звертатися лише до окремих необхідних категорій.

Під час запуску розробленого веб-додатку завантажуються категорія «Основна інформація про підприємство» (рис. 1), адже саме в ній присутні поля, обов'язкові для заповнення кожним користувачем додатку (відмічені знаком*), а саме:

- Місцезнаходження свердловини (рядкове значення).
- Днів роботи на рік (числове поле).
- Годин роботи на день (числове поле).
- Продуктивність свердловини (числове поле).

– Тип підприємства (Радіокнопка, або перемикач, – елемент інтерфейсу, який дозволяє користувачеві вибрати одну опцію (пункт) з визначеного набору (групи)).

Також у даній категорії є поля, що не є обов'язковими для заповнення:

– Навчально-освітні та спеціалізовані школи, професійно навчальні заклади, вищі навчальні заклади, інститути підвищення кваліфікації тощо з душовими при гімнастичних залах і їдальнями, які працюють на півфабрикатах.

– Науково-дослідні інститути, проектні та конструкторські організації, установи органів управління та громадських організацій, бібліотеки та музеї, вокзали всіх видів транспорту тощо.

На бокові панелі, у правому верхньому кутку, знаходиться кнопка «Розрахувати», що забарвлена у зелений колір. Саме при натисканні на дану кнопку відбувається передача введених до форми даних на сервер для отримання результату розрахунків.

Результати розрахунків формуються у вигляді документу Microsoft Word (.docx) та є доступними для завантаження, інформація про що виводиться на модальному вікні.

Адаптація інтерфейсу під вертикальні екрани (у разі необхідності зменшення вікна браузера на комп'ютері чи ноутбучі або при застосуванні додатку на телефоні чи планшеті у вертикальному положенні) здійснюється шляхом переміщення кнопки розрахунку у верхню частину екрану та розміщення переліку категорій над полями для заповнення.

Для зручності користування, кожне поле підписане одиницями вимірювання, які необхідно враховувати під час заповнення форми та підсвічується при заповненні (рис. 2).

Рис. 1. Категорія «Основна інформація про підприємство»

Рис. 2. Виведення категорії на робочий екран

Так як додатком передбачені поля, що є обов'язковими для розрахунків, передбачено відображення помилки у верхній частині інтерфейсу, яка повідомляє користувача про наявність незаповнених полів.

У разі проблем з доступом до серверної частини програмного продукту, на екран буде виведено помилку сервера, що повідомляє користувача про відсутність зв'язку з сервером.

Головні висновки. Законодавча база України передбачає для підприємств, які здійснюють спеціальне водокористування, отримання дозволу на основі розрахунків обґрунтування потреби у воді.

Аналіз ринку програм екологічного спрямування показав, що у сфері водокористування наявні програмні комплекси для оцінки якості стічних вод, однак наразі відсутні програмні рішення з автоматизації розрахунку нормативу використання води підприємствами.

Відповідно до визначених вимог, було створено програмний продукт, який дозволяє автоматизувати

розрахунок нормативу використання води підприємствами з автоматичним заповненням затвердженої міністерством форми обґрунтування потреби у воді, відповідно до чинного законодавства, що прискорює сам процес розрахунку та зменшує вплив людського фактору на процес опрацювання великих масивів даних.

Перспективи використання. У програмному продукті враховані всі статті за якими відбувається здійснення водоспоживання, що передбачені ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво». Тобто даний додаток є адаптованим під законодавство України й може використовуватися на території всієї держави. Перевагою даного програмного продукту є те, що до сьогодні не виявлено аналогів даного додатку, які б виконували функції, що вирішує розроблений додаток.

Література

1. Файфура, В.В. Еколого-економічний аналіз використання і відтворення водних ресурсів України. *Регіональні аспекти розвитку продуктивних сил України*. 2013. Випуск 18. С. 82–87.
2. Вода для людей, вода для життя. Доклад ООН о состоянии водных ресурсов мира. Офиц. интернетсайт. 2012. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556r.pdf>. (Дата звернення 22.01.2019).
3. Фролова Н.Л., Алексеевский Н.И., Жук В.А., Мониторинг гидрологических процессов и повышение безопасности водопользования. *Природообустройство*. 2014. № 3. С. 66–69.
4. World Water Resources and their Use, UNESCO. URL: <http://www.unesco.org>. (Accessed 19.10. 2019).
5. Власов, В.І. Глобальні водні ресурси та їх використання. *Вісн. НАН України*. 2011. № 10. С. 18–28.
6. Черкашина М.. Правові проблеми державного управління у галузі використання та охорони водних джерел в Україні. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. 2017. Серія «Право». № 21. С. 123–128.
7. Айрапетян Т.С. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2010. 280 с.
8. ДБН В.2.5-64: 2012 Внутрішній водопровід та каналізація. Ч. I, II. 2013. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativity/dbn/1-1-0-1059>

ЗМІНА ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІД ЧАС ЗМІШУВАННЯ ПОДРІБНЕНИХ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЯКОСТІ

Д'яконов В.І.¹, Бузіна І.М.¹,
Хайнус Д.Д.¹, Д'яконов О.В.²

¹Харківський національний аграрний університет
імені В.В. Докучаєва
п/в «Докучаєвське – 2», навчальне містечко ХНАУ,
62483, Харківська область

²Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка
вул. Алчевських, 44, 61002, м. Харків
nezabudka120187@gmail.com

У роботі проведено оцінку процесу змішування подрібнених рослинних відходів різноманітного походження під час виробництва паливних брикетів підвищеної якості. Показано, що це складне завдання в більшості своїй багатокритеріальне, і звести його до однокритеріального досить тяжко. Необхідно вирішувати компромісну задачу, враховуючи безліч обмежень і вимог. Проаналізовано, що таке завдання зазвичай ускладнюється розмитим характером діючих факторів і вже відомі класичні методи оптимізації найчастіше безсилі. Чим складніше система, тим менша ймовірність знайти для неї оптимальне рішення. Під час проведення досліджень нами був застосований метод прийняття рішень. Слід зазначити, що сучасна теорія прийняття рішень має великий інструментарій у вигляді розвиненого математичного апарату і сучасних обчислювальних алгоритмів. Евристичні прийоми, що включають досвід і інтуїцію, здібності людини до асоціацій і багато іншого, що лежить за межами математики, грають в цій теорії велику, а іноді і вирішальну роль. У роботі наведено розроблену нами модель технологічного процесу з ефективною послідовністю технологічних операцій і параметрами оптимального компонентного складу. Відображено основні чинники, що спричиняють істотний вплив на створення структурної композиції твердого багатоконпонентного палива. З усіх технологічних процесів виробництва паливних брикетів можна виділити процеси подрібнення, змішування і пресування. Змішування подрібнених рослинних відходів є заключним етапом перед пресуванням і багато в чому забезпечує однорідність розподілу компонентів та якість брикету. Визначено оптимальний час змішування суміші для зниження енергоємності процесу і попередження сегрегації. У ході роботи доведено, що на процес змішування впливають властивості матеріалів, які змішуються. *Ключові слова:* відходи поліетилену, відходи деревини, паливні брикети, біопаливо, тверда багатоконпонентна композиція, змішування.

Change of environmental and physical and chemical properties during mixing of fake plant waste in the production of fuel briquetic briquettes. Diakonov V., Buzina I., Khainus D., Diakonov O.

In the work the process of mixing of crushed vegetable waste of various origin during the production of high quality fuel briquettes is evaluated. This has been shown to be a multicriteria task, and reducing it to a single criterion is quite difficult. It is necessary to solve the compromise problem, taking into account many restrictions and requirements. It is analyzed that such a task is usually complicated by the blurred nature of the existing factors and already known classical optimization methods are often powerless. The more complex the system, the less likely it is to find the best solution for it. In our research, we used a decision-making method. It should be noted that the modern theory of decision-making has a large toolbox in the form of advanced mathematical apparatus and modern computational algorithms. Heuristic techniques, including experience and intuition, the ability of man to associate, and much beyond mathematics, play a great, and sometimes decisive, role in this theory. In this paper we have developed a model of technological process with efficient sequence of technological operations and parameters of optimal component composition. The main factors that have a significant influence on the creation of the structural composition of solid multicomponent fuels are reflected. From all technological processes of production of fuel briquettes it is possible to distinguish processes of grinding, mixing and pressing. Mixing of crushed vegetable waste is the final step before pressing and in many respects ensures the uniform distribution of components and the quality of the briquette. The optimum mixing time of the mixture is determined to reduce the energy consumption of the process and prevent segregation. During the work it is proved that the mixing process is influenced by the properties of the materials that are mixed. *Key words:* polyethylene waste, wood waste, fuel briquettes, biofuels, solid multicomponent composition, mixing.

Постановка проблеми та її актуальність. На сьогодні частка біомаси в загальній поставці первинної енергії в Україні займає лише 1,2%. Використання біомаси для вироблення енергії вже зараз становить близько половини всіх відновлюваних джерел енер-

гії у світі, у Європі сягає до 70%, Швеції – 64%, Данії та Австрії – 33%. Біомаса, доступна для отримання енергії в Україні, коливається в межах 100–400 млн. т. у. п. рік – майже незадіяний ресурс, що вимагає інтенсифікації технологічних проце-

сів виробництва паливних брикетів. Вирішення завдання отримання високоякісних паливних брикетів на основі місцевої сировини, а також дослідження фізико-механічних властивостей таких матеріалів має велике наукове і практичне значення [1, 3–5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Напрямок досліджень безпосередньо пов'язаний із визначальною проблемою ресурсоенергозбереження, вирішення якої дає змогу створити якісно новий процес виробництва паливних брикетів, що впливає на енергоефективність виробництва загалом та собівартість продукції паливних брикетів, відбувається економія енергії та сировини за меншого навантаження на екологію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виходячи з теоретичних досліджень виробництва паливних брикетів встановлено що усі стадії виробництва є енергозатратними; особливо великими затратами характеризуються етапи підготовки сировини до брикетування, що впливає на енергоефективність виробництва загалом та собівартість продукції паливних брикетів [1, 3–5]. Основу виготовлення будівельних матеріалів складають будівельні суміші. Процес їх приготування являється одним із найважливіших етапів в технологічному ланцюзі будівництва.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для адекватного описання взаємодії тіл різної природи використовуються загальні співвідношення нелінійної механіки суцільних середовищ (МСС), які базуються на фундаментальних законах збереження імпульсу та балансу механічної енергії, збереження енергії та маси [10]. Це вимагає розробки універсальних нелінійних моделей та методів їх дослідження, які можуть бути побудовані тільки на базі методів чисельного аналізу, орієнтованих на потужну обчислювальну техніку. До найбільш ефективних чисельних методів розв'язання складних реологічних і динамічних задач механіки суцільних середовищ належить метод скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє на базі комп'ютерної техніки моделювати і досліджувати різні технологічні процеси та конструктивні елементи обладнання [8–10].

Новизна. Розробка методики, яка дозволяє визначити оптимальний час змішування подрібнених рослинних відходів для досягнення максимальної однорідності і продуктивності змішувача при мінімальних витратах енергії.

Методологічне або загальнонаукове значення. Інтенсифікація процесу формування брикетної суміші (зв'язування відходів) шляхом створення ефективного змішування брикетної суміші за допомогою високочастотного поля.

Викладення основного матеріалу. Основне призначення змішувального обладнання – забезпечення одержуваної термопластичної композиції необхідної

якості змішування, яка пов'язана з кількісним описом стану суміші. У більшості випадків кожний з розподілених у матриці компонентів суміші можна уявити як множину умовних частинок певного розміру. Як міру відхилення реальної суміші від стану ідеальної використовують такі критерії, як індекс змішування, критерій Лейсі, інтенсивність розділу та коефіцієнт неоднорідності. За допомогою перших двох критеріїв визначають ступінь наближення до граничного технологічно можливого стану випадкової суміші, одержуваної за умови нескінченно тривалого оброблення. Два останні критерії представляють собою порівняння з ідеальним станом суміші – системою з рівномірно розподіленими компонентами.

Нами розроблено та створено дослідну установку прес-автомат для виробництва паливних брикетів на основі НВЧ, яка призначена для визначення характеру змішування компонентів брикетної суміші, а також встановлення впливу досліджуваних параметрів на якість паливних брикетів (рис. 1).

Прес автомат працює наступним чином, відходи рослинного походження (гілки, опале листя, деревна стружка, деревна тирса, солома, обрізки деревини і кори дерев, лузга, отримана при обрушенні насіння соняшника, качани і стовбури кукурудзи, очерет тощо або їх суміш) попередньо здрібнюють до фракції 10–12 мм.

Розроблена і запатентована технологія виготовлення паливних брикетів дозволяє брикетувати різні деревообробні та сільськогосподарські відходи [1; 4].

Зв'язуюче повинно з'єднувати рослинні відходи, ізолювати від вологи навколишнього середовища і, бажано, мати високу теплоздатність.

Згідно рис. 1. здрібнені рослинні відходи подають у змішувач 1, туди ж подають і зв'язуюче (відходи подрібненого поліетилену) та тиксотропну добавку (розчин шкіряного пилу) із змішувача 2 при такому співвідношенні компонентів, мас. %: сировина рослинного походження – 80, зв'язуюче – 20 (подрібнений поліетилен – 18, шкіряний пил – 2). Компоненти змішують до рівномірного розподілу зв'язуючого та тиксотропної добавки по поверхні часток рослинних відходів.

Після чого вмикають шнековий транспортер 4 і відсувають засувку 3. Попередньо підготовлена суміш з витратного бункера-змішувача надходить в шнековий прес, де ущільнюється та зневоднюється. При переміщенні вологого матеріалу значно падає навантаження на шнек, твердіші частинки втискаються у більш пластичні, пресуються, зменшуються в об'ємі потім переміщуються через конічну формуючу насадку 5 шнекового преса при тиску 20 МПа з утворенням внутрішнього наскрізного поздовжнього отвору в брикеті або без нього. Суміш попадає в тефлонову трубу 6 з отворами, яка проходить через НВЧ-піч 8. Відмова від циклічної сушки в камерах і перехід на безперервний конвеєрний спосіб

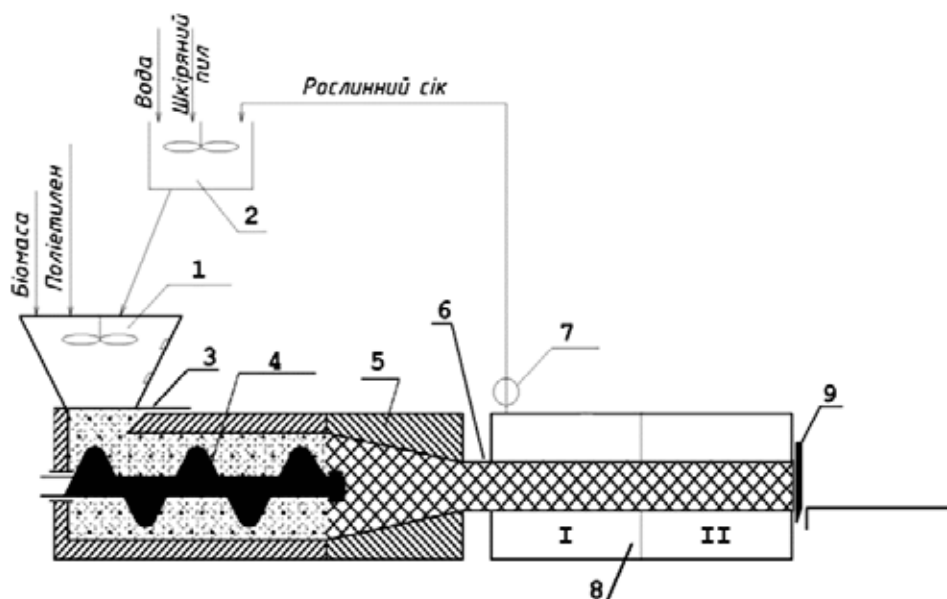


Рис. 1. Прес-автомат гнучкої технології виробництва паливних брикетів: I – перша секція мікрохвильового пристрою на основі системи хвилевідного типу має довжину l_1 , II – друга секція мікрохвильового пристрою (адаптер) на основі уповільнюючої системи довжиною l_2 . 1 – змішувач брикетної суміші; 2 – змішувач тиксотропної добавки; 3 – засувка; 4 – шнековий транспортер; 5 – формуюча головка; 6 – тefлонова труба з отворами; 7 – насос; 8 – камера термообробки НВЧ типу; 9 – ніж та стіл для охолодження брикетів.

дозволяє істотно підвищити ефективність процесу сушіння [20–25].

НВЧ-піч 8 обладнана послідовно включеною секцією I хвилевідного типу яка проводить сушіння сформованих брикетів вологістю до 12%. При використанні більш вологої біомаси в лінію додатково введений адаптер температури II виконаний у вигляді уповільнюючої системи, який автоматично підключається до секції хвилевідного типу при вологості більше 12%. Таким чином термоізолювана НВЧ-піч 8 забезпечує рівномірну сушку паливних брикетів по їх товщині при використанні біомаси великої вологості. Через тefлонову трубу 6 електромагнітне поле надвисокої частоти проникає в глибокі шари брикетної маси, і волога, яка міститься в достатній кількості всередині брикету і має високу реактивну складову діелектричної константи, поглинає електромагнітну енергію і перетворює її в теплову. Рослинні відходи тріскаються та розпушуються і тому площа взаємодії біомаси та поліетилену збільшується. Волога (рослинний сік) яка випарюється через повздовжні розрізи тefлонової труби 6, видаляється з робочої камери 8 за допомогою насоса 7, який створює також вакуум в камері 8. Різноманіття фізико-хімічних і структурно-реологічних процесів, що протікають в період формування структурного каркаса брикету, зумовлена великою кількістю чинників, що діють на процес. Вплив кожного з них впливає на інтенсивність адгезійних взаємодій як під час підготовки брикетної суміші, так і при її пресуванні. Серед основних факторів, які справляють істотну структуроутворюючу дію,

перш за все слід враховувати гранулометричний склад, активність поверхні, вологість пресованих компонентів. Гранулометричний склад визначається сумарною поверхнею зіткнення пресованих частинок, числом і величиною пор в структурному каркасі палива, змістом гострокутних частинок, рельєфом їх поверхні і наявністю пилових частинок.

У змішувач тиксотропної добавки 2 подається рідина (вода та рослинний сік) та шкіряний пил і шляхом змішування йде на підготовку розчину для змішувача 1.

Сигароподібний висушений брикет виходить з тefлонової труби 6 та розділяється на рівні частини механізмом 9, які потім охолоджують та упаковують. Головна мета функціонування цеху для виробництва паливних брикетів складається, в першу чергу, в отриманні однорідного, за всіма показниками, продукту – брикетної суміші [1–7].

Стадії змішування двох компонентів суміші показано на рис. 2.

Ідеальний розподіл частинок можливий в суміші при відсутності гравітації, де компоненти складаються зі сферичних частинок однакових розмірів і властивостей. Природно, в суміші цього не може бути, тому що суміш компонентів складається з частинок різних розмірів, які мають різні фізико-механічні властивості. Тому на процес їх переміщення впливає величезна кількість факторів, а в малих обсягах змішаного продукту можлива нескінченна різноманітність взаємного розташування частинок. Тому співвідношення компонентів в будь-якій точці суміші випадкова величина [6–9].

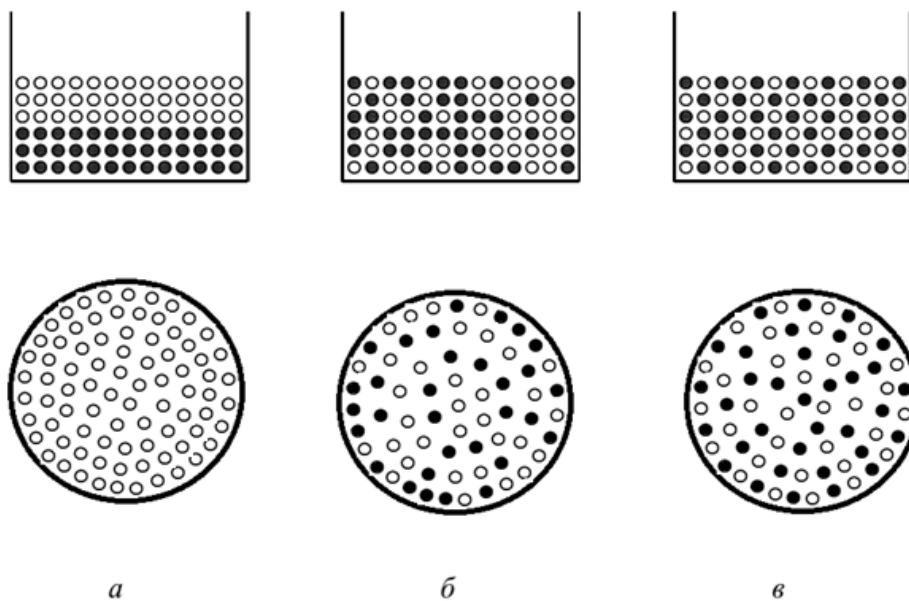


Рис. 2. Стадії змішування двох компонентів: а – вихідний стан; б – статистичний розподіл компонентів в процесі змішування; в – ідеально перемішана суміш (практично не здійсненна)

Для роботи нам необхідно обґрунтувати час, необхідний для змішування брикетної суміші в змішувачі. При цьому необхідно врахувати три критерії оптимальності: θ – коефіцієнт однорідності суміші; A – витрати енергії за період змішування; Q – продуктивність змішувача.

Математичні дані завдання формулюються в такий спосіб:

$$\theta = 1 - C_0 e^{-kt} \rightarrow \max ; \quad (1)$$

$$A = Nt \rightarrow \min ; \quad (2)$$

$$q = \frac{M}{t} \rightarrow \max \quad (3)$$

$$t > 0, k > 0, N > 0, M > 0,$$

де C_0 – початковий коефіцієнт неоднорідності суміші, $C_0 \approx 1$;

k – емпіричний коефіцієнт, що характеризує інтенсивність змішування;

N – потужність встановленого на змішувач електродвигуна;

M – одноразове завантаження змішувача.

Зауважимо, що оптимальності немає ні по одному критерію оптимальності, тобто задача оптимізації не мала б місця при розгляді будь-якого з показників в якості єдиного критерію оптимальності.

В інженерній практиці доводиться мати справу з об'єктами, системами або завданнями, що характеризуються декількома критеріями оптимальності. Як мінімум, потрібно враховувати три критерії:

1) критерій, обумовлений якістю роботи технічного об'єкта (вужче: якість виконання технологічного процесу);

2) критерій, що показує економне витрачання енергії або палива (питома витрата енергії, ККД та т. д.);

3) критерій експлуатаційної продуктивності або пропускної здатності (побічно відображає ряд інших показників, таких як матеріаломісткість, напрацювання на відмову, коефіцієнт готовності і т. д.).

Вибір критеріїв оптимальності являє собою самостійну далеко не формальну процедуру, що залежить від характеру розв'язуваної задачі і особи, що приймає рішення. Складність багатокритеріальних задач полягає в тому, що критерії різномірні (тобто вимірюються в різних одиницях, бувають навіть якісними) [9], оптимум у них не збігаються один з одним (мах-мін). Це означає, що одні критерії необхідно звернути в максимум, інші – в мінімум, а це в принципі неможливо зробити з позицій класичної математики. Багатокритеріальні задачі іноді називають завданнями вибору або прийняття рішень, підкреслюючи тим самим, що останнє слово залишається неза математикою, а за людиною. Справа в тому, що при багатьох критеріях виникає невизначеність цілей, завдання оптимізації.

Аналізуючи багатокритеріальну інженерну задачу, спочатку намагаються звести її до класичної однокритеріальної, тобто згорнути приватні критерії в один комплексний. Запропоновано безліч методів для проведення цієї процедури, але з позиції математики та логіки ці методи, частіше за все, не витримують ніякої критики. Та й зробити таку згортку критеріїв не завжди вдається. Тому найправильніший підхід – вирішувати задачу в первісному багатокритеріальному вигляді.

Можливі рішення багатокритеріальних задач слід шукати серед непокреслюваних варіантів (альтернатив), тобто варіантів, поліпшення яких за одними критеріями призводить до погіршення за іншими критеріями. Найбільш правильний підхід –

вирішувати задачу у первинному багатокритеріальному вигляді.

Проілюструємо це на прикладі двох критеріїв. На рис. 3 область D зображує ті значення критеріїв оптимізації W_1 і W_2 , які відповідають змінній x .

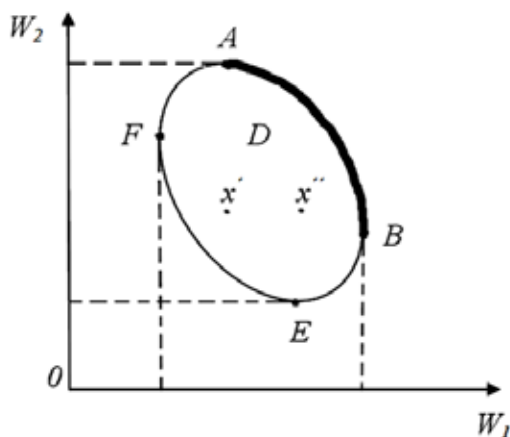


Рис. 3. Множини Парето при опуклій області D допустимих значень x

Крива, що обмежує допустиму область D , є, таким чином, параметрично заданою. Нехай обидва критерія W_1 і W_2 потрібно звернути в максимум, тобто:

$$W_1(x) \rightarrow \max \quad (4)$$

$$x \in D \quad (5)$$

$$W_2(x) \rightarrow \max \quad (6)$$

$$x \in D \quad (7)$$

Візьмемо точку x' всередині області D (рис. 3). Тоді будь-які точки x'' , розташовується правіше. Це буде краще за критерієм W_1 при тому ж критерії W_2 . Значить, цю точку можна поліпшити. І вона вже не може називатися оптимальною в сенсі Парето. Перебравши багато точок в області D , ми приходимо до висновку, що принципу Парето відповідають лише рішення x , що лежать на дузі AB . Якби ми шукали мінімуми за критеріями W_1 і W_2 , то безліччю Парето була б крива EF .

При різномірних умовах, коли один з них потрібно звернути в максимум, а інший в мінімум (або навпаки), множинами Парето є криві AF і BE .

Таким чином, принцип Парето не дозволяє виділити єдине оптимальне рішення. Він допомагає лише звузити клас можливих рішень і виключити з розгляду свідомо неприйнятні варіанти. Остаточний варіант вибирається на основі додаткової інформації та кваліфікації людини, тобто із залученням неформальних процедур. При такому підході виділення ефективних точок Парето є як би першим етапом завдання вибору і прийняття рішення. Множина D носить назву множини досяжності, або множини

граничних можливостей. Множина Парето, яку ще називають областю компромісів, або фронтом Парето, представляє в загальному випадку лише частина кордону множини досяжності. Незважаючи на простоту принципу Парето, він грає одне з основних фундаментальних понять в теорії багатокритеріальних задач. Поняття оптимального за Парето, або ефективного вирішення, є узагальнення поняття точки екстремуму числової функції на випадок декількох функцій-критеріїв оптимальності. Принцип Парето є єдиним обґрунтованим математичним методом розв'язання багатокритеріальних задач [8; 9].

У ряді випадків множина Парето настільки велика, що вибір єдиного варіанта знову не представляється можливим.

У загальному випадку множина досяжності не збігається з множиною Парето (рис. 4) і являє собою при двох умовах плоску замкнуту фігуру. Можливий перетин цих множин при трьох умовах, які необхідно звернути в максимум, показано на рис. 4.

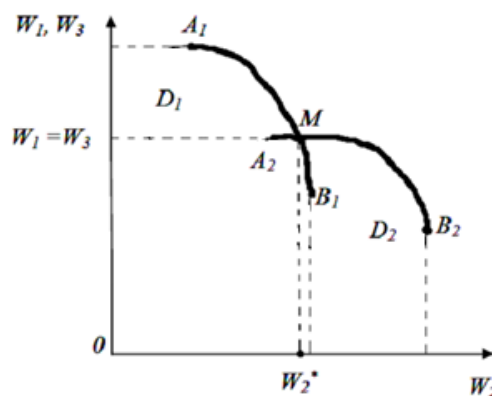


Рис. 4. Перетин двох множин Парето при трьох умовах оптимальності

Критерії W_1 і W_3 повинні бути якимось чином приведені до безрозмірного вигляду. Оскільки всі три критерії необхідно звернути в максимум, то області Парето є північно-східні кордони відповідних множин досяжності. Перетин множин Парето кривих A_1B_1 і A_2B_2 дає загальну точку M . Вона визначає собою оптимальне значення.

Вкупі з умовою $W_1 = W_3$ відшукуються інші необхідні значення параметрів даного завдання.

Умова успішного застосування даного прийому полягає в тому, щоб кожна пара критеріїв повинна бути незалежною. Це означає, що яке б не було значення критерію, співвідношення «корисності» двох інших не змінюються [7].

Приведемо критерій Q до безрозмірного вигляду, оскільки коефіцієнт однорідності суміші носить також безрозмірний вид. Для цього розділимо ліву і праву частини на Qn – паспортну продуктивність змішувача.

Позначаючи $q = Q / Q_n$ багатокритеріальне завдання оптимізації переписемо у вигляді:

$$\theta = 1 - C_0 e^{-kt} \rightarrow \max ; \tag{8}$$

$$A = Nt \rightarrow \min \tag{9}$$

$$q = \frac{M}{Q_n} \cdot \frac{1}{t} \rightarrow \max \tag{10}$$

$$t > 0, k > 0, N > 0, M > 0, Q_n > 0.$$

Утворимо $\{\theta - t\}$ і $\{q - t\}$

$$\theta = 1 - C_0 e^{-kt}; \tag{11}$$

$$q = \frac{M}{tQ_n}$$

Оптимальну величину t^* (оптимальний час змішування) можна знайти з умови: $\theta = q$, тобто з рівняння:

$$\frac{M}{tQ_n} - 1 + C_0 e^{-kt} = 0 \tag{12}$$

Це рівняння є нелінійним і може бути вирішено одним з чисельних методів. Нами для цієї мети був застосований блок Given-Find програми Mathcad (рис. 5).

При зазначених чисельних значеннях M, Q_n, C_0 і k програма видала результат: $t \approx 1$ хв.

Отже, оптимальний час змішування становить близько 1хв. При цьому досягається однорідність суміші 95%.

Авторам вперше вдалося інтенсифікувати процес формування брикетної суміші (зв'язування відходів) шляхом створення ефективного змішування брикет-

ної суміші, ефекта об'ємного нагріву в матеріалі при допомозі високочастотного поля. Розроблена гнучка НВЧ технологія дозволяє:

- зменшити час технічних циклів в 12 разів;
- економити енерговитрати до 63 %;
- зменшити технологічні площі в 2 рази;
- отримувати якісно новий паливний брикет

з підвищеною міцністю та теплотворною здатністю. Порівняльні дані занесені в табл. 1

Головні висновки. Запропонована методика, особливість якої полягає в побудові двох множин, дозволяє визначити оптимальний час змішування для досягнення максимальної однорідності і продуктивності змішувача при мінімальних витратах енергії.

1. Аналіз існуючих технологій брикетування рослинної сировини показує, що особливу увагу необхідно приділити модулю формування брикету, який найбільш ефективно працює на основі електромагнітних технологій.

2. Запропоновано структуру побудови електромагнітної технології (ЕМТ) із застосуванням надзвичайно високої частоти (НВЧ) виготовлення паливних брикетів з рослинних та деревних відходів на основі зв'язуючого із поліетилену.

3. Встановлено, що доцільним вважається сушіння, при якому швидкість просування вологи з внутрішніх шарів наближається до швидкості її випаровування з поверхні деревини. Таким чином, основним параметром, що визначає тривалість сушіння, є вологопровідність. В досягненні інтенсивного руху вологи усередині матеріалу (з центральної зони до його поверхні) є актуальними для отримання високих техніко-економічних показників процесу сушіння.

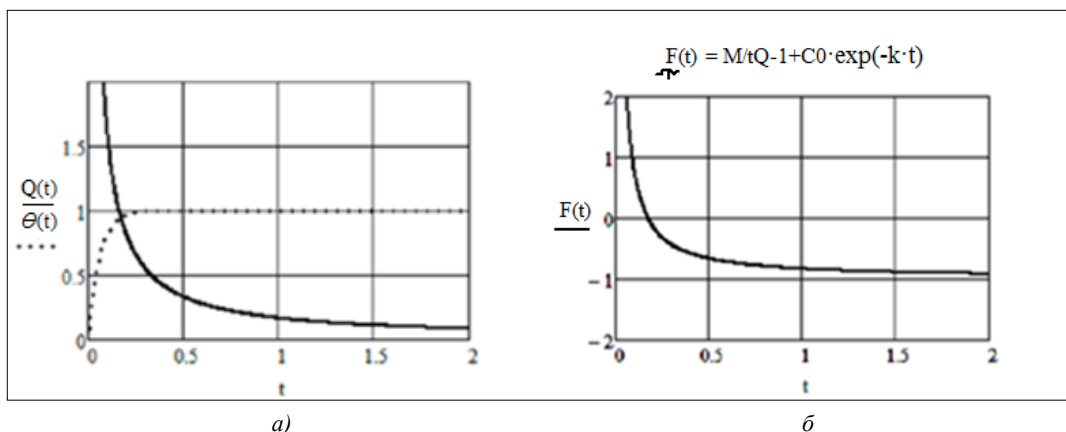


Рис. 5. Суміщений графік двох множин Парето при оптимізації часу роботи змішувача: а) оптимізація змішувача періодичної дії; б) чисельне рішення задачі

Таблиця 1

Коефіцієнт енергетичної ефективності різних видів палива

Вид палива	брикети RUF	Nestro	Pini&Kay	Розроблені	Дизельне паливо	Кам'яне вугілля
Показники	3,9	4,1	4,3	4,8	4,2	4,9

4. Автоматизація запропонованої технології дозволяє забезпечити високий коефіцієнт завантаження устаткування та зниження собівартості продукції. Тривалість мікрохвильової сушки деревини зменшується більш ніж у 10 разів порівняно з традиційною обробкою.

5. Техніко-економічні розрахунки показують, що капітальні вкладення при застосуванні гнучкої поточної біотехнології залежно від кількості модулів збільшуються всього на 5–7% від загальної вартості об'єкта, а пропускна спроможність при цьому підвищується на 50–70%.

6. Доведено, що не тільки технічні, а й економічні переваги гнучких поточкових технологій очевидні.

Перспективи використання результатів дослідження. Представлена функціональна схема пристрою технологічно та економічно оптимального НВЧ сушіння брикетної суміші при виготовленні паливних брикетів дозволяє повністю автоматизувати процес сушіння брикетної суміші, отримувати брикети вищої якості і мати сумарні затрати і на виробництво паливних брикетів і на сушіння брикетної суміші. Така технологія є економічно привабливою та може бути застосована на підприємствах, які виготовляють паливні брикети, за модернізації наявного та проектування нового обладнання.

Література

1. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення: монографія Полянський О.С., Дьяконов О.В., Скрипник О.С., Фесенко Г.В., Д'яконов В.І., Харченко Ю.В., Торосов А.С., Волощенко В.В. Х.: Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, 2017. 136 с.
2. Пат. 117937 Україна, МПК С10L 5/40. Гнучка технологічна лінія для виготовлення паливних брикетів / Дьяконов О.В., Д'яконов В., Полянський О.С., Горобець В.М. Коваленко О.І.; Заявник і патентовласник Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, № 201701568; заявл. 20.02.2017; опубл. 10.07. 2017, Бюл. № 13. С. 6.
3. Д'яконов В.І., Скрипник О.С., Дьяконов О.В. Утилізація рослинних і деревних відходів паркової зони міста / Комунальное хозяйство міст: Наук.-техн. зб. // ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Харків. 2015. Вип. 124. С. 49–52.
4. Д'яконов В.І., Скрипник О.С., Дьяконов О.В. Особливості функціонування гнучких технологій переробки рослинних та деревинних відходів / Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. Днепропетровск : ПГАСА, 2015. Вып. 83. С. 113–117.
5. Д'яконов В.І., Дьяконов О.В., Скрипник О.С., Нікітченко О.Ю. Вплив вологості деревних відходів на фізико-механічні властивості біокомпозиції / Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. / ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Харків, 2016. Вип. 128. С. 53–57.
6. Садов, В.В. Экспертная оценка комбикормовых агрегатов на основенечетких множеств / В.В. Садов. – Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2017. № 9(155). С. 179–185.
7. Садов, В.В. Энергосберегающие технологии при производстве комбикормов / В.В. Садов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. Кн. 1. С. 291–294.
8. Семенов, С.С. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем / С.С. Семенов и др. М.: ООО «ЛЕНАНД», 2015. 520 с.
9. Семенов, С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: практика применения метода экспертных оценок / С.С. Семенов. М.: Ленанд, 2015. 52 с.
10. Чичур А.І. Стохастичне моделювання параметрів двобального бетонозмішувача примусової дії. Дисертація на здобуття ступеня канд. наук. 05.05.02. «Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій (технічні науки) Київ. 2017. 125 с.

MUTUAL NEUTRALIZATION OF ALKALINE WASTE WATER BY EMISSION GASES OF HEAT AND POWER ENGINEERING

Kuznyetsov S.I.¹, Venger O.O.¹,

Mishchenko O.V.¹, Okhremenko I.V.²

¹Kherson National Technical University

Beryslavske highway, 24, 73008, Kherson

²Kherson State University

27, University Str., 73003, Kherson

ksieko@rambler.ru, super-elenavenger@ukr.net,

mishenkoolena@gmail.com, i.v.okhremenko@ukr.net

Kherson city CHP at work pollutes the atmosphere with harmful substances. An analysis of emissions revealed that the maximum surface concentration of sulfur dioxide in it is 1.37 mg/m³, which is 2.74 times the maximum permissible concentration for populated areas. The presence of sulfur dioxide in the exhaust gases causes their acidic environment. Such gases can neutralize alkaline wastewater available at any textile plant. To study the process of neutralization, a laboratory setup was created. The studies were carried out on the basis of natural wastewater of a textile mill and an air mixture containing sulfur dioxide. The task of laboratory research was to study the influence of various physico-chemical factors on the process of neutralizing wastewater. Exhaust gas purification was investigated in parallel. In the present work, the method of a full four-factor experiment was applied. It makes it possible to obtain a mathematical description of the process under study. An apparatus for neutralizing alkaline wastewater with acidic flue gases is also proposed. As a result of the absorption of sulfur dioxide and carbon dioxide, acid is formed, which is necessary to neutralize the alkali. Decolorization of wastewater is carried out by ash formed during the combustion of solid or liquid fuels and acting as an adsorbent for colored organic wastewater compounds. To verify the data obtained in laboratory conditions, studies were conducted on a pilot plant developed by us using natural gases and wastewater. The pilot plant is a torus absorber with a capacity of 5 thousand cubic meters of gas per hour. The device has a diameter of 3 meters and a height of 1.5 meters. The scheme adopted a closed cycle of irrigation. Gas supply was made directly from the gas duct. The contact between the liquid and gas in the absorber was carried out by spraying the liquid with five centrifugal nebulizers with intersecting irrigation fields. On the basis of experimental data, the influence of various factors on the degree of neutralization of wastewater was established. *Key words:* neutralize alkaline wastewater, torus absorber, exhaust gas purification

Взаємна нейтралізація лужних стічних вод відхідними газами теплоенергетичних підприємств Кузнецов С.І., Венгер О.О., Міщенко О.В., Охременко І.В.

Херсонська міська ТЕЦ при роботі забруднює атмосферу шкідливими речовинами. Аналіз викидів виявив, що максимальна приземна концентрація сірчистого ангідриду в ній становить 1,37 мг/м³, що в 2,74 рази більше гранично допустимої концентрації для населених місць. Наявність сірчистого ангідриду в газах обумовлює їх кисле середовище. Такими газами можна нейтралізувати лужні стічні води, які наявні на будь-якому текстильному підприємстві. Для вивчення процесу нейтралізації, була створена лабораторна установка. Дослідження проводилися на основі натуральних стічних вод текстильного комбінату і повітряної суміші, що містить сірчистий ангідрид. У завдання лабораторних досліджень входило вивчення впливу різних фізико-хімічних факторів на процес нейтралізації стічних вод. Паралельно досліджувалися параметри очищення газів, що відходять. У даній роботі був застосований метод повного чотирьохфакторного експерименту. Він дає можливість отримати математичний опис досліджуваного процесу. Також запропонований апарат для нейтралізації лужних стічних вод кислими димовими газами. В результаті абсорбції двооксиду сульфуру і карбону, утворюється кислота, необхідна для нейтралізації лугу. Знебарвлення стічних вод здійснюється золою, що утворюється при згоранні твердого або рідкого палива і виступає в ролі адсорбенту для забарвлених органічних сполук стічних вод. З метою перевірки даних, отриманих в лабораторних умовах були проведені дослідження на дослідно-промисловій установці розробленої нами з використанням натуральних газів і стічних вод. Вона являє собою торовий абсорбер продуктивністю 5 тисяч кубометрів газу на годину. Апарат має діаметр 3 метри і висоту 1,5 метра. У схемі прийнятий замкнутий цикл зрошення. Подача газів проводилася безпосередньо з газоходу. Контакт між рідиною і газом в абсорбері здійснювався за рахунок розбризкування рідини п'ятьма відцентровими розпилювачами з пересіченими полями зрошення. На підставі досліджень встановлено вплив деяких фізико-хімічних чинників на ступінь нейтралізації стічних вод. *Ключові слова:* нейтралізація лужних стоків, торовий абсорбер, очищення газів.

Problem statement. Wastewater of textile enterprises is a complex physicochemical multicomponent system containing insoluble impurities, suspensions, molecularly dissolved substances of mineral and organic origin. They have a specific color, an active reaction of pH 6–12.5. The concentration of synthetic surfactants and individual drugs is in the range of 10–140 mg/l.

The relevance of research. Today, pollution of water and air basins with gaseous and solid substances has become

one of the most pressing contemporary problems. The bulk of industrial pollution is formed during the burning of fossil fuels. The most common contaminants are sulfur dioxide, carbon monoxide, and nitrogen oxides.

The effective treatment of industrial wastewater and flue gases from sulfur dioxide, carbon monoxide, nitrogen oxides is an urgent environmental safety problem, the solution of which is of great practical importance [1; 2].

Analysis of recent research and publications.

Existing wastewater treatment methods are chemical, physicochemical, mechanical and biological [3; 4].

In chemical methods, coagulants and excipients – flocculants and adsorbents – are used [5]. Coagulants translate colloidal contaminants into an aggregate-unstable state and create the conditions under which the suspension of suspended particles and separation of the solid phase from the liquid occurs. Adsorbents extract dissolved impurities, flocculants promote the formation of large, strong flakes from contaminant particles, hydrolysis products of coagulants and adsorbents. As coagulants, salts of trivalent metals of aluminum and iron (sulfates, chlorides, chlorohydrates), as well as magnesium chloride, sodium aluminate, etc. are used. Cations of these salts reduce the aggregate stability of colloidal particles, and the substances formed during their hydrolysis have adsorption and flocculating properties.

Chemical wastewater treatment usually consists of the following operations: regulation of pH, coagulation and sedimentation to isolate reaction products. Before chemical treatment, wastewater is averaged and settled if necessary. Reagents and their doses should provide an active reaction favorable for the release of coagulated suspension and colloids into the sediment. The type of coagulants and their doses, the sequence of input into the treated water, the amount of sludge, its properties and the method of dehydration are determined experimentally in the design process and specified during the commissioning of structures.

Studies and operating experience of existing facilities have shown that chemical methods for wastewater treatment in textile enterprises have limited effectiveness.

Physico-chemical methods of wastewater treatment are very diverse. The most widely used in purification practice are adsorption, ion exchange, and flotation. Adsorption purification is based on the extraction of dissolved organic substances from water by the surface of solids – adsorbents. A characteristic property of adsorbents is their porous structure with a large specific surface. Adsorption is widely used for wastewater treatment containing a large amount of aromatic compounds.

Also, in the treatment of industrial wastewater, ion-exchange resins, which are insoluble high-molecular substances, are used. Ion exchange resins are used in industry for demineralization of water, extraction of non-ferrous and rare metal ions. At textile enterprises, this method is widely used in the treatment of wastewater containing copper ions.

The flotation purification method can be used to reduce the concentration of synthetic surface-active substances (surfactants) in the wastewater of finishing plants. The essence of the flotation process is the molecular interaction of the impurity with air bubbles that float to the surface and form a foam. Thus, in large quantities of compounds of manganese, phosphorus, and iron are contained. The content of these elements is hundreds of times greater than in water. Thus, foaming promotes

the concentration of substances. It should be noted that at present the productivity of flotation machines is small [6], and this method has not been widely used.

Mechanical treatment is used to average wastewater by quantity and composition. In the pre-treatment system, averagers are provided, which are tanks equipped with a system of perforated pipes that supply compressed air to mix the liquid and prevent sediment from entering.

Using the biological method using activated sludge, it is possible to purify wastewater within the active reaction pH 6.5–9.2 at a temperature of 20 °C. An increase in the alkalinity of wastewater above pH 9.2 causes a progressive decrease in oxygen consumption and the death of microorganisms [7].

Currently, in the textile industry, only 20 % of fabrics are produced by dyed with durable and especially durable dyes, and 70 % of fabrics are dyed with sulfur dyes. A significant predominance of alkaline reagents over acidic and neutral (75–80 %), as well as discharges of unused mercerizing liquors into the sewer, leads to an increase in the alkalinity of wastewater with an increase in the activity of the pH to 11–12.5 [1]. The high alkalinity of the wastewater of textile enterprises creates certain difficulties in the treatment of these waters in the system of city-wide treatment facilities, where the main method is biological treatment. The pH value of wastewater significantly affects the life of microorganisms.

The novelty of the work lies in the development of a method and apparatus for wastewater treatment of textile enterprises with flue gas from a CHP plant. From an economic point of view, the proposed method is most preferred. It does not require the use of sulfuric acid to neutralize alkaline effluents.

Statement of the main material. Recently, in many countries, the question of using as a neutralizing agent for alkaline wastewater, boiler exhaust gas, which is available at each textile mill, has been investigated.

Our proposed method of neutralizing alkaline wastewater with flue gases is carried out in scrubbers [8; 9]. As a result of the absorption of sulfur dioxide and carbon dioxide, which are contained in flue gases, acid is formed, which is necessary to neutralize the alkali. Discoloration of wastewater with ash formed during the combustion of coal occurs as a result of adsorption of colored organic compounds in wastewater by carbon. Fly ash, due to its large surface area and high carbon content (over 40 %), is a good adsorbent.

It should be noted that the appropriateness of using this method of wastewater neutralization is not in doubt.

To study the process of neutralizing wastewater with the waste gases of a CHP, studies were conducted in a laboratory setting. Research was conducted on the basis of natural wastewater and an air mixture containing sulfur dioxide. The task of laboratory research was to study the influence of various physicochemical factors on the process of neutralizing wastewater, identifying the optimal parameters of the neutralization process, and obtaining a mathematical model of the process.

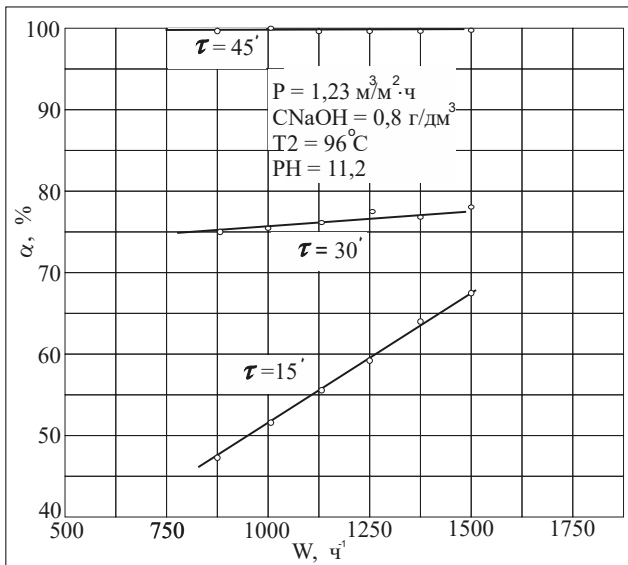


Fig. 1. The effect of the gas volumetric velocity on the degree of neutralization of wastewater.

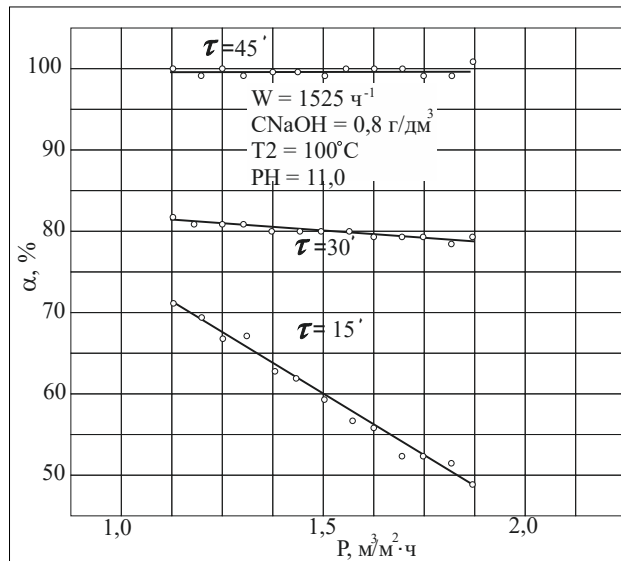
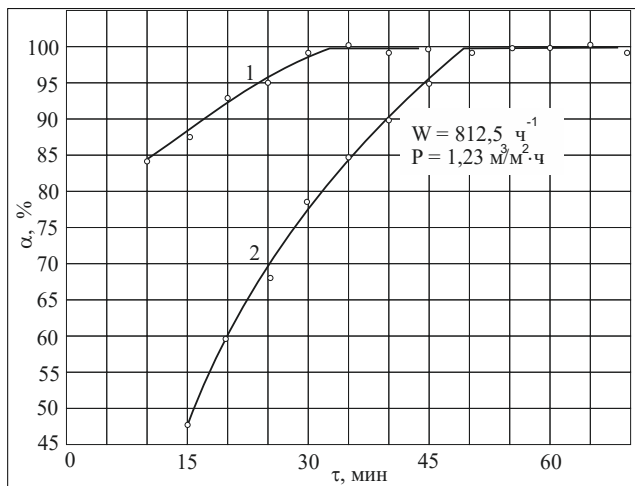
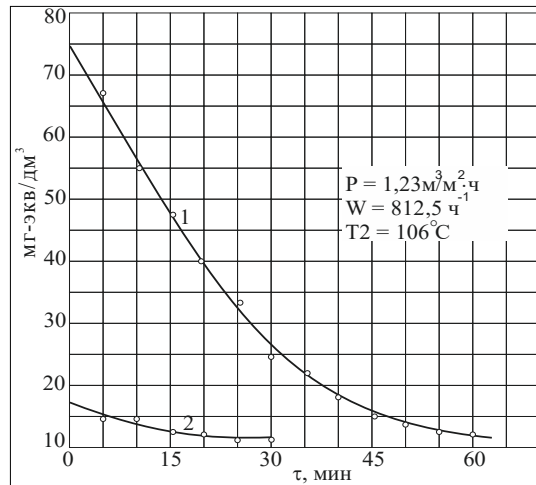


Fig. 2. The effect of irrigation density on the degree of neutralization of wastewater



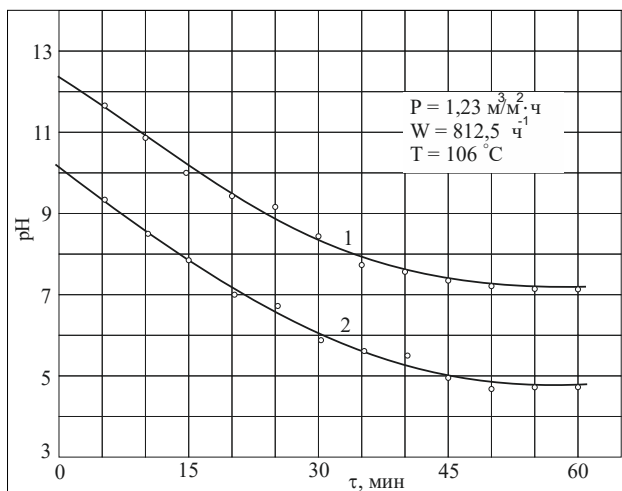
1 – pH = 10,1; 2 – pH = 11,0.

Fig. 3. The influence of the circulation time of the solution on the degree of neutralization



1 – pH_{initial} = 75 $\text{мг-экв}/\text{дм}^3$; 2 – pH_{initial} = 12,3 $\text{мг-экв}/\text{дм}^3$

Fig. 4. The effect of circulation time on the alkalinity of the solution



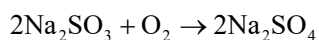
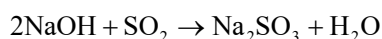
1 – pH_{initial} = 12,3; 2 – pH_{initial} = 10,4

Fig. 5. The effect of circulation time on the pH of the solution

Research in a laboratory setup was carried out by the method of mathematical design of the experiment. The choice of such an experimental technique can significantly reduce the time and material costs of research work. In addition, using mathematical methods for optimal design of an experiment, one can obtain a mathematical model of the process. This makes it possible to judge the degree of influence of various factors on the process under study, quantitatively determine the degree of the process, find the optimal parameters for the process.

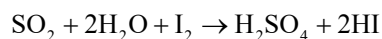
In the present work, the method of the full factorial experiment was applied, which makes it possible to obtain a mathematical description of the process under study in a certain local region of the studied parameters.

When the exhaust gases pass through the wastewater, they are neutralized by sulfur dioxide. The neutralization process can be expressed by the following equations:



Total alkalinity (or acidity after the neutralization process) was determined by direct testing of the effluent sample (100 ml) with a mixed indicator. The application of this method makes it possible to determine the active pH reaction in a wide range with fairly high accuracy in colored and turbid waters.

Determination of the concentration of sulfur dioxide in the gas mixture before and after the neutralization process was carried out by the iodometric method according to the reaction:



On the basis of experimental data, the influence of various factors on the degree of neutralization of wastewater was established.

The main findings. The basic laws of the processes and the conditions of industrial application are determined, the effectiveness of the developed equipment is shown. The research results showed that the proposed method of neutralization fully meets the requirements for the quality of discharged effluents. In addition, a large economic effect is achieved due to the saving of sulfuric acid required to neutralize wastewater with existing methods.

References

1. Кузнецов И.Е., Троицкая Т.М. Защита воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами. М.: Химия, 1979. 344 с.
2. Кузнецов И.Е., Шмат К.И., Кузнецов С.И. Оборудование для санитарной очистки газов. Киев: Техника, 1989. 304 с.
3. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004. 328 с.
4. Мазаев В.Т., Ильницкий А.П., Шлепнина Т.Г. Руководство по гигиене питьевой воды и питьевого водоснабжения. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2008. 320 с.
5. Сточные воды // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А.М. Прохоров. 3-е изд. М. : Советская энциклопедия, 1969–1978.
6. Глембоцкий В. А. Флотационные методы обогащения. М. : Наука, 1981. С. 202.
7. Савичев О. Г. Биологическая очистка сточных вод с использованием болотных биогеоценозов // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. 2008. Т. 312, № 1 : Науки о Земле. С. 69–74.
8. Патент на винахід України UA 62855A Україна, МПК 7 B01D47/00, C10K1/00. Спосіб очищення відхідних газів котельних від оксиду вуглецю та пристрій для його реалізації / Кузнецов С.І. (Україна); Заявл.04.09.03; Опубл. 15.12.03, Бюл. № 12, 2003.
9. Патент на винахід України UA 62856A Україна, МПК 7B01D47/00, B01D47/08, C10K1/00, C10K1/34. Спосіб очищення відхідних газів котельних текстильних підприємств / Кузнецов С.І. (Україна); Заявл. 04.09.03; Опубл. 15.12.03. Бюл. № 12, 2003.

СУЧАСНІ МЕТОДИ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДОГО ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА В КОМБІНОВАНИХ ПАРОГАЗОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Кулик М.П.¹, Семерак М.М.², Кравець Т.Ю.²

¹Івано-Франківський НТУ нафти і газу

вул. Карпатська 15, 76009, м. Івано-Франківськ

²Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів

kravets@ukr.net, m_p_kulik@ukr.net

Енергетика України відрізняється від енергетики більшості країн Європи нестачею маневрових потужностей, які використовуються для покриття пікових навантажень. Діючі електричні станції в Україні, що побудовані у 20-ому столітті, в більшості своїй вичерпали свій проектний ресурс. А потужностей гідроакмулюючих електростанцій недостатньо, тому для покриття пікових навантажень часто використовують вугільні блоки теплових станцій. Часті їх зупинки та пуски прискорюють зношеність вугільних блоків, підвищують ризики появи аварійних ситуацій та погіршують екологічну ситуацію через збільшений вплив на довкілля. У сфері теплової енергетики відомий, крім парового циклу генерації, газовий цикл, який при наявності деякої інфраструктури в Україні широко не використовується. Автори, на основі аналізу публікацій показали, що при поєднанні парової та газової генерації в комбінованих парогазових енергетичних установках, особливо у тих, які працюють на твердому органічному паливі, загальний коефіцієнт корисної дії може зрости на 5–10 %. При цьому робоче тіло для газової генерації формується у додатковому передтопку циклонного типу, а продукти неповного згоряння поступають у основну топку. Така комбінована енергетична установка характеризується значно вищою мобільністю (швидким набором чи зменшенням потужності), а також зростає діапазон її зміни, що покращує маневровість установки. На спалювання палива в таких установках (в додатковий передтопок та основну топку) подається атмосферне повітря, збагачене киснем з використанням мембранних технологій. А робоче тіло для газової генерації формується на основі азотної фракції, при цьому в окислювачі, який поступає в процес спалювання, зменшується частка азоту, що спричиняє зниження утворення окислів азоту. Цей факт, при зменшенні об'єму димових газів, суттєво покращує екологічну ситуацію, навіть при використанні кам'яного вугілля низької якості. *Ключові слова:* парова та газова генерація, азотна фракція, збагачене киснем атмосферне повітря, маневровість та мобільність енергоблоків, поліпшення екологічності.

Modern methods of burning solid fossil fuel in a combined steam and gas power plants. Kulyk M., Semerak M., Kravets T.

The energy sector of Ukraine differs from the energy sector in most European countries by the lack of manoeuvring capacities that are used to cover peak loads. Existing power plants in Ukraine have exhausted their design resources. The capacities of pumped storage power plants are insufficient; therefore, coal power units of thermal power plants are often used to cover peak loads. Their frequent shutdowns and starts accelerate the wear of these power units, increase the likelihood of emergencies and worsen the environmental situation due to the growth of negative environmental impact. In the field of thermal energy, in addition to the steam generation cycle, the gas cycle is known, which, if there is some infrastructure in Ukraine, is not used. The authors argue that with a combination of steam and gas generation in combined cycle gas power plants, the overall efficiency can increase by 5–10 %, including those that run on solid fossil fuels. In this case, the working fluid for gas generation is formed in an additional cyclone pre-furnace, and the products of incomplete combustion are fed into the main furnace. Such a combined power plant is characterized by increased manoeuvrability, and the range of changes in its power is also growing. It is proposed to supply atmospheric air enriched with oxygen using membrane technologies for fuel combustion in such plants. The working fluid for gas generation is formed on the basis of the nitrogen fraction, while the fraction of nitrogen in the oxidizer, which enters the combustion process, reduces the formation of its oxides. Under such conditions, the volume of flue gases decreases, the environmental situation improves significantly, even when using low-quality coal. *Key words:* steam and gas generation, nitrogen fraction, atmospheric air enriched with oxygen, manoeuvrability and mobility of power units, environmental friendliness improvement.

Постановка проблеми. Енергетична система більшості країн Європи та деяких країн на інших континентах, в тому числі енергетика пострадянських країн, та, зокрема, України базується на теплових (ТЕС), атомних (АЕС), гідро- (ГЕС) та гідроакмулюючих (ГАЕС) електростанціях, а також на альтернативних та відновлювальних джерелах генерації. В структурі потужностей об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України спостерігається дефі-

цит маневрових потужностей [1–3]. Використання з цією метою вугільних блоків ТЕС, більшість яких побудовані у 60–70-тих роках минулого століття, підвищує ризики виникнення аварійних ситуацій на територіях їх розташування, та прискорює зношеність вказаних блоків, більшість з яких вже відпрацювали свій проектний ресурс.

Вказані недоліки відсутні у парогазових енергетичних установках, які в енергетиці України при

наявності інфраструктури в плані проектування, відповідної кількості рідкого і газового палива та випуску газових турбін [4], чомусь не використовуються.

Аналіз досліджень та публікацій. Новітні підходи в традиційній енергетиці полягають в поєднанні в одній енергетичній установці парової та газової турбоустановок, при чому газова турбіна повинна працювати на паливі, яке найбільш доступне в сфері теплової енергетики. Звідси витікає необхідність використання вугілля, мазуту чи природного газу, та застосування для нагріву робочого тіла газової турбіни тепла спалювання традиційного палива. Часткове вирішення таких задач запропоновано в роботах [5; 6; 7]. Однак в них немає комплексного підходу до співвідношення часток парової та газової частин.

Прообразом такого підходу до енергетичних установок слід вважати схоже технічне рішення німецьких інженерів (патент ФРН № 839290, «Парогазова теплосилова установка», 1944 р.). У вказаному патенті німецькі інженери запропонували частину неохолоджених димових газів після очищення від твердих включень скеровувати до газової турбіни, яка за допомогою окремого електрогенератора вироблятиме додаткову кількість електричної енергії.

Аналіз ефективності роботи комбінованої парогазової енергетичної установки, парова та газова генерація яких працює з використанням робочого тіла, отриманого при допомозі тепла від спалювання твердого органічного палива, проведений в роботах [8; 9]. Авторами цих робіт зроблений висновок, що за умови розподілу основного енергетичного ресурсу, тобто кам'яного вугілля, по схемі 50 % / 50 %, коефіцієнт корисної дії може зрости, як мінімум, на 5 %.

Уже тривалий період для зменшення утворення оксидів азоту використовують ступеневе спалювання палива усіх видів в котельних агрегатах з подачею атмосферного повітря з різними значеннями коефіцієнту надлишку повітря, причому, як пропонують автори роботи [10], надлишок повітря на першій ступені $\alpha_1 = 0.8-0.85$, і на другій $\alpha_2 = 1.2-1.3$. Це забезпечує зниження утворення оксидів азоту на 40–50 %. У випадку триступеневого спалювання палива співвідношення коефіцієнтів надлишку повітря буде дещо іншим.

Крім ступеневого спалювання палива, існує стадійне спалювання (двох - або трьохстадійне), з використанням основної та додаткової топки, найчастіше циклонного типу, яке теж має свої переваги.

Виділення невирішених частин проблеми. Метою даної роботи є покращення маневровості енергетичної установки – розширення діапазону зміни потужності та підвищення її мобільності, під якою розуміють швидкість набору (або зниження) потужності.

Якість викопного органічного палива – кам'яного вугілля всіх марок постійно погіршується, а в далекій перспективі поліпшення не передбачається,

тому одночасно із збільшенням перехідних режимів в роботі вугільних енергоблоків, виникає проблема скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря.

Викладення основного матеріалу. Одна із можливих реалізацій двохстадійного спалювання твердого палива з використанням теплоти, отриманої на першій стадії, для забезпечення роботи газової турбіни, запропонована в роботі [11], а блочна схема такої установки приведена на рис. 1.

Згідно розробленій конструкції на початковій стадії в рубашці охолодження додаткової топки (циклонного передтопка) формується робоче середовище. Особливістю запропонованої енергетичної установки є те, що компресор виконаний, щонайменше у вигляді двох ступіней, а пристрій збагачення повітря киснем включений між ступенями, та з'єднаний також ще і з газгольдером азоту.

Потоки вугільного пилу можуть перерозподілятися (частина іде в додатковий циклонний передтопок (додаткову топку) і потрапляє в котельний агрегат, інша частина подається безпосередньо в котельний агрегат минаючи додаткову топку.

Енергетична установка описаної конструкції працює наступним чином. В додаткову топку 2 поступає вугілля низької якості, де починається горіння, а в топці 1 воно догорає, а гази (тобто продукти горіння) віддають тепло в пароперегрівачі котлової води, утворюючи при цьому перегрітий пар. В такий спосіб реалізується паровий цикл генерації електричної енергії.

В першій ступені компресора 4 Атмосферне повітря в першій ступені компресора 4 стискується і поступає в пристрій збагачення повітря киснем 6, а збагачена киснем суміш, другою ступенню 5 компресора подається по лінії 17 в нижню частину додаткової топки 2.

Менший об'єм збагаченої суміші проходить через рубашку 9 додаткової топки, де тепловими трубками 11 нагрівається до необхідних для ГТУ параметрів, і по лінії 15 поступає на вхід газової турбіни, яка розкручуючи окремий електрогенератор виробляє електроенергію. Відпрацьоване робоче тіло газової генерації іде на часткове спалювання палива у додатковій топці.

Значно більший об'єм загаченої киснем суміші йде в основну топку для інтенсивного спалювання основної частки палива разом із недопалом із додаткової топки.

Робоче тіло ГТУ після турбіни, характеризується ще досить високою температурою, поступає по повітропроводу 14 на вхід додаткової топки 2, куди по лінії 16 подачі палива поступає на горіння низькосортне вугілля. В рубашці 9 додаткової топки 42 знаходиться збагачена киснем повітряна суміш, що нагрівається досконалим теплопередавальним пристроєм (тепловими трубками) теплом від часткового спалювання вугілля.

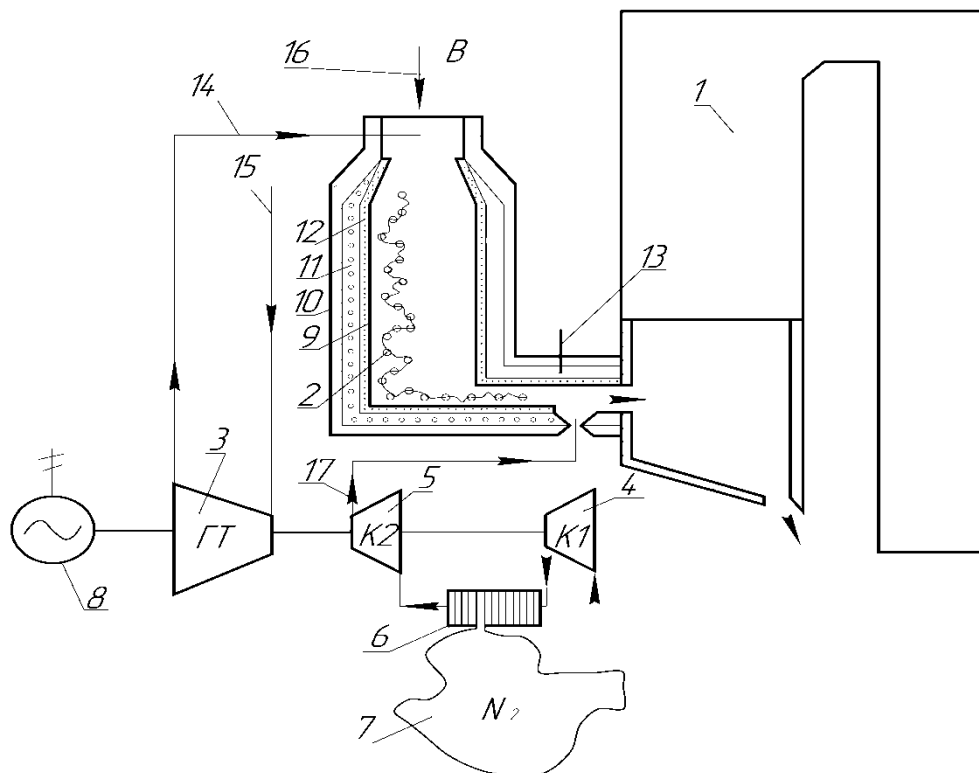


Рис. 1 Схема парогазової установки з додатковою топкою та розділювачем повітря

1, 2 – основна і додаткова топка, 3 – газова турбіна, 4, 5 – перша і друга ступінь компресора, 6 – пристрій збагачення повітря киснем, 7 – газгольдер-накопичувач азоту, 8 – електричний генератор газової частини, 9 – повітряна рубашка додаткової топки, 10 – зовнішня теплоізоляція додаткової топки, 11 – теплові трубки, 12 – внутрішня стінка додаткової топки, 13 – лінія вприску водяної пари в рубашку додаткової топки, 14 – лінія вихлопу газової турбіни, 15 – лінія робочого тіла на газову турбіну, 16 – подача палива в додаткову топку, 17 – лінія подачі збагаченого киснем повітря в рубашку додаткової топки

Оскільки в цій суміші вміст азоту дещо нижчий ніж в атмосферному повітрі, то в додатковій топці 2, як і в основній топці 1 котельного агрегату утворюються окисли азоту відповідно у менших кількостях, як в установках звичайного типу.

Таким чином, описана енергетична установка дозволяє значно знизити шкідливі викиди в атмосферне повітря, а також зменшити об'єм димових газів, оскільки не потрібно подавати на горіння атмосферне повітря з відповідним коефіцієнтом його надлишку. При цьому значно підвищується ефективність спалювання низькосортного твердого палива через те, що реакція утворення окислів азоту є ендотермічною, то підвищується температура в зоні горіння.

Однак, ефективність такої енергетичної установки дещо знижується необхідністю наповнення газгольдера-накопичувача, в якому зберігається суміш, збагачена азотом. В цьому випадку розділювач атмосферного повітря на компоненти, найбільш ефективно може працювати з використанням мембранних технологій, працює в «половину сили».

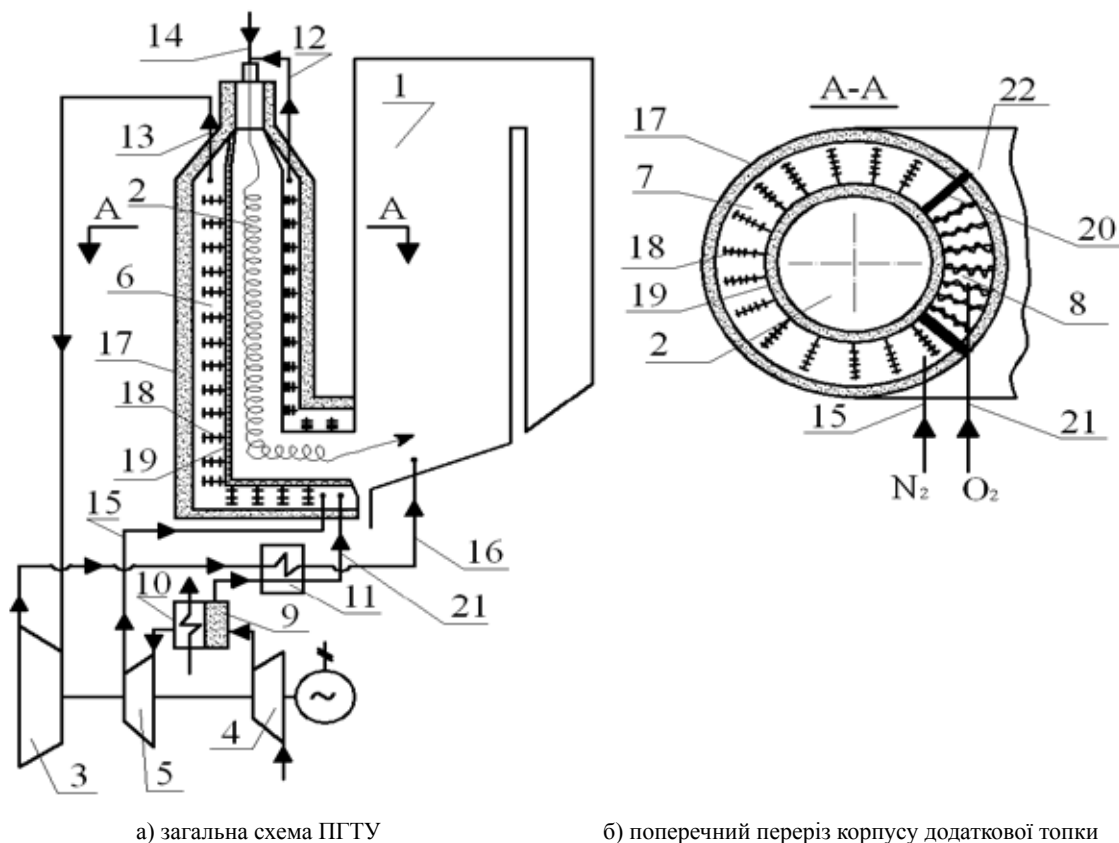
Детальний аналіз стану наявних технологій розділення повітря проведений авторами роботи [12]. Ці технології придатні для використання в процесах спалювання органічного палива, зокрема вугільного пилу, під час модернізації об'єктів теплової енерге-

тики з переходом на спільну генерацію за паровим та газовим циклами. Аналіз некріогенних методів розділення повітря та їх перспективи використання в промисловості, зокрема в хімічній - для отримання азоту при синтезі аміаку, проведений в роботі [13].

Подальше вдосконалення вищезгаданої комбінованої енергетичної установки [11] привело до розділення міжкорпусного об'єму додаткової топки на два відсіки – азотний і кисневий [14].

Принципова схема такої комбінованої енергетичної установки, в якій реалізується паровий та газовий цикл генерації електричної енергії, а додаткова топка містить два відсіки (один – для азотної фракції та кисневий – для атмосферного повітря збагаченого киснем) приведена на рис. 2. На рис. 2а показана загальна принципова схема, а на рис. 2б приводиться поперечний переріз корпусу додаткової топки, що включає азотний 7 та кисневий 8 відсіки.

Особливість цієї енергетичної установки полягає в тому, що отримані продукти розділення атмосферного повітря (збагачена фракція киснем і азотна фракція) використовуються для різних потреб. Збагачене киснем атмосферне повітря нагрівається у теплообміннику-регенераторі 11 відхідними газами турбіни 3 по лінії 21 попадає у кисневий відсік 8 додаткового передтопка, після наступного перегріву подається на запалювання пилоподібної суміші.



а) загальна схема ПГТУ

б) поперечний переріз корпусу додаткової топки

Рис. 2. Схема комбінованої енергетичної установки з мембранним розділювачем повітря та азотним і кисневим відсіками

1 – основна топка; 2 – додаткова топка; 3 – газова турбіна, 4, 5 – ступені Компресора; 6 – об’єм для охолодження; 7, 8 – азотна і киснева частина топки; 9 – мембранний розділювач повітря; 10 – охолодник; 11 – теплообмінник-регенератор; 12 – вихідний патрубок кисневої частини; 13 – лінія робочого тіла (азоту) на газову турбіну; 14 – тракт подачі палива в додаткову топку; 15 – лінія стиснутого азоту на нагрів; 16 – лінія вихлопу газової турбіни; 17 – теплоізоляція додаткової топки; 18 – теплові трубки; 19, 20 – внутрішня і роздільна стінки; 21 – киснева лінія на нагрівання; 22 – лінія скидання із додаткової топки

Азотна фракція атмосферного повітря після охолодника 10 по лінії 15 поступає у азотний відсік 7 додаткової топки, а після нагріву за допомогою теплових трубок 18, як робоче тіло з наперед заданими параметрами (тиском і температурою), скеровується по лінії 13 у газову турбіну.

Нагріта суміш збагачена киснем інтенсифікує процеси горіння у додатковій топці, а наявність у ньому значно меншої кількості азоту, ніж у звичайному повітрі, запобігає утворенню оксидів азоту, чим досягається суттєвий екологічний ефект.

На рис. 4б показаний поперечний перетин додаткової топки 2, яка виконана за схемою циклона з подвійними стінками, простір між якими розділений на два відсіки – азотний, в якому формується робоче тіло для газової генерації, а також кисневий, в якому атмосферне повітря, збагачене киснем, спочатку підігривається а в подальшому поступає на спалювання твердого палива.

Висновки. Запроновані в цьому дослідженні підходи до спалювання твердого органічного палива в комбінованих парогазових установках та проведення аналіз роботи таких установок дозволяє підсумувати наступне:

- енергетичні установки, з поєднанням парової та газової генерації, суттєво покращують маневровість та мобільність процесу виробництва електроенергії, що забезпечує покриття пікових навантажень;
- спалювання органічного палива в повітрі, збагаченому киснем, дозволяє використовувати паливо низької якості;
- внаслідок подачі у процес спалювання збагаченого киснем повітря зменшується об’єм димових газів, концентрація утворених оксидів азоту через меншу кількість атмосферного азоту, тобто покращується екологічна ситуація в зоні розташування теплової електростанції із вугільними енергоблоками.

Література

1. Воронцов С. Про відповідність Енергетичної стратегії України на період до 2030 року сучасним викликам і загрозам у сфері енергетичної безпеки. Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/470/>.
2. Мацевитий Ю.М., Стогний Б.С., Шидловский А.К. Научно-техническое обеспечение долгосрочных планов развития энергетики Украины. Энергетика та електрифікація. 2013. № 1. С. 48–52.

3. Праховник А.В. Развитие маневренной генерации ОЭС Украины как фактор повышения энергетической безопасности государства // А.В. Праховник, В.А.Попов, В.Ф.Находов, А.Г.Баталов, К.Б. Денисович. Энергетика та електрифікація. 2008. № 7. С. 9–12.
4. Патон Б.Є., Долинський А.А., Халатов А.А. і інші. Перспективи розвитку вітчизняної парогазової технології. Вісник НАН України (Київ). 2009. № 4. С. 61–69.
5. Кулик М.П. Підвищення ефективності комбінованих парогазотурбінних енергетичних установок та зменшення екологічного забруднення навколишнього середовища. Вісник Вінницького політехнічного інституту. № 5, 2008 р., С. 107–111.
6. Грінченко Д.М., Кулик М.П. Спосіб роботи енергетичної установки. Авт. свід. СРСР № 1188338, БВ № 40, 1985 р.
7. Пеньков В.І., Грінченко Д.М., Кулик М.П. Енергетична установка. Патент України № 18856, БВ № 6, 1997 р.
8. Семчук Я.М. Екологічні та техніко-економічні аспекти спільної роботи паро-газотурбінних енергетичних установок. / Я.М. Семчук, М.П. Кулик. Нафтогазова енергетика. 2008 р. № 1(6). С. 65–68.
9. Kulyk M.P. Analysis of the Possibility of Using Coal Technologies to Improve Manoeuvrability, Mobility and Ecological Compatibility of Thermal Power Plant Units / M.P. Kulyk, O.M. Mandryk, Y.S. Mysak. Geomatics and Environmental Engineering, No 2, Volume 10, 2016. P. 39–42.
10. Мисак Й.С. Об'єкти теплових електричних станцій. Режим роботи та експлуатації / Й.С. Мисак, Я.Ф. Івасик, П.О. Гут, Н.М. Лашковська. Видавництво НУ «Львівська політехніка», Львів. 2007. 254 с.
11. Пеньков В.І. Енергетична установка. / В.І. Пеньков, Д.М. Грінченко, М.П. Кулик. Патент України № 18 856, БВ. № 6, 1997 р.
12. Кулик М.П. Аналіз наявних технологій розділення повітря для підвищення ефективності спалювання палива в теплоенергетиці. / М.П. Кулик, Т.Ю. Кравець, М.М. Семерак. «Екологічні науки», № 21. 2018 р. С. 59–66.
13. Кириченко В.І. Некріогенні технології виробництва. 2. Мембранні системи виробництва кисню і перспективи їх розвитку / В.І. Кириченко, В.К. Осокіна, Б.Д. Рісюк, І.М. Новіков, О.Г. Голубов. Хім. пром-сть України. 2008. № 6. С. 58–68.
14. Грінченко Д.М., Енергетична установка. / Д.М. Грінченко, М.П. Кулик. Авт. свід. СРСР № 1813884, БВ № 17, 1993 р.

НАУКОВІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ ВУГЛЕВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Луньова О.В.

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

У роботі викладені результати досліджень, які спрямовані на розвиток наукових основ управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств Центрального району Донбасу і враховують особливості впливу чинників на процес формування та ефективне управління їх екологічним станом, а також створюють передумови для зменшення екологічних ризиків внаслідок їх функціонування в сучасних умовах. Мета роботи – розкриття особливостей впливу чинників на процес формування екологічної безпеки промислових комплексів вуглевидобувних підприємств Центрального району Донбасу в сучасних умовах як підгрунтя наукових основ управління їх екологічною безпекою. Розроблено науково-методологічні основи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств Центрального району Донбасу, які враховують вплив техногенних чинників за останні п'ять років в умовах соціальної напруженості, створюють передумови забезпечення прийнятних екологічних ризиків промислових комплексів вуглевидобувних підприємств на довкілля. Розроблено методологію інтегрованого підходу до оцінки ступеня екологічної небезпеки діяльності промислових комплексів вуглевидобувних підприємств, запропоновано алгоритм комплексного оцінювання екологічних ризиків. Розроблено методику використання ортотрансформованих космічних знімків з метою виявлення відповідних промислових комплексів вуглевидобувних підприємств, їх впливу на зміни концентрованих деформаційних процесів земної поверхні. Запропоновані управлінські рішення щодо забезпечення екологічної безпеки з рішення реальних задач на підприємствах. Розроблені рекомендації щодо формування системи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств Центрального району Донбасу, яка включає методики застосування космічних знімків, інтегрального показника екологічного впливу та відповідні управлінські заходи. *Ключові слова:* екологічна безпека, довкілля, екологічний ризик, техноекосистема, екологічний моніторинг, промислові комплекси вуглевидобувних підприємств, деформація, зсування, підтоплення.

The scientific foundations of ecological safety management at coal-mining enterprises. Lunova O.

The study contains the principal ideas reflecting the scientific fundamentals, which ensure the environmental safety for coal-mining enterprises of Donbas central regions. They involve factors, which affect the environmental conditions and effective management taking into account the feature of the region. The aim of the study is to discover how the factors affect the process of ecological safety formation at industrial facilities, particularly at the enterprises of Central Donbas region. The author has developed the methodological basics aiming at effective safety management for coal-mining enterprises of Donetsk regions. Such approach involve a social unrest feature of Donetsk region, which took place within last 5 years. The author has proposed an integrated approach allowing estimating the level of industrial environmental safety for coal-mining facilities. In the study, a new approach of space orthoimagery application proposed. The developed approach helps detecting industrial facilities, which are involved into coal mining. It also allows evaluating how such enterprises affects the Earth surface. Based on it the study gives a set of management decisions ensuring the environmental safety. In the work, the author gives recommendations regarding the environmental safety complex at industrial facilities of Donbas central region. It comprises the following methodologies: space images application, implementation of integral indicator, and corresponding management decisions. The scientific-methodological statements and practical recommendations stated in this qualification research may be applied in the contemporary terms during measures ensuring the environment safety resulted from mining enterprises of Donbas techno-ecosystems taking into account the impact of not controlled dangerous facilities. The provision of the environment renovation of Donbas' TES is a significant factor establishing environment protection activity in the region, which corresponds to the requirements paragraph 4 "Reducing of ecological risks..." of the Strategy of the environment policy by 2030. The main task of it is a resolving of the ecological issues, renovation and preservation of Donbas environment and an inherent component of Ukrainian economic and social sustainability. *Key words:* ecological safety, environmental, ecological risks, techno ecosystem, monitoring, industrial coal mining facilities, deformation, land displacement, waterlogging, environmentally balanced development.

Постановка проблеми. Активна людська діяльність в наукових дослідженнях біосфери включає не тільки природні, а й природно-техногенні екологічні системи (техноекосистеми) для збереження своєї структури самопідтримання й саморегуляції. [1]. Екологічні системи з антропогенними компонентами (будинки, заповідники і споруди) входять в специфічні неживі складові в нову організацію живого покриву Землі [2]. Термін

і поняття екосистеми були запропоновані британським ботаником і екологом А. Тенслі [3]. Якими б важливими не були для нас дослідження власне живих організмів, відзначав він, при цьому необхідно розуміти, що вони існують у тісному зв'язку з середовищем проживання і утворюють з ним єдину фізичну систему.

У працях В.І. Вернадського на початку ХХ століття також висловлювалися ідеї щодо тісного

взаємозв'язку живої і неживої речовини в біосфері. Але заслуга А. Тенслі полягає не тільки в тому, що він ввів термін «екосистема», але й обґрунтував системний підхід до вивчення екології взагалі. Екологія, яку називали екологією Е. Геккеля (ввів цей термін у 1866 р), стала наукою про економію, способи життя, зовнішні життєві відносини організмів один з одним і почала перетворюватися в системну екологію, яка описувала існування життя на нашій планеті як систему ієрархічних систем.

Одночасно пріоритет терміну й обґрунтування поняття «антропогенна екосистема» належить А. Тенслі. На сьогодні класифікація антропогенних екосистем ще не розроблена, але можна виділити три їх типи: агро-, техно- та урбоекосистеми.

Термін «*techno-ecosystem*» використовував Е. Odum [4], але термінологічний пріоритет належить Z. Nevech [5]. Який звернув увагу на корінну відмінність природних і техноекосистем: якщо перші залежать від енергії сонця, то другі – від енергії різного палива [6].

Тобто існує клас екосистем, в яких одним із елементів виступають різні технічні об'єкти та системи: підприємства (вугільні, хімічні, металургічні), електростанції, спеціальні водні об'єкти технічного призначення, транспортні засоби та шляхи, пристрої та системи різних виробництв, території, зайняті технічними об'єктами і ними трансформовані, частини акваторій, системи водопостачання та тощо. Немає практично жодної технічної системи, яка б будь-яким чином не була пов'язана з природними – ландшафтом, рослинністю, тваринним світом, мікроорганізмами, ґрунтами. Перефразовуючи А. Тенслі, можна сказати, що технічні об'єкти утворюють з природними «одну фізичну систему».

Дослідженнями встановлено, що різні види діяльності людини на гірничовидобувних підприємствах у межах конкретної техноекосистеми мають в собі ті чи інші загрози та ризики, які, за певних умов, виявляються і можуть мати негативні наслідки для усієї системи у цілому та її структурних складових. Це пов'язано з тим, що під час розробки вугільних родовищ вони зумовлюють з необхідність мати відповідні рішення щодо забезпечення експлуатаційної технологічної й екологічної безпеки в зоні гірничовидобувних робіт. Для цього необхідні ефективні форми управління екологічною безпекою, розуміння суті загроз і ризиків, розробка та реалізація стратегії становлення до них, під час видобування корисних копалин. Ризики постійно присутні в господарській діяльності людини, однак вивчені недостатньо, адже вони, як категорія, практично не розглядалися, як об'єкти теоретичних досліджень. На думку В. Маршалла, ризик – це частота реалізації загрози, а загроза – природне чи техногенне явище, за якого можлива поява явищ або процесів, здатних уражувати людей, завдавати матеріальних збитків, руй-

нувати довкілля. Саме таке тлумачення ризику найбільш поширене в науково-технічних публікаціях.

Підземна експлуатація промислових комплексів гірничовидобувних підприємств за своєю специфікою характеризується розвитком численних загроз та форм ризиків та особливими ознаками їх протікання. При цьому освоєння підземних родовищ на сьогодні зустрічається з проблемами забезпечення технологічної й експлуатаційної безпеки, захисту людини і довкілля. Природні та технологічні катастрофи під час освоєння підземних надр мають різноманітні наслідки. Що потребує залучення єдиної міри оцінки наслідків або відповідних вагових категорій, що зводять різні екологічні результати до єдиного базису. Незважаючи на відносний характер таких оцінок, дослідження за оцінкою ризику потрібні передусім для того, щоб мати можливість порівнювати ризик від нових технічних рішень з ризиком від природних катастроф (чи екологічним ризиком).

Шмандій В.М. у своїй праці «Екологічна безпека» висвітлює питання формування умов виникнення екологічної безпеки та управління нею в умовах надзвичайних ситуацій. Однак в роботі не визначено вплив чинників на процес формування екологічної безпеки.

У монографії «Гідрогеологічні та геомеханічні фактори екологічної безпеки навколишнього середовища в умовах реформування вугільної галузі» (Улицький О.А., Єрмаков В.М. та ін.) розглянуть закономірності впливу вугільних шахт, що закриваються, на зміни гідрогеологічних та екологічних параметрів навколишнього середовища, дослідження технологічні, технічні та екологічні завдання з екологічної безпеки природно-техногенних геосистем у вугільних регіонах. Качинський А.Б. розглядає ризик як кількісну міру небезпеки, яка дорівнює добутку ймовірності реалізації цієї загрози на ймовірність величини можливого збитку від неї.

Іноземні фахівці (Sornette D., Maillart T., Kroger W.) пропонують використовувати апарат ймовірнісного аналізу безпеки, який заснований на моделюванні небезпек і сценарному підході. Plattner Th., Plapp T. and Hebel V. під ризиком розуміють очікуваний збиток, а облік індивідуального сприйняття ризику пропонують здійснювати шляхом введення коригуючого множника. Оцінка збитку при загибелі людей виконується з урахуванням вартості життя, вираженої в грошових одиницях, а сама проблема оцінки вартості життя розглядається в роботах Bowen C. та Verdonck F.

Однак практична значущість таких результатів, ще не розглянута досконало в умовах сучасного підходу, але, до освоєння підземного простору проблема екологічної безпеки й еколого-техногенних ризиків набуває особливого значення для гірничовидобувної промисловості. Тому недостатня визначеність впливу чинників на процес формування екологічної

небезпеки промислових комплексів вуглеводобувних підприємств у сучасних умовах та ефективності систем управління через показник екологічної безпеки зумовлює необхідність проведення досліджень у цьому напрямі.

Отже, розвиток наукових основ управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглеводобувних підприємств Центрального району Донбасу (ЦРД), які враховують особливості впливу чинників на процеси формування та ефективність управління їхнім екологічним станом, є актуальною науковою проблемою вирішення якої є науковим підґрунтям подальшого прогресу щодо зменшення їх негативного впливу на довкілля.

Мета та задачі дослідження. Мета роботи – визначення особливостей впливу чинників на процес формування екологічної безпеки промислових комплексів вуглеводобувних підприємств Центрального району Донбасу в сучасних умовах як підґрунтя наукових основ управління їх екологічною безпекою.

Для досягнення цієї мети необхідно:

- проаналізувати національний і світовий досвід щодо оцінювання екологічного стану, управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглеводобувних підприємств та виявити шляхи їх розвитку;

- обґрунтувати методологію, методи та методики проведення досліджень;

- вивчити вплив технологічних процесів промислових комплексів вуглеводобувних підприємств на техноекосистеми Центрального району Донбасу шляхом ідентифікації їх основних складових та визначити особливості впливу різних чинників на процес формування їх екологічного стану;

- обґрунтувати доцільність застосування та розрахувати інтегральний показник екологічного впливу на компоненти довкілля як індикатор ступеня їх екологічної безпеки в системі оцінювання та управління екологічною безпекою техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств;

- із застосуванням методу експертної оцінки обґрунтувати та визначити ступінь екологічної безпеки складових техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств та їхній вплив на компоненти довкілля;

- розробити методику застосування космічних знімків, які одержані з використанням GIS-технологій, та виявити динаміку вертикальних деформацій земної поверхні техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств Центрального району Донбасу;

- спрогнозувати ступінь екологічної безпеки промислових комплексів вуглеводобувних підприємств у реальному часі та оцінити ефективність системи управління екологічною безпекою Центрального району Донбасу в межах системи DEIS;

- розробити рекомендації щодо формування системи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглеводобувних підприємств Центрального району Донбасу, яка включає методики застосування космічних знімків, інтегрального показника екологічного впливу та відповідні управлінські заходи.

Матеріали та методи дослідження впливу чинників на формування екологічної безпеки промислових комплексів вуглеводобувних підприємств та ефективність систем управління їх екологічною безпекою.

Дослідження проводили з використанням ідентифікації джерел безпеки та їх територіальної структуризації як підґрунтя формування екологічної безпеки. Формування ідентифікації екологічних небезпек вивчали на 50 промислових комплексах вуглеводобувних підприємств Мінекоенерго за даними еколого-технічних показників у 2017 – 2019 роках в рамках науково-дослідної теми «Моніторинг виконання природоохоронних робіт та екологічного стану природного довкілля діючих та ліквідованих вугільних підприємств, розроблення пропозицій щодо його поліпшення», які розташовані на підконтрольній українській владі території.

На промислових комплексах вуглеводобувних підприємств, які розташовані на непідконтрольній українській владі території (в умовах відсутності можливості здійснювати постійний моніторинг стану довкілля і контролювати розвиток подій, пов'язаних із функціонуванням техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств), дослідження проводили за допомогою розробленої авторами методики застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки впливу промислових комплексів вугільних підприємств на функціонування техноекосистем. У рамках роботи з OSCE Project Coordinator in Ukraine за співпраці з Національним центром управління та випробувань космічних засобів на основі розробленої методики було проведено моніторинг техноекосистем Донецької і Луганської областей. Дослідження проводились за допомогою даних космічної радіолокаційної зйомки для виявлення зміщень земної поверхні та об'єктів, що спричинені порушенням технологічних циклів видобувної діяльності промислових комплексів та їх підтоплення з використанням супутникових радіолокаційних даних за період 2016–2018 рр. Екологічні ризики об'єктів промислових комплексів вуглеводобувних підприємств визначали на основі експертної оцінки з урахуванням інформації про вид їх діяльності та місця розташування в умовах відображення екологічної інформації в реальному часі на основі GIS-технологій.

Результати досліджень при удосконаленні системи управління екологічною безпекою.

Існуюча схема моніторингу та управління екобезпекою промислових підприємств не дозволяє

приймати обґрунтовані та ефективні управлінські рішення щодо досягнення еколого-збалансованого розвитку техноосистем промислових комплексів вуглевидобувних підприємств.

Загальну схему моніторингу та управління екобезпекою промислових підприємств показано на рис. 1.

Розробка та реалізація заходів переходу до еколого-збалансованого функціонування базуються на визначенні рейтингу природних компонентів за важливістю забезпечення їх саморегуляції. На базі рейтингу природних компонентів визначено першочерговість технологічних заходів щодо переходу техноосистем до еколого-збалансованого функціонування. Процес наближення техноосистем промислових комплексів вуглевидобувних підприємств до еколого-збалансованого розвитку контролюється шляхом оцінки кожного з етапів.

У роботі обґрунтовано необхідність розробки методології інтегрованого підходу до оцінки рівня екологічної небезпеки при формуванні техноосистем та методології вибору технологічних рішень для забезпечення збалансованого розвитку промислових комплексів вуглевидобувних підприємств з урахуванням прийняття оперативних управлінських рішень.

На основі цієї методології визначено принципи аналізу фактичних параметрів функціонування техноосистем, що відповідають параметрам еколого-збалансованого розвитку, та розроблено модель функціонування промислових комплексів вуглевидобувних підприємств, яка дозволяє візуалізувати в динаміці відносини і зв'язки модельованої системи у вигляді діаграми потоків ресурсів з означенням інформаційної взаємодії об'єктів. Концептуальну модель еколого-збалансованого функціонування промислових комплексів вуглевидобувних підприємств наведено у вигляді:

$$S = \{ N, RNT, RNH \} \cup \{ T, RTN, Rth \} \cup \{ H, RHN, RNT \}, \quad (1)$$

де N – множина (матриця) структурних елементів природної складової техноосистеми;

T – множина (матриця) структурних елементів техногенної складової техноосистеми;

H – множина (матриця) структурних елементів соціальної складової техноосистеми;

U – зв'язки між i -м і J -ми множинами.

Результати вибору множини (вектора) критеріїв оцінки функціонування промислових комплексів вуглевидобувних підприємств для оптимального технологічного рішення щодо забезпечення сталого функціонування промислових комплексів вуглевидобувних підприємств надають можливість знаходити зводиться до вибору найкращі комбінації елементів системи S за якої елементи вектора R монотонні.

Запропоновані принципи та модель є основою для еколого-збалансованого функціонування техноосистем та розробки рекомендацій щодо компенсаційних заходів забезпечення зниження екологічних ризиків.

Проведено ідентифікацію джерел небезпеки та їх територіальну структуризацію як підґрунтя формування екологічної небезпеки. У визначенні ідентифікації екологічних загроз взяли участь 50 промислових комплексів вуглевидобувних підприємств Мінекоенерго за даними 2017–2019 років. Виконано аналіз методів оцінки ризиків природного та техногенного походження [7].

На основі використання цих даних розроблено алгоритм комплексного оцінювання екологічних ризиків, який дозволяє мінімізувати їх негативний вплив на довкілля (рис. 2).

Екологічний ризик, який може проявлятися в антропогенному ризику, складається з природного і техногенного ризиків, які формують найбільш несприятливі наслідки для функціонування системи «масив – технологія – довкілля».

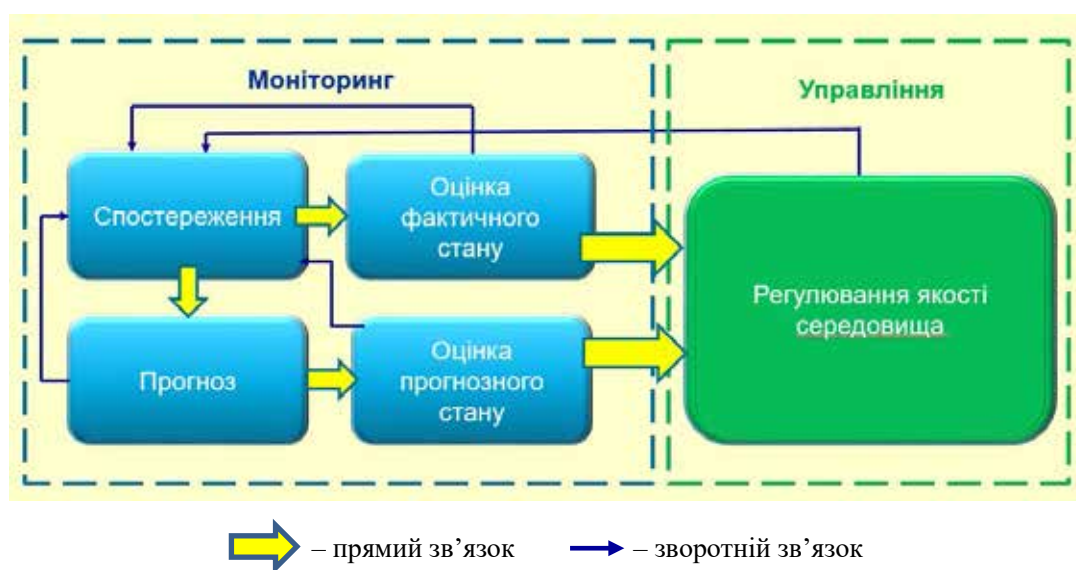


Рис. 1. Загальна схема моніторингу та управління екобезпекою промислових підприємств



Рис. 2. Алгоритм комплексного оцінювання екологічних ризиків

Таблиця 1

Шкала комплексної оцінки ступеня екологічної небезпеки

Категорія впливу, бали			Інтегральна оцінка, бал	Ступінь екологічної небезпеки	
Просторовий масштаб	Тимчасовий масштаб	Інтенсивність впливу		бали	вплив
Локальний 1	Короткочасний 1	Незначна 1	3	3–6	Низький (практично безпечний)
Обмежений 2	Середньої тривалості 2	Слабка 2	6		
Місцевий 3	Тривалий 3	Помірна 3	9	7–9	Середній (помірний)
Регіональний 4	Багаторічний 4	Потужна 4	12	10–12	Високий (катастрофічний)

Підхід до освоєння підземного простору побудовано за принципом ризику, який вимагає додержання таких вимог:

- відсутність шкоди для здоров'я людини;
- неминучість втрат у природних екологічних системах;
- зведення втрат у природних екологічних системах до мінімуму;
- реальна можливість відновлення втрат;
- сумірність між економічним ефектом і екологічним ризиком.

Науково обґрунтовано основи оцінювання екологічних небезпек ПКВП з метою оптимізації екологічного моніторингу в вугільній галузі за методами аналізу ієрархій Т. Сааті та «Делфі». Виявлено, що

вплив цих факторів на рівень загрози екологічної безпеки техноекосистем вугільних шахт доцільно оцінювати за 4-бальною шкалою шляхом безпосереднього обстеження чи спостереження за їх станом на територіях вугледобувних підприємств за даними Мінекоенерго. Середній бал комплексного оцінювання дорівнює 10,4.

По результатах аналізу одержаних даних можна зробити висновок, що загальне погіршення стану кожної складової техноекосистеми, тобто підвищення ступеня їх екологічної небезпеки на територіях вугледобувних регіонів, варто кількісно оцінювати за середніми балами, визначеними по окремих конкретних підприємствах. Розроблена шкала комплексної оцінки ступеню екологічної небезпеки (табл. 1).

Для визначення комплексного впливу на окремі компоненти довкілля необхідно використовувати таблиці з бальними критеріями впливу. Комплексний бал визначено за формулою:

$$Q_{\text{компл}} = q_t + q_s + q_i, \quad (2)$$

де $Q_{\text{компл}}$ – мкомплексний оцінюваний бал для заданого впливу;

q_t – бал часового впливу на компонент довкілля;

q_s – бал просторового впливу на компонент довкілля;

q_i – бал інтенсивності впливу на компонент довкілля.

Експертна оцінка ступеня екологічної небезпеки по конкретних вугільних підприємствах показала, що вплив здійснюється на всі компоненти навколишнього природного середовища.

Розраховано інтегральний показник екологічного впливу технологій на довкілля (ШЕВ), який враховує як прямі впливи (одержання готової продукції – вугілля), так і опосередковані, які існують при використанні допоміжних засобів (обладнання, транспортні пристрої та ін.).

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.

Визначені коефіцієнти інтегрального впливу технологій на довкілля за формулами:

$$K^A = \frac{B_A}{B_A}, \quad K^Z = \frac{B_Z}{B_A}, \quad K^W = \frac{B_W}{B_A}, \quad (3)$$

де $K_{(Z,W,A)}$ – коефіцієнти ШЕВ;

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

Досягнення еколого-збалансованого функціонування промислових комплексів вуглевидобувних

підприємств можливе за умови збереження клімату в атмосфері Землі. За базовий показник для визначення коефіцієнтів ШЕВ прийнято вартісні значення очищення атмосферного повітря (CO_2 -еквівалент забруднення). Результати розрахунку коефіцієнтів ШЕВ наведено в таблиці 2.

Сумарна оцінка виконання природоохоронних заходів вуглевидобувних підприємств в одиницях інтегрального показника впливу технологій на довкілля складає:

$$I_{\text{ШЕВ}} = \frac{\sum I_{\text{ШЕВ}} \times 100}{\sum I_{\text{ШЕВ}}^{\text{max}}} = \frac{1606181 \times 100}{5004680} = 32 \% \quad (4)$$

Отже, при виконанні підприємствами природоохоронних заходів доведення технооекосистем до еколого-збалансованого функціонування може бути досягнуто лише на 32%. Тому цей варіант природоохоронних заходів автор вважає недостатнім. Необхідно запланувати нові, більш дієві природоохоронні заходи.

Впровадження наведеної методології дозволяє вирішувати проблеми еколого-збалансованого функціонування технооекосистем на підконтрольній території.

Розроблено алгоритм класифікації підприємств вугільної галузі за їх впливом на навколишнє середовище та методику застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки впливу промислових комплексів вугільних підприємств на функціонування технооекосистем [8].

На основі розробленої методики в рамках роботи з OSCE Project Coordinator in Ukraine за співпрацею з Національним центром управління та випробувань космічних засобів було проведено дослідження територій технооекосистем промислових комплексів вуглевидобувних підприємств Центрального району Донбасу.

Загальна територія досліджень з урахуванням вертикальних зміщень територій та об'єктів (на підконтрольних Уряду України ділянках територій Донецької і Луганської обл.) становила 4609 км². Дослідження проведені за допомогою даних космічної радіолокаційної зйомки для виявлення зміщень земної поверхні та об'єктів, що спричинені порушенням технологічних циклів видобувної діяльності шахт,

Таблиця 2

Результати оцінки заходів вуглевидобувних підприємств за 2019 рік

Впливи	Показники оцінки заходів	Інтегральний показник оцінки заходів	УСЬОГО (ШЕВ)
Прямі	$\Sigma A_n - 240862 \text{ т}$	$\Sigma A_{\text{CO}_2} - 240862 \text{ ШЕВ}$ $\Sigma W_{\text{CO}_2} - 1303339 \text{ ШЕВ}$ $\Sigma Z_{\text{CO}_2} - 61980 \text{ ШЕВ}$	} 1606181
	$\Sigma W_n - 76667 \text{ тис. м}^3$		
	$\Sigma Z_n - 12396 \text{ га}$		
Опосередковані в CO_2 -еквіваленті	$\Sigma A_{\text{CO}_2} - 240862 * 1,0 = 240862$		
	$\Sigma W_{\text{CO}_2} - 76667 * 17,0 = 1303339$		
	$\Sigma Z_{\text{CO}_2} - 12396 * 5,0 = 61980$		

їх підтоплення та результатів аналізу змін земного покриву з метою визначення місць концентрованих деформацій земної поверхні, проведення високоточної оцінки вертикальних зміщень об'єктів і територій з використанням інтерферометричної обробки супутникових радіолокаційних даних за період 2016–2018 рр.

За результатами обробки ретроспективних радіолокаційних знімків зони досліджень та тематичного аналізу оцифровані зони концентрованих деформацій, досліджена динаміка за часом окремих об'єктів.

Основні зони вуглевидобувних підприємств Центрального району Донбасу наведені на рис. 3.

У зоні осідань земної поверхні шахти Вуглегірська (площа – 1,7 км²) швидкість осідання її становить – 27 мм/рік, територія характеризується як «небезпечно-загрозлива». У зоні осідань земної поверхні ш. Юнком (площа – 1,64 км²) швидкість осідання становить – 64 мм/рік, територія характеризується як «загрозливо-надзвичайна». У Зоні осідань земної поверхні ш. Полтавська (площа – 3,42 км²) швидкість осідання становить – 55 мм/рік, територія характеризується як «загрозливо-надзвичайна». У Зоні осідань ш. земної поверхні Єнакієвська (площа – 5,64 км²) швидкість осідання становить – 129 мм/рік, територія характеризується як «надзвичайно-критична*»

(*шкала розроблена Національним центром управління та випробувань космічних засобів).

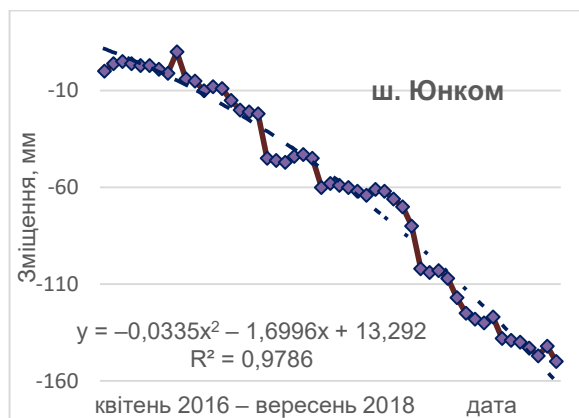
Теоретично та науково обґрунтовано екологічний ризик на територіях сходу України у вигляді відображення екологічної інформації в реальному часі на основі веб-технологій [9]. Місця розташування об'єктів промислових комплексів вуглевидобувних підприємств визначалися з використанням даних дистанційного зондування Землі. Координати розміщення об'єктів нанесені з приблизною точністю та відображають орієнтовну ділянку розташування (рис. 4).

Щоб результати моделювання даних в системі екологічної безпеки сприяли прийняттю рішень в ситуації, що склалася, результати моніторингових вимірювань повинні легко передаватися в GIS та веб-сайт і навпаки – дані з GIS повинні розпізнаватися та використовуватися в розрахунках при побудові математичних моделей. При вдалому та коректному суміщенні математичних моделей і GIS можна досягти максимального ефекту від результатів моніторингу та моделювання й розширити сферу застосування GIS.

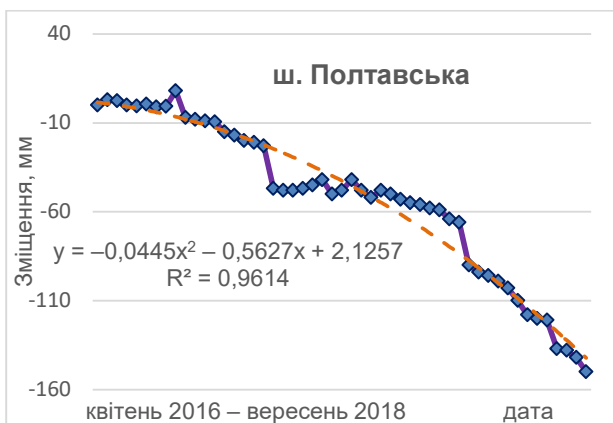
Схематичне зображення запропонованої удосконаленої системи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств показано на рис. 5.



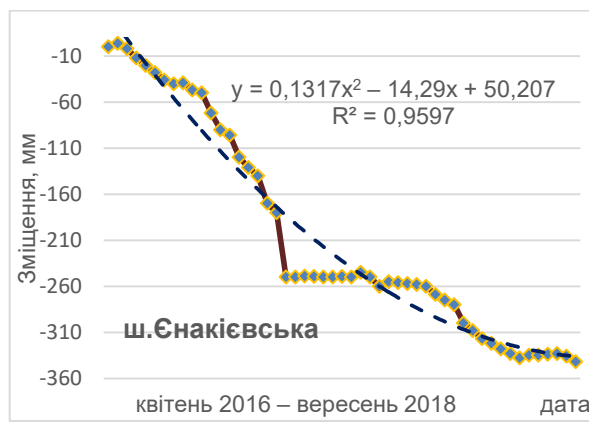
Зона небезпечно-загрозлива



Зона загрозливо-надзвичайна



Зона загрозливо-надзвичайна



Зона надзвичайно-критична

Рис. 3. Динаміка осідань земної поверхні у окремих точках вуглевидобувних підприємств

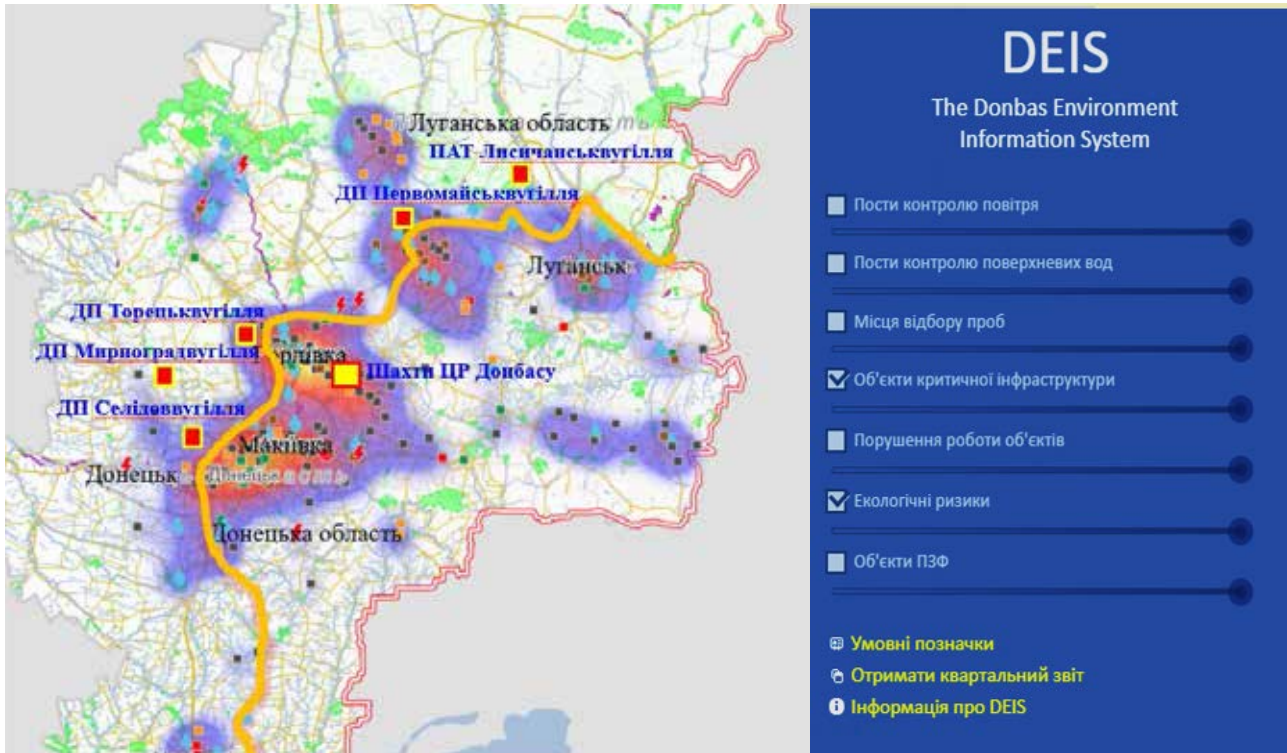


Рис. 4. Карта Донецької та Луганської областей в системі DEIS з вугільних родовищ (М 1:50 000)



Рис. 5. Удосконалена система управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств

Рекомендації щодо компенсаційних заходів розроблені для забезпечення зниження екологічних ризиків техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств та еколого-збалансованого розвитку.

Висновки

1. Проаналізовано національний і світовий досвід оцінювання екологічного стану, а також управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглеводобувних підприємств і виявлено шляхи їх розвитку. При аналізі встановлено, що екологічний стан техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств в умовах соціальної напруженості можна охарактеризувати як «кризовий», з урахуванням воєнних дій за п'ятирічний термін – стан перейшов до категорії «катастрофічний». Відсутність комплексного підходу до вирішення проблем управління екологічною безпекою призвело до значної деградації довкілля, надмірного забруднення поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря, земельних ресурсів.

2. Обґрунтовано методологію, методики і теоретичні та експериментальні методи проведення дисертаційних досліджень. Теоретичні методи аналізу і синтезу використано для узагальнення інформації, одержаної з інформаційних джерел, та визначено основні напрями дослідження. Експериментальні методи використано для: експертної оцінки ступеня екологічної небезпеки за конкретними вугільними підприємствами; моделювання комплексної оцінки екологічних ризиків; постійного моніторингу за станом техноекосистем (затоплення шахт та вертикальні зміщення земної поверхні та об'єктів), особливо на непідконтрольній українській владі території; відображено екологічну інформацію в реальному часі на основі веб-технологій – Інформаційна система довкілля Донбасу (DEIS).

3. За результатами досліджень встановлено вплив технологічних процесів та критерії етапів переходу трансформованих територій техноекосистем у межах техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств до еколого-збалансованого функціонування. Виявлено характер змін природно-техногенних чинників та стан екологічної безпеки промислових комплексів вуглеводобувних підприємств.

4. Досліджено ідентифікацію джерел небезпеки та їх територіальну структуру як підґрунтя формування екологічної небезпеки. У формуванні ідентифікації екологічних загроз взяли участь 50 промислових комплексів вуглеводобувних підприємств. На основі цих даних виконано аналіз методів оцінки ризиків природного та техногенного походження, розроблено алгоритм комплексного оцінювання екологічних ризиків промислових комплексів вуглеводобувних підприємств, що дозволяє мінімізувати негативний вплив на довкілля.

5. Розроблено алгоритм комплексного оцінювання екологічних ризиків за ступенем екологіч-

ної небезпеки (за запропонованою шкалою від 0–12 балів та IV ступенями екологічної небезпеки), що характеризує еколого-збалансоване функціонування техноекосистем у межах техноекосистем на основі об'єднання кількісних та якісних показників поточного стану довкілля. Обґрунтовано методи оцінки екологічних ризиків у межах техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств та проведено експертну оцінку ступеня екологічної небезпеки. Досліджено напрями мінімізації ризиків зниження ймовірності виникнення аварій за рахунок підвищення надійності технологічного обладнання та ефективності управління технологічним процесом гірничих робіт. Загальне погіршення стану кожної складової техноекосистем, тобто підвищення рівня їх екологічної небезпеки на територіях вуглеводобувних регіонів, доцільно кількісно оцінювати за середніми балами, визначеними за окремими конкретними підприємствами. Загальну оцінку рівня екологічної небезпеки вуглеводобувних регіонів можна визначати як суму експертних оцінок впливу 10-ти підприємств на 3 основних складових техноекосистем (таблиці у вигляді матриці |10x3|).

6. Науково обґрунтовано доцільність застосування та розраховано інтегральний показник екологічного впливу технологій на довкілля (ШПЕВ), який враховує як прямі впливи (отримання готової продукції – вугілля), так і опосередковані, які існують при використанні допоміжних засобів (обладнання, транспортних пристроїв та ін.). Встановлено, що інтегральний показник екологічного впливу (для земельних ресурсів – 5 тСО-екв./га, водних ресурсів – 17 тСО-екв./тис. м³, атмосферного повітря – 1 тСО-екв./т), що характеризує зміни техноекосистем і є індикатором рівня екологічної небезпеки територій функціонування техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств;

7. Розроблено алгоритм класифікації об'єктів промислових підприємств та оптимізації техногенної складової техноекосистем на базі ранжування природних компонентів для забезпечення еколого-збалансованого розвитку техноекосистем у межах промислових комплексів вуглеводобувних підприємств.

8. Розроблено алгоритм класифікації промислових комплексів вуглеводобувних підприємств за їх впливом на навколишнє середовище та методику застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки впливу промислових комплексів вуглеводобувних підприємств на функціонування техноекосистем. Методика адаптована до використання результатів космічної зйомки на конкретних прикладах для кожного класу об'єктів критичної інфраструктури України. В рамках дослідження підтверджено актуальність, наукову та практичну цінність використання дистанційних методів дослідження екологічного стану великих територій земної поверхні, зокрема із залученням інформації від радарних та оптичних супутників ДЗЗ.

9. Удосконалено систему управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств на основі забезпечення прийнятних екологічних ризиків промислових комплексів вуглевидобувних підприємств Центрального району Донбасу шляхом застосування наукових основ управління їх екологічною безпекою, які враховують особливості впливу чинників на процеси формування та ефективність управління їхнім екологічним станом. Розроблено рекомендації щодо компенсаційних заходів для забезпечення зниження екологічних небезпек з метою мінімізації їх впливу та переходу техноекосистем вугільних родовищ до еколого-збалансованого функціонування.

Література

1. Реймерс Н.Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология. М.: Россия Молодая, 1992. 365 с.
2. Беклемишев В. Н Об общих принципах организации жизни. Бюлл. МОИП. Отд. Биол. 1964. Т. 69, вып. 2. С. 22–38.
3. Tansley A. The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology. 1935. Vol. 16. P. 284–307.
4. Odum E. The “techno-ecosystem”. Bull. Ecol. Soc. Am. 2001. Vol. 82. P. 137–138.
5. Neveh Z. Landscape ecology as an emerging branch of human ecosystem science. Adv. Ecol. Res. 1982. Vol. 12. P. 189–237.
6. Протасов О.О. Техноекосистема: неминуче зло чи крок до ноосфери? Вісн. НАН України, 2014. № 6. С. 41–50.
7. Бондар О.І., Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луньова О.В. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Моніторинг виконання природоохоронних робіт та екологічного стану природного довкілля діючих та ліквідованих вугільних підприємств, розроблення пропозицій щодо його поліпшення» № ДР 0116U005852 (протокол № 8-19 від 17.12.2019 р.)/ ДЕА Мінекоенерго, м. Київ. 2019. 57 с.
8. Ulytsky O. Technique for orthotransformed satellite imagery application in environmental assessment / O. Ulytsky V. Yermakov, O. Lunova, O. Buglak. Space Science and Technology Kyiv, Т. 25 №4 (119), 2019. P. 46–58 doi:<https://doi.org/10.15407/knit2019.04.048>
9. Lunova O. Potential territorial risk in the eastern Ukraine / O. Lunova, V. Yermakov, D. Averin Journal of Geology, Geography and Geoecology Vol. 28 (3). Dnipro. 2019. P. 600–609. doi: <https://doi.org/10.15421/111957>

ЗБІЛЬШЕННЯ РАДІОЄМНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВОДОЙМ АЕС

Макарова О.В., Григор'єва Л.І.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, корп. № 1, 54000, м. Миколаїв
elenamakarova79@ukr.net, kafecobezpeka@ukr.net

Визначено коефіцієнти накопичення ^{137}Cs водними рослинами (*Cladophora fracta*, *Potamogeton natans*) і донними відкладеннями ставка-охолоджувача Южно-Української (ЮУ) АЕС. Визначено радіємність ставка-охолоджувача ЮУ АЕС. Встановлено зміни радіємності залежно від зміни хімічного складу ставка-охолоджувача ЮУ АЕС. Обґрунтовано використання вищих водних рослин в управлінні радіємністю технологічних водойм АЕС. Очищення стоків у біоставках є завершуючим етапом після первинного механічного і фізико-хімічного очищення, який остаточно формує якість води, що скидається в природні водні об'єкти або на рельєф. Роль біоставків в очищенні скидних вод АЕС є ще більш вагомим, бо саме за їхньою допомогою скидні води можна піддати повній або частковій дезактивації. Тому здатність біоти ставків-біоочищення АЕС до накопичення і утримання радіонуклідів відіграє важливу роль у підтриманні радіоекологічної безпеки прилеглої до АЕС водної системи. Радіємністю водоймища можна управляти за допомогою водних рослин, що сприяє вирішенню важливої проблеми безпеки ставків-охолоджувачів АЕС. Як відомо, радіонукліди у водоймищах перебувають переважно у вигляді розчинів солей, тому забезпечення і підтримання достатньої здатності ставків-охолоджувачів АЕС щодо утримання ними радіонуклідів виступає важливою задачею не лише радіаційної, а і технологічної безпеки АЕС. Через те, що водорості у водоймищах виконують подвійну роль: з одного боку, є активними агентами самоочищення, з іншого – беруть участь в процесах біологічного забруднення водойми. Тому у технології біоочищення ставків-охолоджувачів за допомогою макрофітів потрібно передбачити чіткий режим і умови вирощування водоростей (температура, хімічний склад води, мінералізація і т. ін.). Потрібно також шукати можливість утилізації вирощуваних водоростей для отримання біогазу. *Ключові слова:* цезій-137, водні рослини, радіємність, ставок-охолоджувач АЕС.

Radiocapacity increase of technological reservoirs of AEPS. Makarova O., Grygorieva L.

The ^{137}Cs coefficients accumulations by water plants (*Cladophora of fracta*, *Potamogeton of natans*) and ground sedimentations of pond-cooler of South Ukraine (SU) Electric power station (SU AEPS) are certain. The radiocapacity of SU AEPS pond-cooler is certain. The changes of radiocapacity are set depending on the change of chemical composition of SU AEPS pond-cooler. The use of higher aquatic plants is reasonable in the management of AEPS technological reservoirs a radiocapacity. Wastewater treatment in biological ponds is the final stage after the initial mechanical and physico-chemical treatment, which finally forms the quality of the water discharged into natural water bodies or relief. The role of biological ponds in the treatment of waste water from nuclear power plants is even more significant, since it is with their help that the waste water can be subjected to complete or partial decontamination. Therefore, the ability of biota of bioremediation ponds of nuclear power plants to accumulate and the content of radionuclides plays an important role in maintaining the radioecological safety of the water system adjacent to the nuclear power plant. The radioemicity of the reservoir can be controlled with the help of water plants, contributes to the solution of the important safety problem of nuclear cooling ponds. As you know, radionuclides in reservoirs are predominantly in the form of salt solutions, therefore, ensuring and maintaining the sufficient ability of cooling ponds of nuclear power plants to contain radionuclides is an important task not only for radiation but also for the technological safety of nuclear power plants. Since algae in reservoirs play a dual role: on the one hand, they are active agents of self-purification, on the other hand, they participate in the processes of biological pollution of a reservoir. Therefore, in the technology of biological treatment of cooling ponds using macrophytes, it is necessary to provide a clear regime and conditions for the growth of algae (temperature, chemical composition of water, salinity, etc.). It is also necessary to look for the possibility of utilizing cultivated algae to produce biogas. *Key words:* cesium-137, aquatic plants, radio ember, pond-cooler of nuclear power plants. *Key words:* caesium-137, water plants, radiocapacity, pond-cooler of AEPS.

Постановка проблеми

Біологічні методи очищення скидних вод атомних електростанцій від радіоактивних та хімічних речовин і сполук завдяки використанню ставків-біоочищення (біоставків) активно використовуються, бо біохімічне і фізіологічне самоочищення водоймищ у природних умовах за допомогою сукупності живих організмів, що населяють водоймище, є ефективним і економічно виправданим.

Очищення стоків у біоставках є завершуючим етапом після первинного механічного і фізико-хімічного очищення, який остаточно формує якість води, що

скидається в природні водні об'єкти або на рельєф. Роль біоставків в очищенні скидних вод АЕС є ще більш вагомим, бо саме за їхньою допомогою скидні води можна піддати повній або частковій дезактивації. Тому здатність біоти ставків-біоочищення АЕС до накопичення і утримання радіонуклідів відіграє важливу роль у підтриманні радіоекологічної безпеки прилеглої до АЕС водної системи [3; 4].

Інтегральною характеристикою здатності водойми міцно утримувати радіонукліди є її радіємність [2; 3], як максимальна кількість радіонуклідів, що може міститися у певній екосистемі, не порушуючи

нях. В результаті висока солоність води ставка-охолоджувача не сприяла тривалому затриманню ^{137}Cs в ньому, і призводила до винесення останнього до Південного Бугу з “продувними” водами.

Біота ставка-охолоджувача представлена водяними рослинами: нитчастими водоростями (*Cladophora fracta*) і рдестом плаваючим (*Potamogeton natans*). Зміни активності радіонуклідів у водоростях і рдесті відповідала змінам активності у воді. Наприкінці 1986 р. активність ^{137}Cs почала зростати; у 1988-091 роках вміст ^{137}Cs досяг рівня 18–120 Бк/кг. З 1995 року, як і в донних відкладеннях, вміст ^{137}Cs зменшився до 25–50 Бк/кг. Динаміку вмісту ^{137}Cs у цих водяних рослинах, відібраних з прибережної частини ставка поблизу греблі, за період 1985–2018 рр. наведено на рис. 2, 3.

Як видно з рисунків, за період 1985–2018 рр. відбулися певні зміни у кількості нагромадження радіоцезію водяними рослинами ставка-охолоджувача ЮУ АЕС. Так, перші відчутні зміни стосувалися періоду 1986–87 рр., пізніше також періодично спостерігали коливання у рівнях накопичення ^{137}Cs водяними рослинами. Вважаємо, що причина цього явища пов’язана з постійними змінами у хімічному складі водоймища.

Розраховані коефіцієнти накопичення радіонуклідів компонентами ставка-охолоджувача АЕС для кожного року спостережень були, в середньому, на рівні: для донних відкладень $657 \pm 84 \text{ Бк/кг} / \text{Бк/л}$, для водоростей (*Cladophora fracta*) – $260 \pm 50 \text{ Бк/кг} / \text{Бк/л}$.

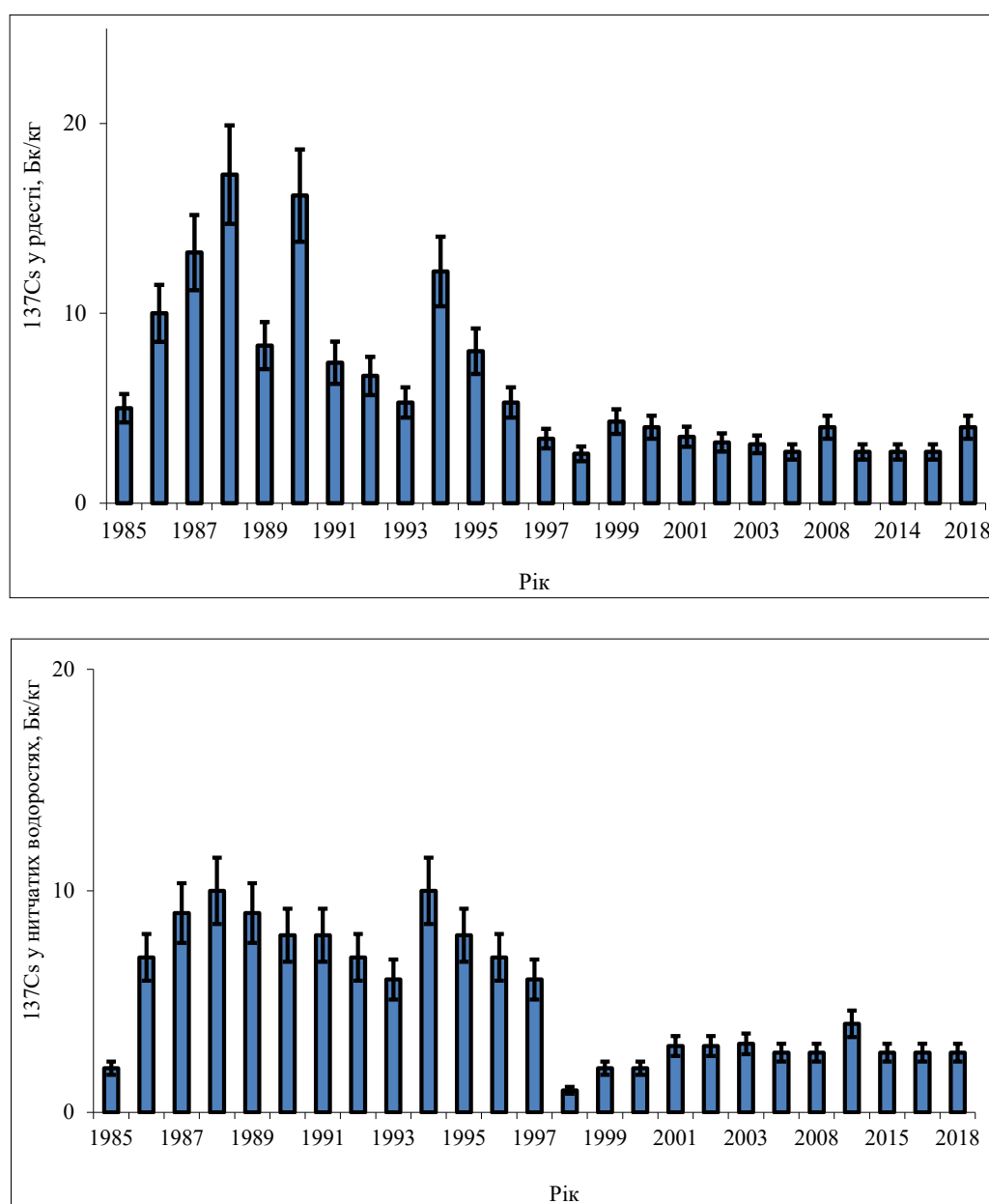


Рис. 2. Динаміка вмісту ^{137}Cs у рдесті *Potamogeton natans* (А), у нитчастих водоростях *Cladophora fracta* (Б) зі ставка-охолоджувача ЮУ АЕС

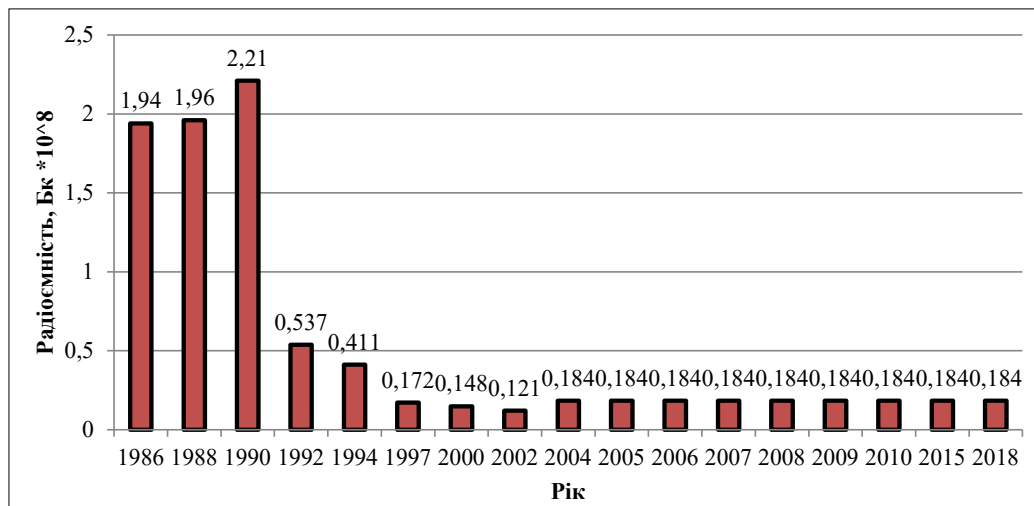


Рис. 3. Радіоємність ставка-охолоджувача ЮУ АЕС у динаміці (за ^{137}Cs)

Результати визначення радіоємності ставка-охолоджувача ЮУ АЕС за ^{137}Cs впродовж 1986–2018 рр. наведено на графіку (рис. 3).

Як видно з рисунку, за період 1986–2018 рр. відбулися чималі зміни у величинах максимальної активності ^{137}Cs , яку спроможний утримувати ставок-охолоджувач без шкоди для себе. Якщо у 1986–90 рр. радіоємність за ^{137}Cs дорівнювала $(2,04 \pm 0,1) \cdot 10^8$ Бк, то у 1991–92 рр. відбулося різке зниження цього показника до $0,54 \cdot 10^8$ Бк; далі відбувалося продовження зниження радіоємності до $0,17 \cdot 10^8$ Бк; і цей рівень продовжував підтримуватися до останніх років дослідження. Початок зниження радіоємності співпадає у часі з перенесенням скиду каналізаційних вод АЕС у ставок-охолоджувач, що призвело до зміни фізико-хімічних умов водоймища, сприяло зниженню накопичувальної здатності водяних рослин і відповідним чином відобразилося на радіоємності водоймища. Це є показовим прикладом того, що радіоємність водоймища є надзвичай чутливим фактором до різного роду агентів, які потрапляють у водоймище.

Також це є підтвердженням того, що можна управляти радіоємністю водоймища за допомогою водяних рослин, що сприяє вирішенню важливої проблеми безпеки ставок-охолоджувачів АЕС. Як відомо, радіонукліди у водоймищах перебувають переважно у вигляді розчинів солей, тому забезпечення і підтримання достатньої здатності став-

ків-охолоджувачів АЕС щодо утримання ними радіонуклідів виступає важливою задачею не лише радіаційної, а і технологічної безпеки АЕС.

Через те, що водорості у водоймищах виконують подвійну роль: з одного боку, є активними агентами самоочищення, з іншого – беруть участь в процесах біологічного забруднення водойми. Тому у технології біоочищення ставок-охолоджувачів за допомогою макрофітів потрібно передбачити чіткий режим і умови вирощування водоростей (температура, хімічний склад води, мінералізація і т. ін.). Потрібно також шукати можливість утилізації вирощуваних водоростей для отримання біогазу.

Головні висновки:

1. Радіоємність водоймища є чутливим фактором до зміни хімічного складу водоймища. Через зміни у хімічному складі радіоємність ставка-охолоджувача ЮУ АЕС за період з початку 90-х років зменшилася у 10 разів: від $2 \cdot 10^8$ Бк до $0,2 \cdot 10^8$ Бк.

2. Поширені у ставку-охолоджувачі ЮУ АЕС водяні рослини: нитчасті водорості (*Cladophora fracta*) і рдест плаваючий (*Potamogeton natans*) характеризуються високими коефіцієнтами накопичення ^{137}Cs : від 100 до $1400 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} / \frac{\text{Бк}}{\text{л}}$.

3. Управління радіоємністю водоймища за допомогою водяних рослин сприяє вирішенню важливої проблеми радіаційної та технологічної безпеки АЕС.

Література

1. Использование водорослей для очистки пруда-охладителя Южноукраинской АЭС от радиоактивных веществ. Отчет по НИР Института биофизики МЗ СССР. 1991. № 08-7348. М., 1991. С. 92.
2. Кутлахмедов Ю.А., Поликарпов Г.Г., Кутлахмедова-Вишнякова В.Ю. Оценка параметров радиоемкости, как показатель устойчивости и надежности экосистем. Парадигмы сучасної радіобіології: Матеріали наук. конференції (вересень 2004.). К., 2004. С. 98–100.
3. Кутлахмедов Ю.О., Корогодін В.У., Кольтовер В.К. Основи радіоекології: Навч. посіб. К.: Вища школа, 2003. 344 с.
4. Лазоренко Г.Е., Егоров В.Н. Роль донных отложений в извлечении радиоцезия из водной среды. Радиоекология: успехи и перспективы: Материалы науч. семинара (июнь 1994). Севастополь, 1994. С. 117.
5. Радіонукліди у водних екосистемах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення, дозове навантаження на людину і контрзаходи: Монографія / Ю. Томілін, Л. Григор'єва. Миколаїв, 2008. 270 с.

ОЦІНКА ЩІЛЬНОСТІ ТА СТАНУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ САНІТАРНО-ЗАХИСНИХ ЗОН ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ М. ЗАПОРІЖЖЯ В ДИНАМІЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ СУПУТНИКА LANDSAT

Скляренко А.В., Бессонова В.П.

Дніпровський аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро
s-k2015@ukr.net

Промислова діяльність металургійних підприємств пов'язана з негативним впливом на всі системи навколишнього середовища. Зелені насадження санітарно-захисних зон цих підприємств відіграють важливу роль, доочищаючи повітря від техногенних забруднювачів. Тому аналіз стану дендрофлори цих зелених масивів є актуальним, необхідними є також спостереження змін у часі з точки зору моніторингу. У даній роботі висвітлюються питання оперативного виявлення змін густоти захисних зон промислового регіону м. Запоріжжя за допомогою багатоспектральних знімків супутників Landsat а часовому діапазоні. Наведенні результати змін щільності насаджень рослин зелених лісосмуг із використанням нормалізованого відносного індексу рослинності (NDVI). Головною перевагою NDVI є надійність і легкість їх отримання, а також широкий діапазон задач, що вирішуються за їх допомогою. Аналіз щільності деревостану показав подібну динаміку змін у всіх вивчених захисних лісосмугах промислового регіону м. Запоріжжя. З 1990 року по 2000 знижується щільність насаджень та збільшується територія, яка відповідає значенням 0,0 – 0,2 (відкритий ґрунт). З 2000 по 2018 роки відбуваються позитивні зміни в густоті насаджень за рахунок заповнення території самосівом. На всіх досліджуваних зелених насадженнях санітарно-захисних зон підприємств в 2000 та 2010 роках здійснювалась висадка нових порід, але кількісний показник їх незначний, тому вплив на щільність деревостану захисних зон мізерний. Стан лише близько 10% рослинності в зелених зонах санітарно-захисних лісосмуг по шкалі І.Г. Семенової (2014), оцінено як «добрий», окрім насаджень Вогнетрив та Запоріжсталь (ділянка Б). Для цих зелених смуг від 60% до 54% дерев віднесені до цієї категорії. Найгірший стан рослин виявлений в захисних зонах Алюмінієвого комбінату та заводу Укрграфіт. Лише 2,73 та 4,15% відповідно оцінено – «добре». *Ключові слова:* захисні лісосмуги, нормалізований індекс, зелені насадження, космічні знімки, життєвий стан.

Assessment of fluctuations in density and growing conditions of green plantations in the area of sanitary protection zones of industrial enterprises in the city of Zaporizhzhya by using Landsat satellite imagery. Sklyarenko A., Bessonova V.

The industrial activity of metallurgical enterprises is associated with a negative impact on all environmental systems. Green plantations of sanitary protection zones of these enterprises play a key role as an agent for purifying air from man-made pollutants. Therefore, the analysis of the tree flora status of said green plantations as well as monitoring their temporal fluctuations are of crucial importance. This paper addresses the issues concerning the rapid detection of density fluctuations of sanitary protection zones of the industrial region of Zaporizhzhya using multispectral images obtained from Landsat satellites with accordance to a given time span. We show the results of changes in the density of plantations growing within the area of protective forest belts using the normalized difference vegetation index (NDVI). The main advantage of NDVI is the reliability and ease of obtaining it, as well as the wide range of tasks that can be solved with it. The analysis of the density of the forest stand showed similar fluctuations in all of the protective forest bands studied in the industrial region of Zaporizhzhya. From 1990 to 2000 the density of the plantation decreases and the territory corresponding to the values from 0.0 to 0.2 (open soil) increases in size. From 2000 to 2018, there are positive changes in the density of plantations due to the area being filled with self-sown plant species. Transplanting of new cultivars has been carried out on all investigated green plantations of sanitary protection zones of enterprises from 2000 to 2010, but their quantitative indicator remains insignificant, so the impact on the density of the forest stand of sanitary protection zones is negligible. The condition of roughly 10% of the vegetation growing within the area of green plantations of sanitary protection forest bands has been rated as "good" on the scale by I.G. Semenova (2014), except in the case of "Vohnetryv" and "Zaporizhstal" enterprises (section B). In their cases, 60% to 54% of all trees are placed within this category. The worst conditions for the plants can be found in the sanitary protection zones of the ZAIC and "Ukrgrafit" enterprises. Only 2.73% and 4.15% of plants respectively have been rated as "good" in such cases. *Key words:* protective forest belts, normalized index, green plantations, satellite images, vital status.

Постановка проблеми і актуальність дослідження. Місто Запоріжжя є одним із провідних промислових комплексів нашої країни [1]. Наявність потужного промислового потенціалу неминує призводити до значних обсягів викидів в атмосферу важких металів [2], оксидів сірки, азоту, фенолів, формальдегідів, сірководня, сполук хлору, речовин у вигляді суспендованих твердих частинок та лет-

кими органічними сполуками тощо [1; 3]. Внаслідок в атмосферне повітря щорічно надходить 2,0 млн. т / рік забруднюючих речовин, які негативно впливають на живі системи, і в першу чергу, на здоров'я людини [4]. В зв'язку з цим, дуже важливо обмежувати їх попадання в селитебні території міста. Значну роль у доочищенні атмосферного повітря від цих шкочинних речовин належать рослинам.

Вони виконують роль зелених фільтрів поглинаючи сірку, феноли, сполуки хлору, метали та ін., затримують пил [5–9].

В першу чергу ця функція припадає на зелені насадження санітарно-захисних зон промислових підприємств. Від їх структури і стану залежить успішність виконання ними середоочищувальної ролі. Тому моніторинг стану зелених масивів санітарно-захисних зон, особливо у часі з використанням дистанційних методів є актуальним.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Розроблена у статі тема є частиною стратегічного курсу на оздоровлення навколишнього середовища з використанням захисних насаджень та тісно пов'язана з природоохоронною тематикою, моніторингом життєвого стану цих насаджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує ряд публікацій, які присвячені обстеженню зелених лісосмуг санітарно-захисних зон ряду підприємств [10–14]. Слід вказати що ці дослідження не численні. Крім того необхідно проводити аналіз життєвості деревостану захисних насаджень в конкретних кліматичних та екологічних умовах.

Надзвичайної актуальності набуває створення моніторингових систем, що дозволять констатувати, аналізувати та прогнозувати явища в природних системах. Їх ефективну роботу може забезпечити впровадження сучасних інформаційних технологій збору та аналізу інформації, зокрема, методів дистанційного зондування [15–18]. Дані дистанційного зондування Землі з успіхом використовують для: оцінки збитків від лісових пожеж і їхніх наслідків, антропогенного впливу на штучні та природні рослинні угруповання [16; 19–21], дослідження біорізноманіття та біомаси рослинних об'єктів [22–25], відстеження динаміки і стану вирубки лісу, прогнозу врожайності сільськогосподарських культур [26–29] та визначення їх сортів [30], відновлення топографічних карт, що відображають реальний стан територій [31]. Для оцінки кількості та стану рослинності за багатоспектральними космічними знімками зазвичай використовуються різноманітні вегетаційні індекси: NDVI, GCI, ARVI та інші [32–36]. Найчастіше застосовують індекс вегетації NDVI, який несе інформацію про щільність рослинного покриву [31, 37–39]. На його значення впливає видовий склад рослинності, її стан, експозиція, кут нахилу поверхні, колір ґрунту під розрідженою рослинністю, а діапазон змін становить від – 1 до 1 [40]. Згідно М.І. Грехневу зі спів. (2015), індекс вегетації надає інформацію про ступінь забруднення ґрунту токсичними речовинами. Головною перевагою вегетаційних індексів є надійність і легкість їх отримання, а також широкий діапазон задач, що вирішуються за їх допомогою. Недоліками використання NDVI індексу є: неможливість застосування даних, які не пройшли етап радіометричної корекції (калі-

брування); наявність похибок, що вносяться погодними умовами, сильною хмарністю; обмеження щодо використання знімків тільки часом сезонної вегетації для досліджуваного регіону.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не досліджуваними залишаються питання аналізу змін щільності та життєвого стану деревних рослин сзз підприємств м. Запоріжжя в порівнянні з попередніми роками, а також, що особливо важливо, невідомою є картина їх сучасного стану.

Об'єктом нашого дослідження є санітарно-захисні лісосмуги промислових підприємств м. Запоріжжя.

Метою даної роботи є визначення динаміки стану рослинного покриву санітарно-захисних зон підприємств промислового регіону м. Запоріжжя на основі супутникових знімків із застосуванням індексу NDVI.

Новизна даної роботи полягає в вивченні з використанням супутникових знімків щільності та стану зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримані дані дають можливість прослідковувати зміни, що відбулися протягом досліджуваних років, зрозуміти основний тренд, що допоможе прийняти відповідні міри з поліпшення структури, щільності, життєвого стану насаджень та з їх реконструкції. Результати досліджень можуть стати основою бази даних для подальшого моніторингу зелених масивів санітарно-захисних зон промислових підприємств.

Методика досліджень

Досліджували зелені насадження санітарно-захисних зон таких підприємств: Запорізький Титаномагнієвий комбінат (Титаномагнієвий), ПАТ «Електрометалургійний завод Дніпроспецсталь» (Дніпроспецсталь), ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» (Алюмінієвий), ПАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь»» (Запоріжсталь), «Закрите акціонерне товариство Вогнетрив-СОЮЗ» (Вогнетрив) ПАТ «Український графіт» (Укрграфіт), ПАТ «Запоріжтрансформатор» (Трансформаторний).

Для оцінки динаміки стану рослинності санітарно-захисних зон промислового центру була зібрана серія супутникових знімків Landsat у часовому діапазоні, а саме: 31.08.2018; 24.08.2018; 17.08.2017; 10.08.2017; 12.08.2017; 31.08.2015; 23.08.2015; 25.08.2010; 20.08.2005; 21.08.2000; 22.08.2000; 01.09.1995; 11.08.1990. Відбір знімків проводився за критеріями мінімальної хмарності, відсутності диму. Всі сцени, що були взяті для аналізу, характеризували стан рослинності в кінці серпня кожного з досліджуваних років. Для виявлення зв'язку між показниками вегетаційного індексу і продуктивністю різних захисних зон порівнювали дані

маршрутних досліджень з отриманими значеннями індексів за допомогою космічних знімків.

Оскільки ми використовували знімки середнього просторового розрізнення, територія однієї сцени значно перевищує область інтересу, тобто площу санітарно-захисних зон. Відповідно, для подальшої роботи всі досліджувані знімки «обрізалися» до потрібної території за полігоном.

Індекс NDVI вегетації насаджень санітарно-захисних зон різних підприємств м. Запоріжжя розраховували за наступною формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

де NIR – відбиття в ближній інфрачервоній області спектру, RED – відбиття в червоній області спектру. Завдяки особливостям відображення в NIR-RED областях спектра, природні об'єкти мають фіксовані значення NDVI, що дозволяє використовувати цей параметр для їх ідентифікації та оцінки стану.

Для ідентифікації земного покриву Лялько В.І. зі спів. (2008) [41] запропонував шкалу значень: 0,2–0,3 відповідають трав'яній рослинності, а значення 0,4–0,6 листяним деревостаном. Основні критерії розпізнавання стану рослинності за значенням NDVI, запропоновані в роботі І.Г. Семенової (2014):

Таблиця 1

Критерії розпізнавання стану рослинності за значенням NDVI [42]

Значення NDVI	Стан рослинності
0,71–1,00	дуже добрий
0,56–0,70	добрий
0,4–0,55	задовільний
0,3–0,40	поганий
0,2–0,30	пригнічений

Композиційне зображення, яке було створене на підставі вегетаційних індексів, дає можливість ефективніше розрізняти структуру насаджень санітарно-захисних зон промислового регіону м. Запоріжжя, дослідити стан, вплив на них промислових емісій та визначити їх вікові зміни в часі.

Таким чином, була отримана серія тематичних карт (часова) з 1990, 2000, 2010, 2018 роки, за значеннями нормалізованого відносного індексу рослинності. Для кожної з них на основі частотних гістограм розподілу значень NDVI було проведено визначення площ зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств, а також відсоток площ ділянок що різняться за щільністю рослин на кожній досліджуваній території.

Викладення основного матеріалу. У ході дослідження шляхом супутникового моніторингу були виявлені зміни щільності рослин санітарної зони Алюмінієвого комбінату та оцінено їх розмір. Першим логічним етапом проведення аналізу стало

встановлення змін стану рослинності за досліджуванний період (1990, 2000, 2010, 2018 роки). На основі комп'ютерних розрахунків створено порівняльну таблицю результатів з використанням стандартизованої шкали нормалізованого відносного індексу для уніфікації отриманих значень. На зображеннях добре видно, як змінювалась структура насадження з 1990 по 2018 рік. Необхідно відмітити, за всі роки досліджень деревні рослини санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату характеризувалися розрідженою та помірною рослинністю, слабо розвиненою зеленою фітомасою. З 1990 по 2000 року отримані регресійні залежності, простежується відмирання та зрідження рослинності. На 11% збільшилась площа території лісосмуги, яка була без рослинності, а територія, яку займали помірна та розріджена рослинність знизилась на 9,73%.

В 2010 році стосовно 2000 помітна позитивна динаміка. Щільність насадження зростала за рахунок висадження дерев – липи серцелистої, ялини колючої, дуба звичайного та в'язу гладенького [43].

З 2010 року по 2018 рік відбуваються два паралельних процеси: певна рослинність втрачала життєві ознаки, а деякі ділянки заповнюються самосівом. Відносна площа території без рослинності в 2018 в порівнні з 1990 роком знизилась на 11,88%, та збільшилась територія, яка відображає розріджені насадження (на 11,12%).

Слід зазначити, що за останнє восьмиріччя майже в половину скоротилась площа, яка відповідає значенням індексу NDVI – 0,4–0,5. Сумарний відсоток площі з помірною щільністю рослинності знизився на 5,96%. Зменшився відсоток площі з показниками вегетаційного індексу 0,1–0,2. На 17,17% збільшилась площа, яка віднесена до категорії під розріджену рослинність.

Таким чином, з 1990 року до 2000 року помітна негативна тенденція в насадженнях санітарної зони Алюмінієвого комбінату. З 2000 року по 2010 почалися відновлювальні процеси та висадженні нові рослини. Порівняння стан рослинності в 1990 році та сьогодні показує, що зміни відбулися приблизно на 22% території. Але відносна площа, з помірною рослинністю, порівнюючи 1990 рік та 2018 – приблизно однакова.

Стосовно критеріїв розпізнавання стану рослинності за значенням NDVI, запропонованими в роботі Семенової І.Г. (2014) аналіз космічних знімків показує, що протягом дослідження з 1990 по 2018 рік спостерігається негативна динаміка, окрім 2010 року. Це можна пов'язати з тим, що в цей період дерева, що були висадженні в 2000 році вже зробили певний внесок в основну складову фітомаси. Однак за останні 8 років майже вдвічі знизилась площа рослин, що відповідає «доброму» класу, натомість на 10% зросла частка рослин віднесених до «задовільного» стану та на 7,17% – «поганого» стану. В цілому, можемо констатувати, що з 1990 року

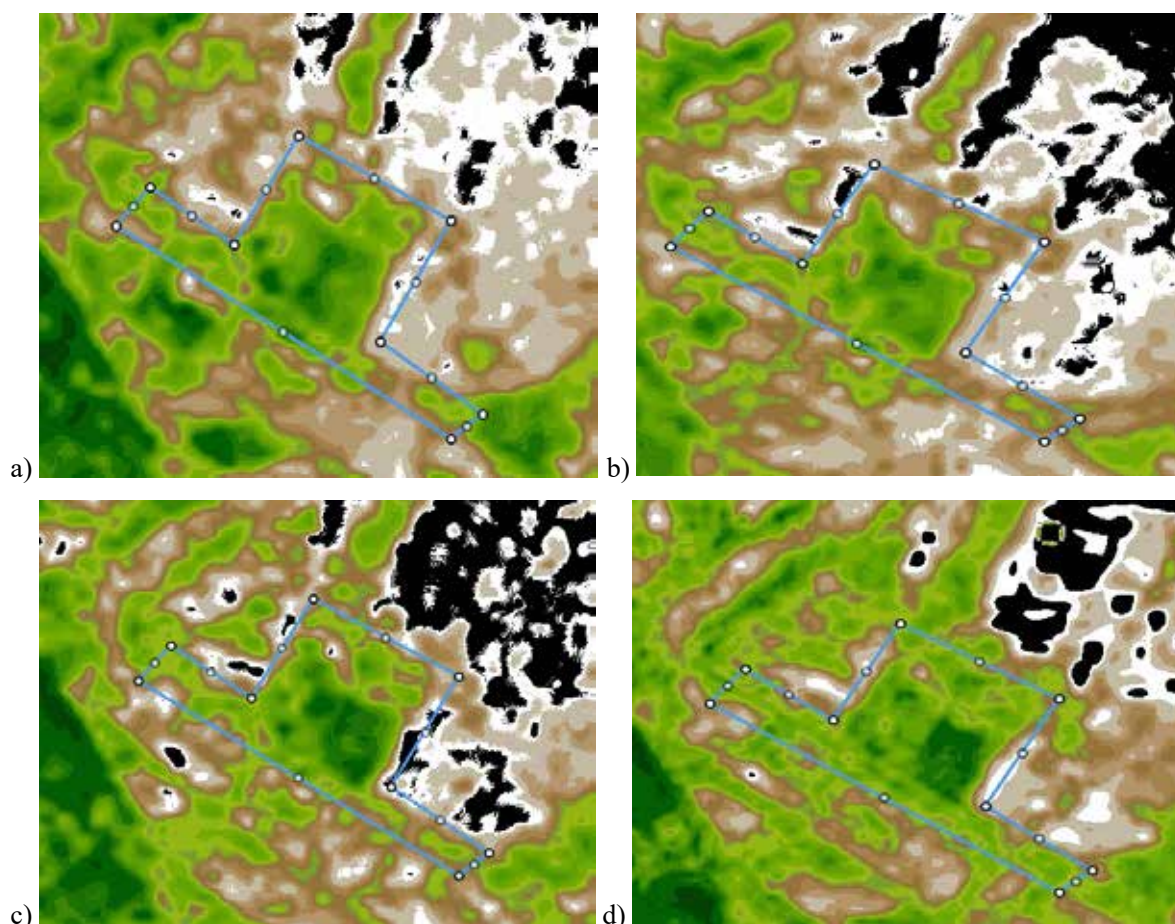


Рис. 1. Щільність рослин в захисному насадженні Алюмінієвого комбінату що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018

Таблиця 2

Значення NDVI санітарно-захисної зони Алюмінієвого комбінату в досліджуванні роки

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9–1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8–0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7–0,8	0	0	0	0
4	Густа рослинність	0,6–0,7	0	0	0	0
5	Помірна рослинність	0,5–0,6	1,05	0	2,63	2,73
6	Помірна рослинність	0,4–0,5	8,42	5,79	12,89	6,83
7	Розріджена рослинність	0,3–0,4	19,21	12,63	11,84	21,84
8	Розріджена рослинність	0,2–0,3	23,42	21,58	24,74	31,91
9	Відкритий ґрунт	0,1–0,2	26,05	35,26	27,11	25,77
10	Відкритий ґрунт	0,0–0,1	21,84	23,95	18,42	10,24
11	Немає вегетації	-1–0,0	0	0,75	2,37	0,68

по 2018 збільшується відсоток площі рослинності «поганого» та «задовільного» стану. Лише 2,73 % деревостану оцінено як «добрий», 6,83 % як «задовільний». 53,75 % площі зелених насаджень захисної смуги віднесено до категорії стану рослинності «поганий» та «пригнічений».

Отже, за допомогою космічних знімків виявили, що щільність рослинного покриву захисних наса-

джень Алюмінієвого комбінату та його стан значно змінився з роками. Відбулося поновлення складу рослинності, але воно мізерне. Отже, санітарно-захисна зона даного заводу потребує реконструкції.

За довготривалими часовими серіями багатоспектральних космічних знімків Landsat TM/ETM+ були досліджені просторово-часові тенденції зміни рослинного покриву санітарно-захисної зони

підприємства Укрграфіт. Результати розрахунку NDVI за допомогою супутникових знімків подано на рис. 2. Визначили відносну площу території яка відповідає певним діапазнам значень. Космічні знімки, що отримані з 1990 по 2018 рік чітко показують зміни в щільності захисного насадження підприємства.

На зображеннях (рис. 2) добре видно, як змінювалась структура санітарно-захисного зеленого насадження «Укрграфіт» з 1990 по 2018 рік.

У 1990 року територія з відкритим ґрунтом займала 41,94%, а в 2000 році були зафіксовані найбільші кількісні показники в цьому діапазоні значень

(від 0,0 до 0,2). З 2000 р. по 2018 спостерігається позитивна динаміка зі зменшення площі території, на якій відсутня рослинність. Згідно нашим даним [44], з інвентаризації насадження санітарно-захисної зони цього заводу, це відбувається за рахунок сформованих квітників. У 1990 р. рослинність займала 57,26% території захисної смуги. У 2018 р. частка рослинності зросла до 75,61%. Найгірше становище було відмічене в 2000 році. У захисному насадженні площа території, що зайнята помірно рослинністю, становила 4,47%, розрідженою – 24,56%. З цього року до 2018 прослідковується позитивні

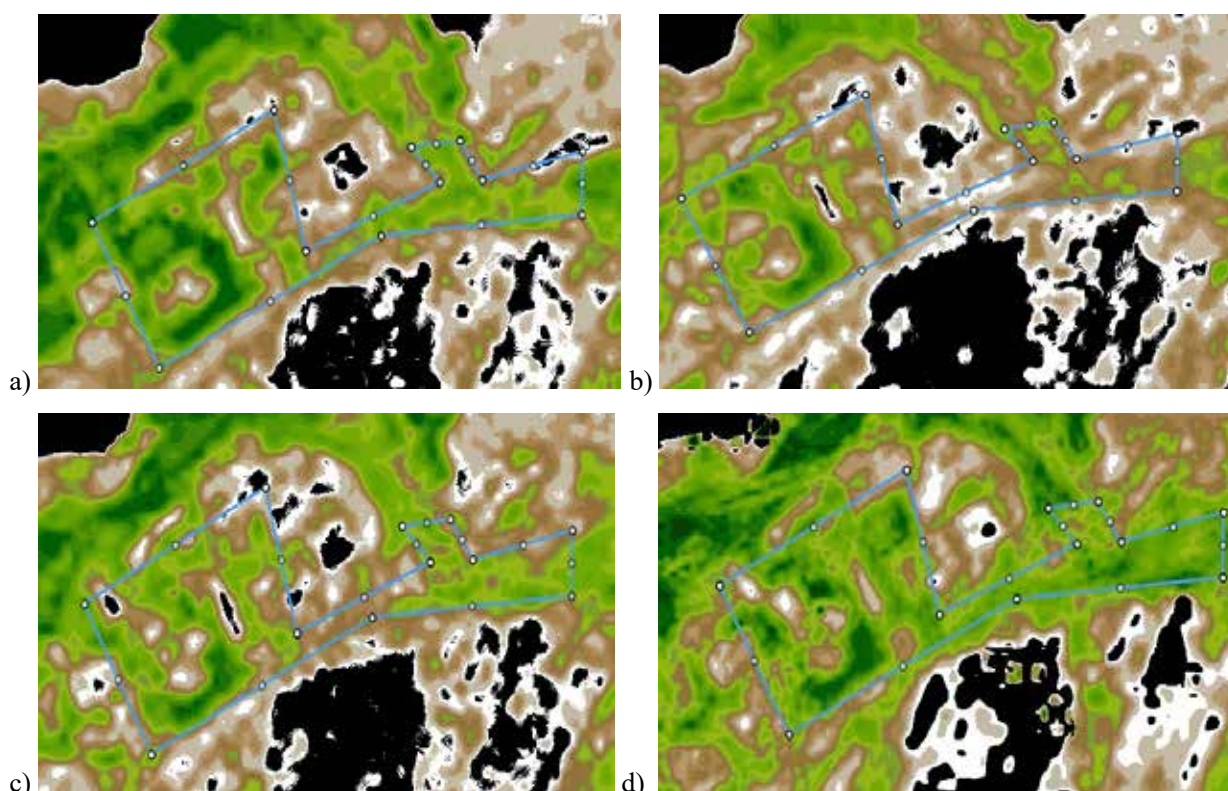


Рис. 2. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Укрграфіт, що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; г) 2018.

Таблиця 3

Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Укрграфіт в досліджуванні роки

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9–1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8–0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7–0,8	0	0	0	0
4	Густа рослинність	0,6–0,7	0,16	0	0	0
5	Помірна рослинність	0,5–0,6	4,31	0,32	0,32	4,15
6	Помірна рослинність	0,4–0,5	8,29	4,15	3,67	12,6
7	Розріджена рослинність	0,3–0,4	16,43	4,78	10,69	29,51
8	Розріджена рослинність	0,2–0,3	28,07	19,78	29,82	29,35
9	Відкритий ґрунт	0,1–0,2	30,46	44,34	37,8	17,22
10	Відкритий ґрунт	0,0–0,1	11,48	25,36	16,27	7,02
11	Штучні матеріали	-1–0,0	0,8	1,28	1,44	0,16

зміни, але щільність насадження зростала з двох причин: по-перше – за рахунок висадження нових порід дерев – клен гостролистий, яблуня лісова, липа серцелиста та туя східна. Проте, частка висаджених дерев незначна. Щільність зеленої санітарної смуги також збільшувалась за рахунок самосіву, який утворює хащі (айлант найвищий та в'яз граблистий).

За шкалою І.Г. Семенової (2014) стан 12,6% деревних рослин в 2018 році, характеризується як «задовільний», та 58,86% як «поганий». І лише 4,15% віднесено до категорії «добрий». Слід зазначити, що пригнічений стан рослин пояснюється

не тільки негативною дією на них промислових викидів, але й внаслідок значного віку насаджень (близько 50 років).

За допомогою проведеної калькуляції нормалізованого індексу визначили щільність насадження санітарно-захисної зони підприємства Дніпроспецсталь за 1990, 2000, 2010, 2018. Аналізуючи дані таблиці 4, можемо сказати що з 2000 по 2018 рік зменшується відсоток площі без рослинності. В 1990 році 43,92% території займав відкритий ґрунт, в 2000 – 55,42%, в 2010 – 36,07, в 2018 році цей показник становив 26,18%. В 2000 році у зеленій зоні були висаджені

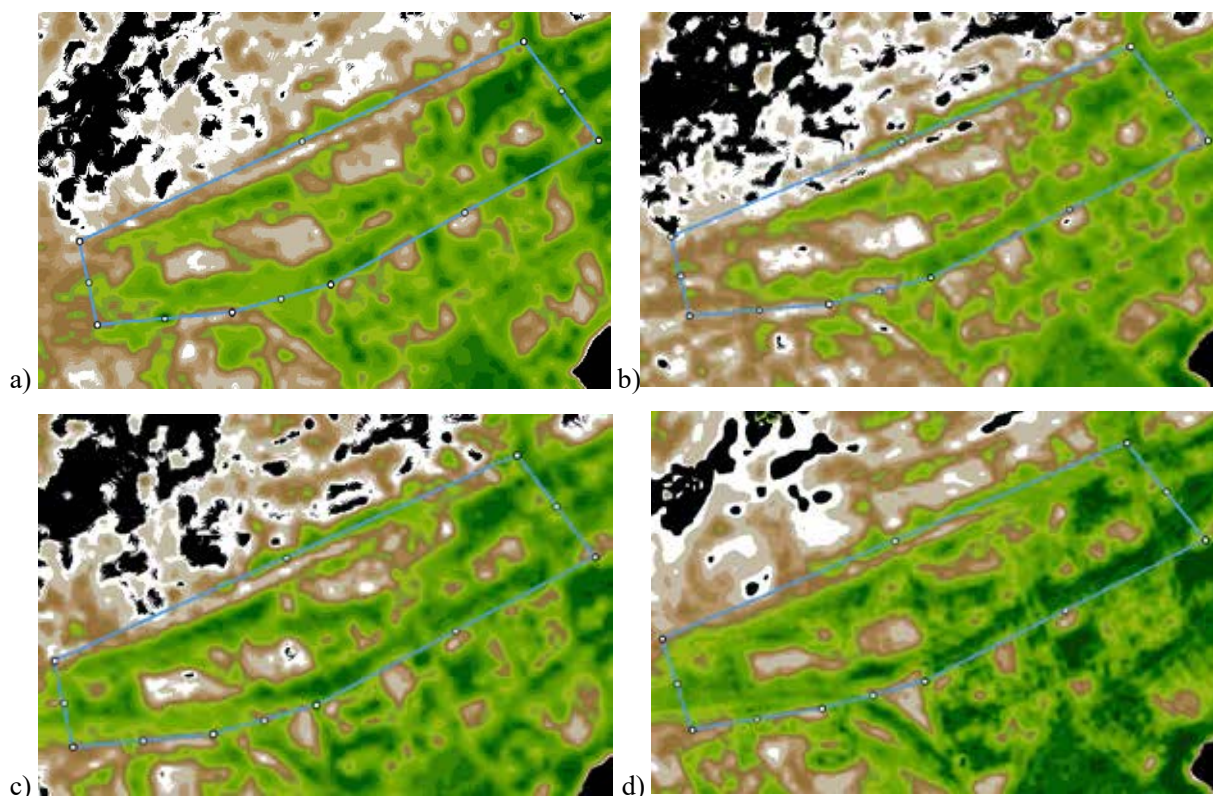


Рис. 3. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Дніпроспецсталь, що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

Таблиця 4

Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Дніпроспецсталь в досліджуванні роки

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9–1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8–0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7–0,8	0	0	0	0
4	Густа рослинність	0,6–0,7	0,28	0	0	2,69
5	Помірна рослинність	0,5–0,6	3,55	0	2,43	8,17
6	Помірна рослинність	0,4–0,5	8,6	4,58	16,54	14,86
7	Розріджена рослинність	0,3–0,4	16,92	15,79	20,19	24,7
8	Розріджена рослинність	0,2–0,3	26,73	23,46	24,67	23,4
9	Відкритий ґрунт	0,1–0,2	25,7	30,47	21,21	18,94
10	Відкритий ґрунт	0,0–0,1	18,22	24,95	14,86	7,24
11	Штучні матеріали	-1–0,0	0	0,75	0,09	0

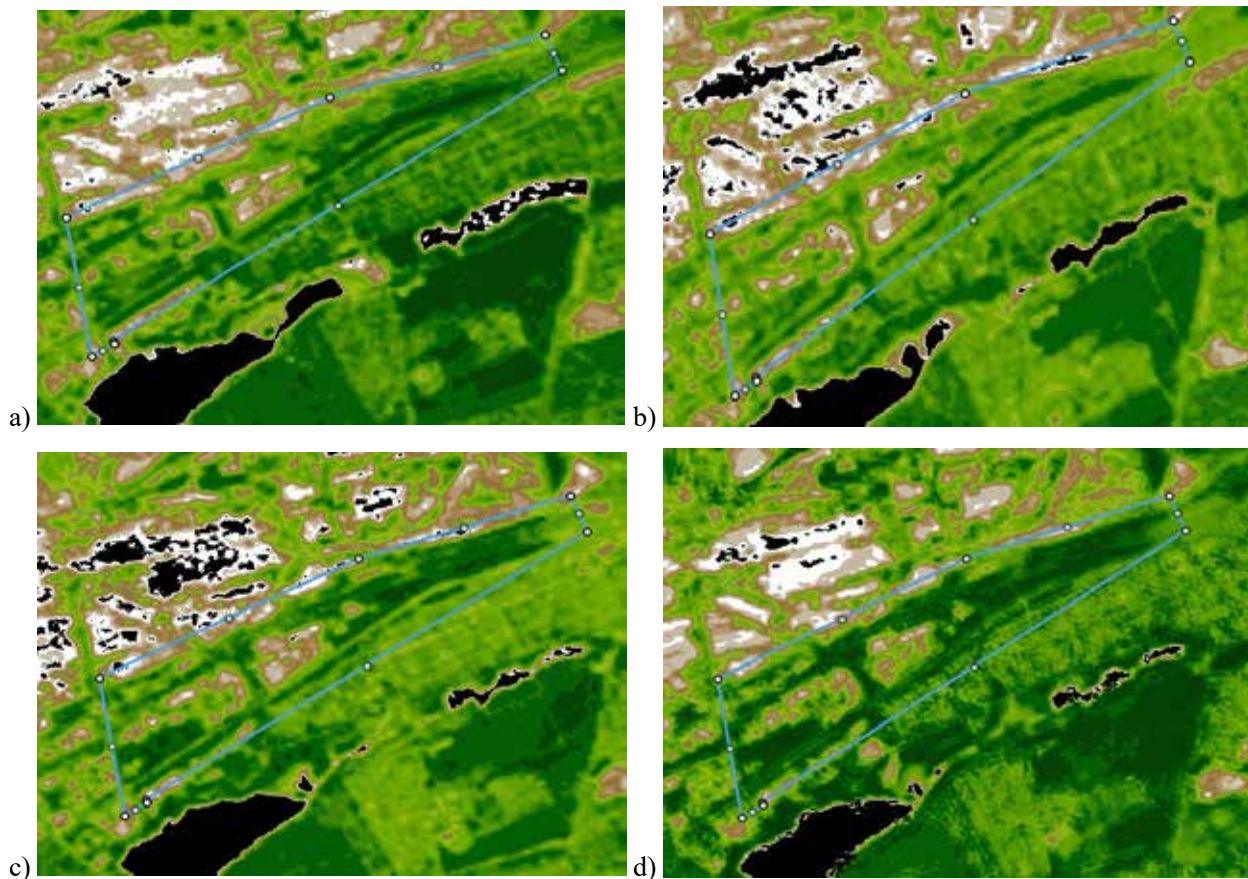


Рис. 4. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Запоріжсталь (Ділянка А) що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

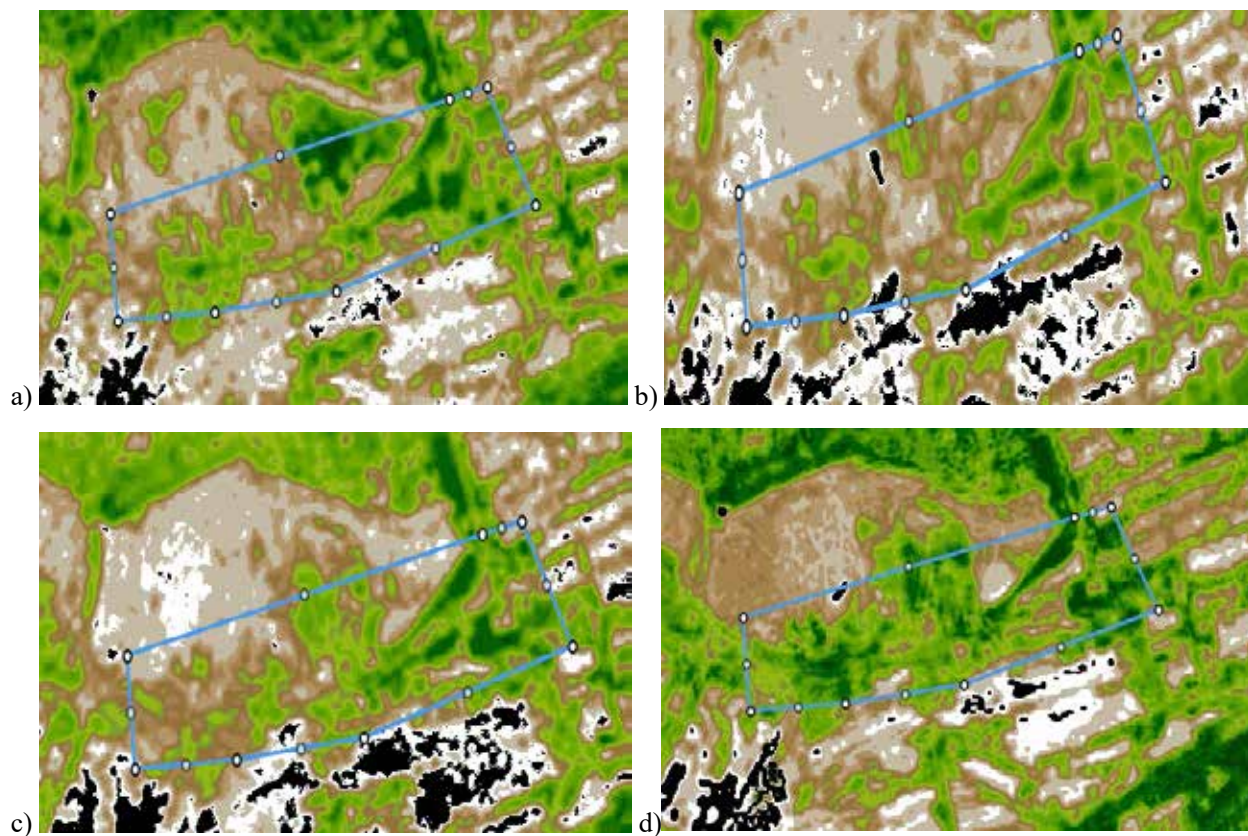


Рис. 5. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Запоріжсталь (Ділянка Б), що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

такі рослини як липа серцелиста, береза повисла, туя західна, ялина колюча, ялина звичайна, в 2010 горіх грецький. Внаслідок їх росту збільшилась частка щільності насадження. Слід відзначити, що на окремих територіях зростає самосів суцільними групами, утворюють непродувні хащі. На зображеннях добре прослідковується, як ділянки зі щільною рослинністю з роками стають розрідженими, за рахунок відмирання дерев, а на тих, які були з розрідженою рослинністю, відбуваються протилежні процеси, вони заповнюються самосівом.

Отже, відбулися позитивні зміни в щільності захисного насадження, але це в більшій мірі за рахунок самосіву, оскільки частка дерев, що була висаджена мізерна.

Аналіз стану рослин за останній рік дослідження (2018) показав, що 48,1 % за шкалою І.Г. Семенової (2014) оцінено як «поганий», 14,86 – як «задовільний», і лише 10,86 % оцінено до категорії «добре».

Таким чином, порівнюючи зміни в щільності санітарно-захисного насадження Дніпроспецсталь з 1990 року по 2018, можна констатувати: прослідковується підвищення значень нормалізованого відносного індексу рослинності за рахунок заповнення території самосівом та висаджених дерев в 2000 та 2010 роках рослин.

На зображеннях (рис. 4, 5) добре видно, як змінювалась структура захисних насаджень заводу Запоріжсталь з 1990 по 2018 рік. Санітарно-захисна зона даного заводу умовно поділена на дві частини «А» – територія яка розташована перед центральною будовою, та «Б» – з задньої частини заводу, де розташовані Мартенівські печі.

Цифрова інформація зміни густоти насаджень ділянки «А» свідчить, що з 1990 по 2000 рік збільшилась на 5,20 % територія, яку займає відкритий ґрунт. Значно зріс відсоток (на 18,15 %) ділянки яка відповідає значенням NDVI 0,2–0,4, на 20,67 % зменшилась площа з помірною рослинністю. З 2000 року по 2018 спостерігається позитивна динаміка, на території розташованій перед адміністративним приміщенням заводу. За певною частиною насаджень

здійснюється нагляд. Висадженні в 2000 та 2010 році нові рослини клена псевдоплатанового, катальпи бігнонієвидної, берези повислої, туї західної та з'явилися нові квітники. Але є частина території, що розташована північніше, на якій занедбані та ослаблені рослини, з великою кількістю сухого гілля, на цій ділянці зростає велика кількість порослі айланта найвищого та в'язу граболистого.

З 2000 року по 2018 майже в двічі скоротилась площа з розрідженою рослинністю, а збільшилась з помірною рослинністю на 18,44 %. Необхідно відмітити що з 2000 року в роки дослідження (2010, 2018) поступово зменшився відсоток площі з відкритим ґрунтом, за рахунок створення квітників та заповнення окремих ділянок самосівом.

Оцінки стану рослинності за шкалою І.Г. Семенової (2014) свідчить що в 2018 році 20 % має «задовільний» стан, 15,23 % та 10,42 % – «поганий» та «пригнічений» відповідно. 40,46 % – рослин, віднесено до категорії «добре», і лише «0,59» – «дуже добре». Отже, 45,65 % мають ослаблений стан.

Ділянка «Б» ніколи не знаходилась під наглядом. Тут зростає велика кількість представників родини Кленові і територія заповнена самосівом клена ясенелистого, в'язу граболистого та айланта найвищого. В 1990 році територія з відкритим ґрунтом становила 52,67 %, самий великий відсоток з цим діапазоном значень спостерігається в 2000 році – 72,78 %. Далі територія поступово заростає самосівом. У 2010 відсоток території без вегетації становить 60,80 %, в 2018 – 33,57 %. Відсоток площі з розрідженою рослинністю в 2018 році, в порівнянні з 1990 роком дослідження майже не змінився.

Площа території, яка відповідає значенням NDVI як помірна та густа рослинність, збільшилась майже вдвічі. Але щільність рослин зростає за рахунок самосіву. За шкалою І.Г. Семенової (2014) на 2018 рік 11,15 % рослинного покриву оцінено категорією «добрий», решта – «ослаблені».

На табл. 7 представлено зміни щільності та стану захисних насаджень заводу Вогнетрив (з 1990 по 2018).

Таблиця 5

Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Запоріжсталь в досліджуванні роки (ділянка А)

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9–1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8–0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7–0,8	0	0	0	0,59
4	Густа рослинність	0,6–0,7	3,25	0	3	19,11
5	Помірна рослинність	0,5–0,6	14,3	4,77	15,86	21,35
6	Помірна рослинність	0,4–0,5	29,28	18,14	22,57	20
7	Розріджена рослинність	0,3–0,4	19,07	30,3	21,65	15,23
8	Розріджена рослинність	0,2–0,3	13,12	20,04	14,51	10,42
9	Відкритий ґрунт	0,1–0,2	11,69	14,3	12,66	8,65
10	Відкритий ґрунт	0,0–0,1	9,2	11,39	9,28	4,64
11	Штучні матеріали	-1–0,0	0,08	1,05	0,46	0

Таблиця 6

Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Запоріжсталь в досліджуванні роки (ділянка Б)

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9–1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8–0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7–0,8	0	0	0	0
4	Густа рослинність	0,6–0,7	1,25	0	0,12	3,08
5	Помірна рослинність	0,5–0,6	4,57	0,18	2,73	8,07
6	Помірна рослинність	0,4–0,5	7,06	3,86	5,69	15,01
7	Розріджена рослинність	0,3–0,4	11,8	7,47	10,79	17,85
8	Розріджена рослинність	0,2–0,3	22,6	14,06	19,45	22,12
9	Відкритий ґрунт	0,1–0,2	32,03	37,13	35,65	21,29
10	Відкритий ґрунт	0,0–0,1	20,64	35,65	25,15	12,28
11	Штучні матеріали	-1–0,0	0,06	1,66	0,42	0,3

Таблиця 7

Значення NDVI санітарно-захисної зони заводу Вогнетрив в досліджуванні роки

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9–1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8–0,9	0	0	0	0
3	Густа рослинність	0,7–0,8	1,93	0	0	2,57
4	Густа рослинність	0,6–0,7	9,91	0,77	0	25,61
5	Помірна рослинність	0,5–0,6	24,97	3,6	8,11	21,88
6	Помірна рослинність	0,4–0,5	24,07	16,99	26,25	19,56
7	Розріджена рослинність	0,3–0,4	18,4	35,01	32,82	15,32
8	Розріджена рослинність	0,2–0,3	11,58	27,8	22,14	9,14
9	Відкритий ґрунт	0,1–0,2	5,66	12,1	8,49	5,41
10	Відкритий ґрунт	0,0–0,1	3,47	3,73	2,19	0,51
11	Штучні матеріали	-1–0,0	0	0	0	0

З 1990 року по 2000 рік зросла площа з відкритим ґрунтом на 6,7%. З 2000 року по 2018 прослідковуються позитивні зміни в діапазоні значень індексу від 0,0–0,2 (зменшення відсотку з відкритим ґрунтом). Якщо порівняти 2000 та 2018 роки, то в останньому році дослідження зменшилась площа з відкритим ґрунтом на 9,91%. У 1990 році 29,98% займаної площі – це розріджена рослинність, а в 2000 – 62,81%. Прослідковується поступове зменшення відсотку, який відповідає значенням NDVI 0,2–0,4, (розріджена рослинність). У 2018 році територія з розрідженою рослинністю становила 24,46%. Площа ділянок, на яких зростає густа рослинність, в останньому році дослідження зросла вдвічі в порівнянні з 1990 року.

Внаслідок проведеної нами інвентаризації дендрофлори цієї санітарно-захисної зони можемо сказати що щільність рослин збільшується не за рахунок підсадження нових дерев, а за рахунок самосіву клена ясенелистого, айланта найвищого.

Відсоток площі з помірною рослинністю при порівнянні двох років – 1990 та 2018, зменшився на 7,6% в останньому. В 2000 році стосовно 1990 року

збільшувалась площа з розрідженою рослинністю, а зменшувалась з помірною, за рахунок відмирання деревостану та збільшення сухого гілля. Потім почалися процеси відновлення за рахунок розповсюдження та швидкого росту самосіву.

Згідно шкали І.Г. Семенової (2014) стан рослин 47,49% оцінено як «добрий» 2,57 – дуже «добрий». 9,41% території зайнято пригніченою рослинністю та 15,32% віднесено до категорії «задовільна». Отже, 40,29% насаджень мають ослаблений стан.

За допомогою NDVI дослідили часові зміни в структурі насаджень санітарно-захисної лісосмуги Титаномагнієвого комбінату. На зображеннях (рис. 7) помітні зміни в їх щільності за роки дослідження. У 1990 році площа з відкритим ґрунтом займала 10,63% території, а в 2018 – 4,67%. Прогресивні зміни були помітні в 2010 році – 9,46%. Аналогічні зміни відбувались з величиною території, яка зайнята розрідженою рослинністю. З 1990 по 2000 рік відбувалось збільшення яке відповідає індексу NDVI 0,2–0,4. У 2018 році лише 24,77% площі зеленої зони займає розріджена рослинність, що в 1,6 менше в порівнянні з 1990 роком. В 2000 році відсоток

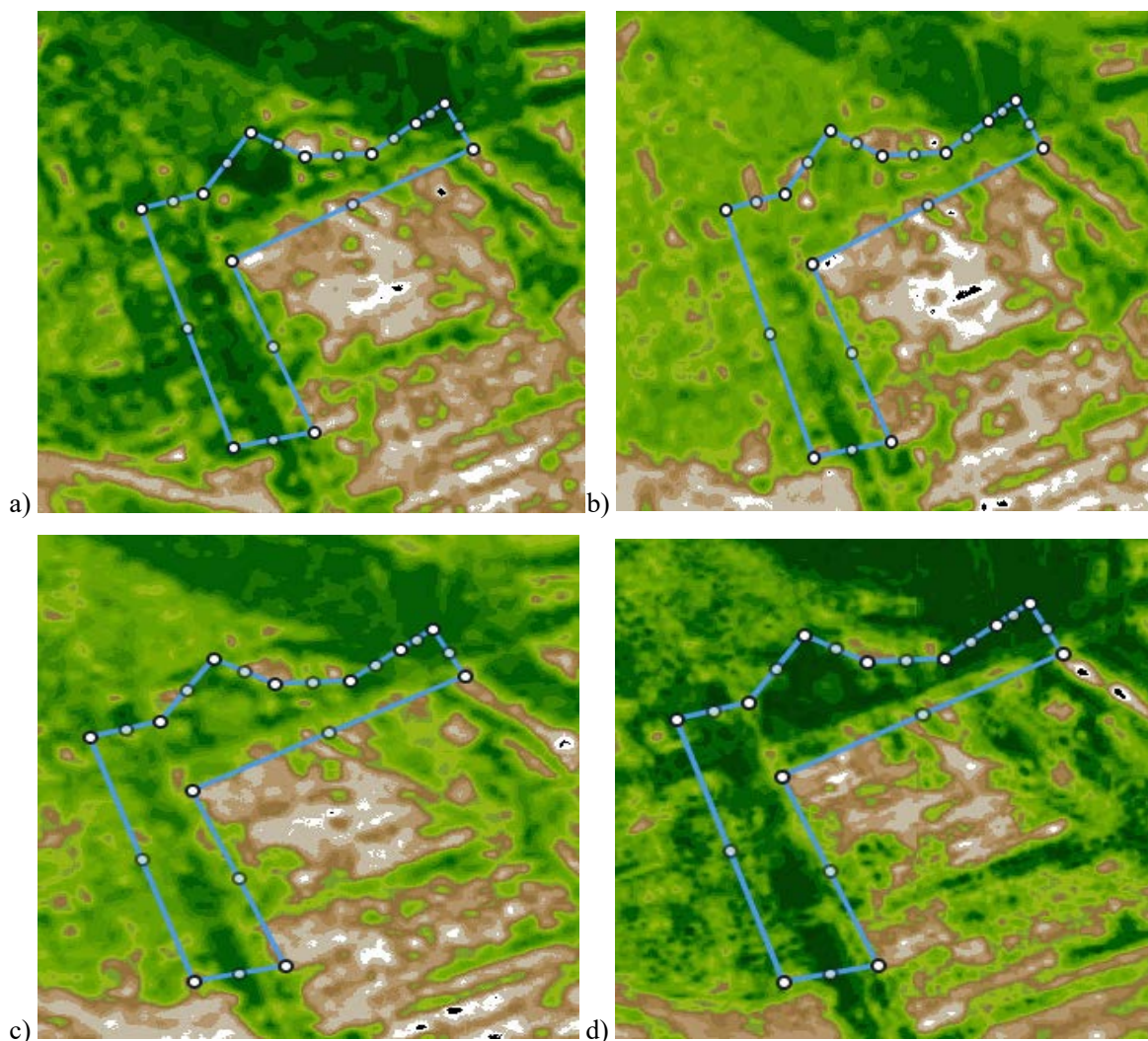


Рис. 6. Щільність рослин в захисному насадженні заводу Вогнетрив що визначали за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

площі з помірною щільністю рослин зменшився на 6%, та становить 36,22%, в 2010 році відбулися позитивні зміни і територія з такою компактністю рослин становила вже 49,18%. У 2018 в порівнянні з 1990 р. розміри ділянки, на якій зростає рослинність з помірною щільністю залишилися без змін. Однак за інформативною складовою космічних знімків з 1990 року по 2018 збільшилася зростаюча площа зі щільною рослинністю (на 20,91%). На основі проведеної нами інвентаризації можемо стверджувати, що зростання щільності насадження відбулося за рахунок самосіву. Промислові емісії негативно впливають на деревні рослини, призводять до їх відмирання, тому щільність з 1990 до 2000 р. знизилась за рахунок ослаблення дерев та відмирання. З 2010 року по 2018 територія значно заповнилась самосівом.

Оцінка стану рослинності в 2018 році за шкалою І.Г. Семенової (2014): свідчить, що на території санітарно-захисної зони Титаномagneїєвого комбаніту до пригніченого стану відноситься 9,7% рослинності, 15,07% її оцінена як «погана»,

50% території лісонасадження віднесено до категорії «добре», менше 1% рослин – «дуже добре». Ми вважаємо, що це відбувається за рахунок нових висаджених у 2000 та 2010 роках хвойних дерев. Отримані значення за шкалою стану рослинності запропонованою І.Г. Семенової (2014) та наші дані, що одержані внаслідок інвентаризації деревостану санітарно-захисної зони різняться. До категорії без ознак ушкодження в 2018 році відноситься 8,78%. До помірно ослаблених та середньоослаблених віднесено 70,53 та 18,59% відповідно. 2,1% насадження – поганого та сухостою.

Отже, за останні 28 років відбулися значні зміни в насадженні. Ті рослини, які були висаджені в санітарно-захисних зонах рядами ще в 60–70 роках вже втрачають свій життєвий потенціал, відбувається зрідження крон, щільності, обліщення, значна частина рослин загинула внаслідок чого насадження стали більш розрідженими. Мають багато сухого гілля, пригнічений приріст, а позитивні зміни в щільності насадження відбувається за рахунок самосіву айланта найвищого та в'яза граболистого.

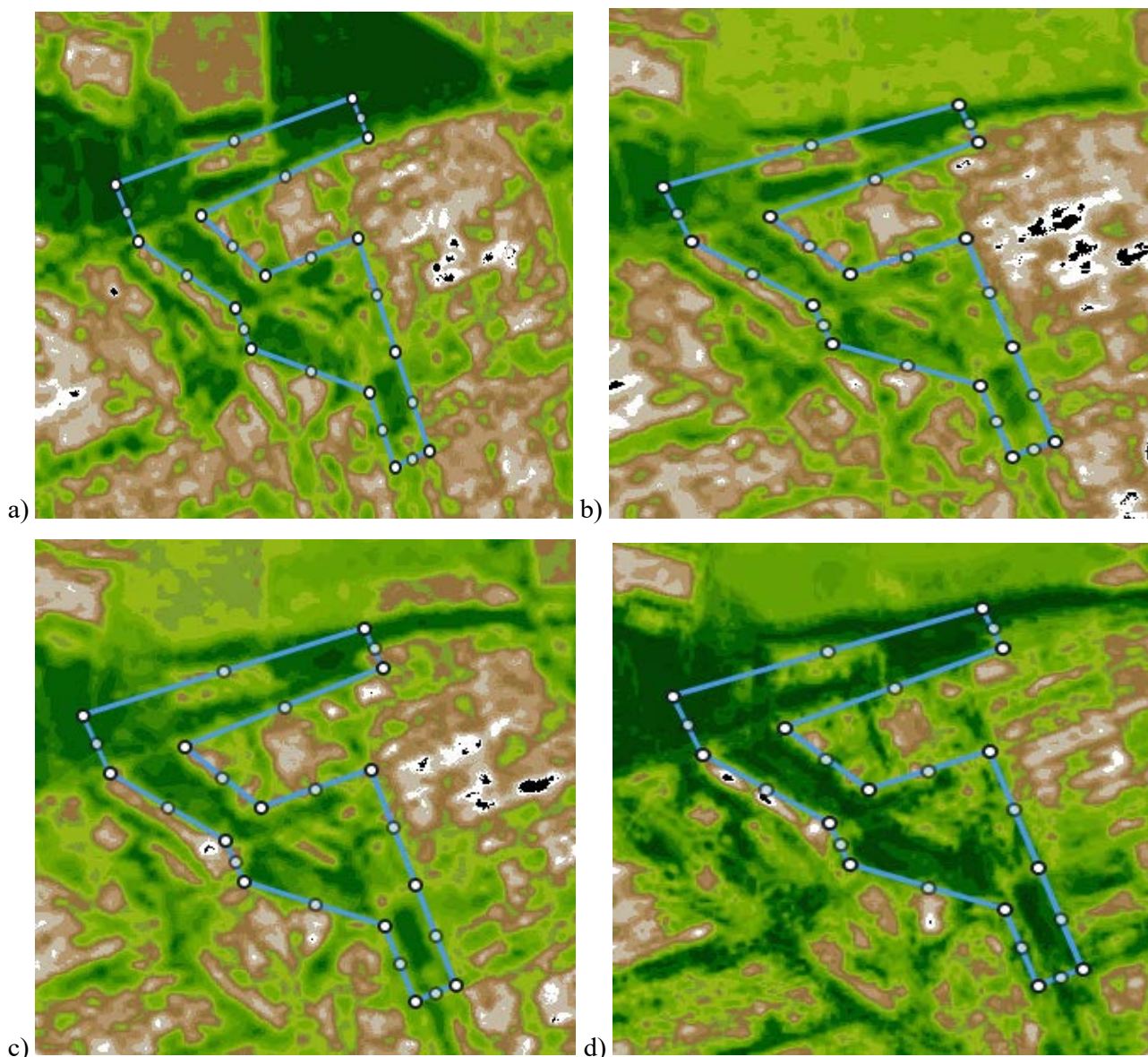


Рис. 7. Щільність рослин в захисному насадженні Титаномagneїєвого заводу що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

Таблиця 8

Значення NDVI санітарно-захисної зони Титаномagneїєвого заводу в досліджуванні роки

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9–1	0	0	0	0
2	Густа рослинність	0,8–0,9				
3	Густа рослинність	0,7–0,8				0,7
4	Густа рослинність	0,6–0,7	7,24		0,7	27,45
5	Помірна рослинність	0,5–0,6	20,91	9,93	18,22	23,83
6	Помірна рослинність	0,4–0,5	21,38	26,29	30,96	18,57
7	Розріджена рослинність	0,3–0,4	19,04	28,04	22,31	15,07
8	Розріджена рослинність	0,2–0,3	20,79	22,55	18,34	9,7
9	Відкритий ґрунт	0,1–0,2	9,58	11,68	8,76	4,09
10	Відкритий ґрунт	0,0–0,1	1,05	1,52	0,7	0,58
11	Штучні матеріали	-1–0,0	0	0	0	0

Вони утворюють не продувні хащі. Це має негативне значення для очисних функцій насадження, оскільки порушується повітряний обмін фільтруючої конструкції. Слід відмітити, що за останні 10 років були висаджені клен гостролистий та хвойні: туя західна та східна, ялина, але їх частка в збільшенні численності деревостану незначна. Отже, на знімках спостерігається позитивна динаміка в змінах щільності, але це переважно за рахунок самосіву.

Проведені дослідження зелених масивів санітарно-захисної зони Трансформаторного заводу показали, що відносна площа з відкритим ґрунтом у 2018 у порівнянні з 2010 значно зменшилася. Прослідковуються позитивні зміни в динаміці з 2000 року. В порівнянні з 1990 року та 2018 займана площа зменшилась на 10,81%, хоча 1990, 2000, та 2010 ці величини відносно площі з відкритим ґрунтом майже однакові. Подібні зміни відбувались і у величині площі розрі-

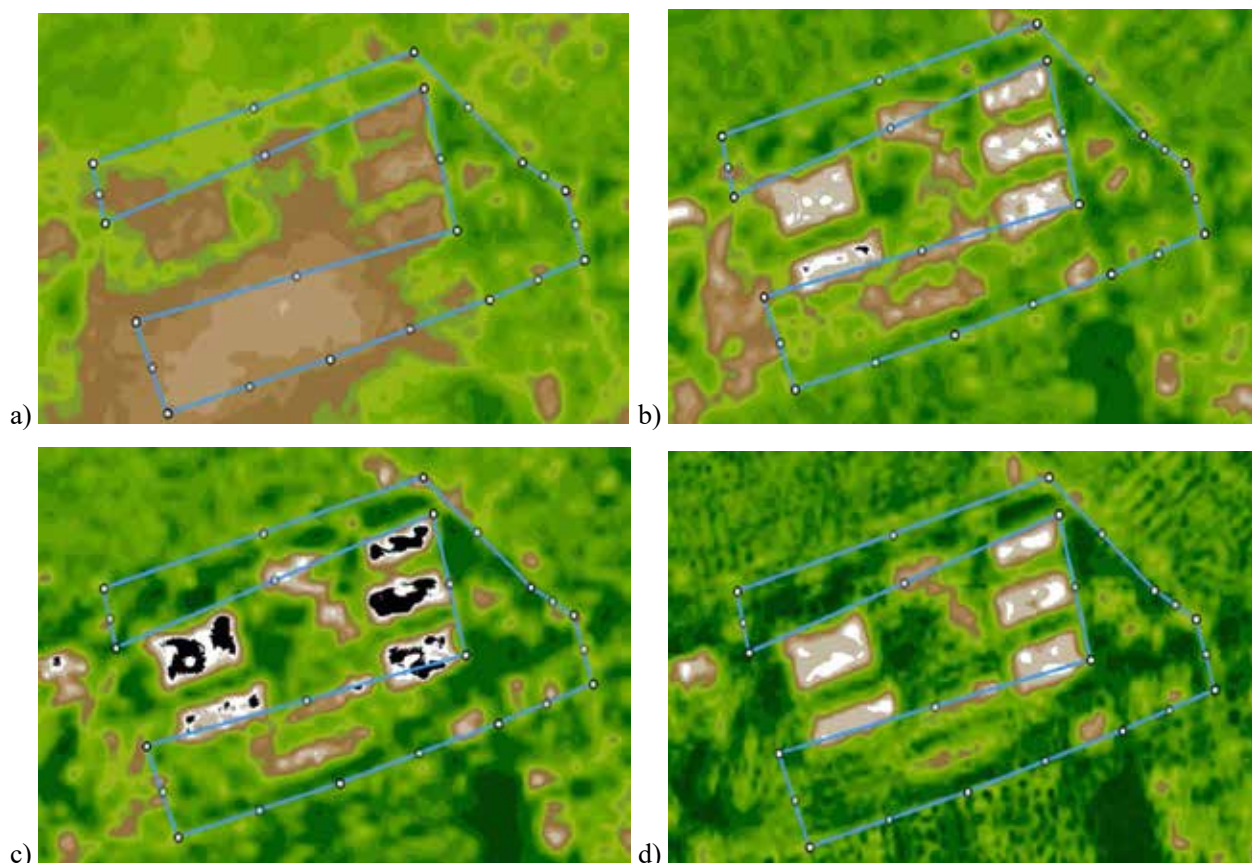


Рис. 8. Щільність рослин для захисного насадження Трансформаторного заводу що визначено за допомогою вегетаційного індексу NDVI, а) 1990; б) 2000; в) 2010; д) 2018.

Таблиця 9

Значення NDVI санітарно-захисної зони Трансформаторного заводу в досліджуванні роки

Клас	Назва класу	Діапазон значень	Відносна площа, %			
			1990	2000	2010	2018
1	Густа рослинність	0,9–1				
2	Густа рослинність	0,8–0,9				
3	Густа рослинність	0,7–0,8				0,13
4	Густа рослинність	0,6–0,7	0,54		1,61	7,93
5	Помірна рослинність	0,5–0,6	7,39	1,48	14,25	21,77
6	Помірна рослинність	0,4–0,5	22,18	19,09	19,22	24,06
7	Розріджена рослинність	0,3–0,4	26,61	30,51	25,54	22,18
8	Розріджена рослинність	0,2–0,3	20,3	24,73	19,35	11,83
9	Відкритий ґрунт	0,1–0,2	16,8	17,2	12,63	7,6
10	Відкритий ґрунт	0,0–0,1	6,05	6,99	6,72	4,44
11	Немає вегетації	-1–0,0	0,13	0	0,67	0

дженної рослинності. З 1990 року по 2000 рослин, які були висаджені ще в 60 роках досягали значного віку і втрачали життєві ознаки. З 2000 року були висаджені дерева липи серцелистої, горіху грецького і клену сріблястого. Внаслідок цього збільшувалась щільність насадження, що підтверджується космічними знімками. З 2000 року зменшується відсоток з розрідженою рослинністю та збільшується територія з помірною та густою рослинністю.

Слід зазначити, у виробничому процесі Трансформаторного заводу викидається значно менше шкідливих поллютантів ніж в процесі діяльності інших підприємств на яких проводилися дослідження, не мають сильного впливу на рослинність і дирекція заводу піклується про зелені насадження оновлюючи їх, здійснюють нагляд та значно збагачують новими видами.

Головні висновки: аналіз щільності деревостану показав подібні процеси у всіх вивчених захисних лісосмугах промислових підприємств м. Запоріжжя. З 1990 року по 2000 знижується щільність насадження та збільшується територія, яка відповідає значенням 0,0–0,2 (відкритий ґрунт). З 2000 по 2018 роки

відбуваються позитивні зміни в густоті насадження за рахунок заповнення території самосівом. На всіх досліджуваних зелених насадженнях санітарно-захисних зон підприємств в 2000 та 2010 роках здійснювалась висадка нових порід, але кількісний показник їх незначний, тому вплив на щільність деревостану захисних зон невеликий.

Стан лише близько 10% рослинності в зелених зонах санітарно-захисних зон по шкалі І.Г. Семенової (2014), оцінено як «добрий», окрім насадження Вогнетрив та Запоріжсталь (ділянка Б). Для цих лісосмуг від 60% до 54% дерев віднесені до цієї категорії. Найгірший стан рослин характерний для захисних зон Алюмінієвого комбінату та заводу Укрграфіт. Лише 2,73 та 4,15% відповідно оцінено – «добре».

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані дані можуть бути покладені в основу бази даних про стан зелених масивів санітарно-захисних зон ряду промислових підприємств м. Запоріжжя для подальших моніторингових спостережень, а також для прийняття рішень з реконструкції цих насаджень.

Література

1. Фещенко О.Л., Каменева Н.В. Оцінка впливу діяльності металургійних підприємств на навколишнє природне середовище України. *Економічна наука. Інвестиції: практика та досвід*. 2016. № 2. С. 28–32.
2. Aksu A. Sources of metal pollution in the urban atmosphere (A case study: Tuzla, Istanbul). *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2015. Vol. 13. No 79. PP. 1–9. doi: 10.1186/s40201-015-0224-9
3. Boichenko V.M., Molchanov L.S., Synegin I.V. Technological Methods to Protect the Environment in the Ukrainian BOF Shops. *Ironmaking and Steelmaking Processes*. 2016. PP. 285–299. doi: 10.1007/978-3-319-39529-6_17
4. Горохова В.А., Тубольцев Л.Г., Корченко В.П., Падун Н.И. Проблемы модернизации производства и экологическая ситуация в черной металлургии Украины. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сборник научных трудов*. 2009. Вып. 20. С. 358–368.
5. Бессонова В.П. Эффективность осаждения пылевых частиц листьями древесных и кустарниковых растений. *Вопросы защиты природной среды и охраны труда в промышленности: Сборник научных трудов*. 1993. С. 34–37.
6. Бессонова В.П., Зайцева І.А. Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження. *Питання біоіндикації та екології*. 2008. С. 62–67.
7. Денисова Е.С. Использование ивы белой в озеленении санитарно-защитных зон Западной Сибири. *Омский научный вестник*. 2014. № 2 (134). С. 199–203.
8. Ганаба Д.В. Пилове навантаження на деревні насадження міста Хмельницького. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. 2015. № 19. С. 55–60.
9. Sklyarenko A.V., Bessonova V.P. Accumulation of sulfur and glutathione in leaves of woody plants growing under the conditions of outdoor air pollution by sulfur dioxide. *Biosystems Diversity*. 2018. Vol. 26 (4). PP. 334–338.
10. Санаев И.В. Роль зеленых насаждений в создании оптимальной городской среды. *Вестник МГУЛ*. 2006. № 6. 71–76.
11. Подколзин М.М. Современное состояние и функционирование объектов озеленения в условиях техногенной нагрузки. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2011. № 66. С. 1–10.
12. Семенютина А.В., Кретинин В.М., Таран С.С. Принципы формирования и размещения культурценозов в санитарно-защитных зонах на техногенных землях. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2013. № 2 (30). С. 1–7.
13. Семенютина А.В., Ноянова Н.Г., Курманов Н.В. Scientific justification of selection of plants for sanitary protection zones in arid region. *Наука. Мысль: электронный периодический журнал*. 2018. № 1. С. 52–67.
14. Нестерова А.Э., Иванова Ю.П. Разработка проекта озеленение на территории санитарно-защитной зоны предприятия, как природоохранного мероприятия. *Инженерный вестник дона*. 2019. № 1 (52). С. 1–13.
15. Пашков Д.П. Аналіз можливостей застосування космічних систем дистанційного зондування Землі для вирішення екологічних завдань. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. № 2 (15). С. 184–188.
16. Байцим А.І., Талах М.В., Стратій В.І. Використання нормального вегетаційного індексу для моніторингу стану рослинного покриву НПП «Вишницький» на основі даних супутникової зйомки. *Молодий вчений*. 2016. № 5 (32). С. 208–213.
17. Киселевская К.Е. Применения метода дистанционного зондирования Земли для экологического мониторинга. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009. № 1. С. 188–190.

18. Ustin S.L., Gamon J.A. Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist*. 2010. Vol. 186 (4). PP. 795–816. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x.
19. Грехнев Н.И., Липина Л.Н., Усиков В.И. К вопросу оценки экологического риска с использованием метода дистанционного зондирования земли. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015. № 12. С. 302–307.
20. Царев Ю.В., Царева С.А., Буймова С.А., Кувыкин Н.А. Беляева О.В. Экологический мониторинг линейного промышленного объекта методом дистанционного зондирования Земли. *Экология и промышленность России*. 2014. № 5. С. 56–61.
21. Mallegowda P., Rengaian G., Krishnan J., Niphadkar M. Assessing Habitat Quality of Forest-Corridors through NDVI Analysis in Dry Tropical Forests of South India: Implications for Conservation. *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7. PP. 1619–1639. doi:10.3390/rs70201619
22. Гопп Н.В., Смирнов В.В. Использование вегетационного индекса (NDVI) для оценки запасов надземной фитомассы тундровых сообществ растений. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2009. № 1. С. 1–6.
23. Adam E., Mutanga O., Rugege D. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management*. 2010. Vol. 18. Issue 3. PP. 281–296. doi:10.1007/s11273-009-9169-z
24. Pettorelli N., Laurance W.F., O'Brien T.G., Wegmann M., Nagendra H., Turner W. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*. 2014. Vol. 51. PP. 839–848. doi:10.1111/1365-2664.12261
25. Pérez-Hoyos A., Martínez B., García-Haro F.J., Moreno A., Gilbert M.A. Identification of Ecosystem Functional Types from Coarse Resolution Imagery Using a Self-Organizing Map Approach: A Case Study for Spain. *Remote Sensing*. 2014. Vol. 6. PP. 11391–11419. doi:10.3390/rs6111391
26. Кохан С.С. Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів сільськогосподарських культур. *Космічна наука і технологія*. 2011. Т. 17. № 5. С. 58–63.
27. Кохан С.С. Застосування вегетаційних індексів нормалізованої різниці та зваженої різниці при визначенні стану сільськогосподарських культур. *Доповіді Національної академії наук України*. 2012. № 2. С. 135–140.
28. Слободяник М.П. Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за матеріалами ДЗЗ та вегетаційними індексами. *Вісник геодезії та картографії*. 2014. № 6 (93). С. 16–20.
29. Fortes R., Prieto M. del H., García-Martín A., Córdoba A., Martínez L., Campillo C. Using NDVI and guided sampling to develop yield prediction maps of processing tomato crop. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 13. No 1 (2015). PP. 1–9. doi: 10.5424/sjar/2015131-6532
30. Price K., Egbert S., Lee R., Boyce R., Nellis M.D. Mapping land cover in a high plains agroecosystem using a multi-date landsat thematic mapper modeling approach. *Transactions of the Kansas Academy of Science*. Vol. 100 (1–2). PP. 21–33. doi:10.2307/3628436
31. Братков В.В., Кравченко И.В., Туаев Г.А., Атаев З.В., Абдулжалимов А.А. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа. *Известия ДГПУ. Серия: Естественные и точные науки*. 2016. Т. 10. № 4. С. 97–111.
32. Лиджиева Л.Ц., Уланова С.С., Федорова Н.Л. Опыт применения индекса вегетации (NDVI) для определения биологической продуктивности фитоценозов аридной зоны на примере региона черные земли. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2012. С. 94–96.
33. Pettorelli N., Vik J., Mysterud A., Gaillard J., Tucker C., Stenseth N. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. 2005. Vol. 20. PP. 503–510. doi:10.1016/j.tree.2005.05.011
34. Morawitz D.F., Blewett T.M., Cohen A., Alberti M. Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006. Vol. 114(1-3) PP. 85–106. doi:10.1007/s10661-006-1679-z
35. Мячина К.В., Малахов Д.В. Опыт применения данных дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения для выделения объектов нефтепромыслов в условиях техногенно модифицированного ландшафта (на примере Оренбургской области). *Известия Самарского научного центра РАН*. 2013. №3–7. С. 2341–2345.
36. Евдокимов С.И., Михалоп С.Г. Определение физического смысла комбинации каналов снимков Landsat для мониторинга состояния наземных и водных экосистем. *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки*. 2015. № 7. С. 21–32.
37. Xue J., Su B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*. 2017. Vol. 2017. PP. 1–17. doi:10.1155/2017/1353691
38. Bhandari A.K., Kumar A., Singh G.K. Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Jabalpur City. *Procedia Technology*. 2012. Vol. 6. PP. 612–621. doi:10.1016/j.protcy.2012.10.074
39. Nath B., Acharjee Sh. Forest Cover Change Detection using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Study of Reingkhoyongkine Lake's Adjoining Areas, Rangamati, Bangladesh. *Indian Cartographer*. 2013. Vol. XXXIII. PP. 348–353.
40. Кочубей С.Н., Кобец Н.И., Шадчина Т.М. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики. Киев: Наукова думка, 1990. 136 с.
41. Лялько В.І., Шпортюк З.М., Сахацький О.І., Сибірцева О.М. Використання індексів червоного краю та водних індексів за гіперспектральними даними EO-1 «Hyperion» для класифікації земного покриття. *Космічна наука і технологія*. 2008. Т. 14. № 3. С. 55–68.
42. Семенова І.Г. Використання вегетаційних індексів для моніторингу посух в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 43–52.
43. Скляренко А.В. Характеристика дендрофлори захисного насадження ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат». *Питання біоіндикації та екології*. 2018. Вип. 23. № 2. С. 66–80. doi:10.26661/2312-2056/2018-23/2-05
44. Скляренко А.В., Бессонова В.П. Таксаційні характеристики та життєвий стан деревних рослин санітарно-захисної зони Пат «Український графіт». *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. № 1. С. 83–87.

РОЗРАХУНОК ЗАЛИШКОВОЇ ТОВЩИНИ СТІНКИ ДІЛЯНКИ НАФТОПРОВОДУ ВНАСЛІДОК ЗОВНІШНІХ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Степова О.В.¹, Матвієнко А.М.²

Національний університет

¹«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава

²Департамент дослідження свердловин та розробки родовищ
вул. маршала Бірюзова, 53, 36000, м. Полтава
novator11977@ukr.net, alenastepovaja@gmail.com

За результатами аналізу сучасного стану науково-технічних досягнень з питань шкідливого впливу на довкілля внаслідок аварійних витоків, згоряння або вибухів нафтопродуктів виявлено, що одним із небезпечних чинників є зовнішні та внутрішні корозійні процеси з ризиками розгерметизації сталевих нафтопроводів і виникненням надзвичайних ситуацій. Наслідками зазначеного є значні екологічні збитки, пов'язані з втратою нафтопродуктів та суттєвими забрудненнями компонентів довкілля. Висунуто ідею роботи, яка полягала у запобіганні забрудненню довкілля нафтопродуктами, продуктами їх згоряння або вибуху внаслідок процесів зовнішньої корозії сталевих нафтопроводів шляхом застосування науково обгрунтованої методики оцінювання залишкової товщини стінки зазначених об'єктів. В науковій роботі із застосуванням математичної моделі електрохімічної корозії сталі нафтопроводу в тріщині ізоляційного покриття розроблено розрахункову методику визначення глибини корозії сталевих нафтопроводу при роботі макрোগальванічної корозійної пари за впливу агресивного електролітичного розчину, що дозволяє прогнозувати розвиток корозійних процесів на сталевому нафтопроводі, планувати необхідні заходи щодо запобігання забрудненню довкілля. Застосування запропонованої методики оцінювання залишкової товщини стінки ділянки нафтопроводів унеможливить забруднення довкілля нафтопродуктами, продуктами їх згоряння або вибуху внаслідок процесів зовнішньої корозії сталевих нафтопроводів. Результати даної наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні екологічні загрози від корозії трубопроводів та обладнання при транспортуванні нафти, що дасть можливість розробити заходи по запобіганню виникнення шкідливих впливів при розгерметизації нафтопроводів. *Ключові слова:* екологічна безпека, сталевий нафтопровід, електрохімічна корозія, залишкова товщина стінки.

Calculation of the residual wall thickness of the pipeline section due to external corrosion processes. Stepova O., Matvienko A.

The analysis of the current state of scientific and technical achievements on the issues of harmful effects on the environment due to accidental leaks, combustion or explosions of petroleum products revealed that one of the dangerous factors are external and internal corrosion processes with risks of depressurization of steel oil pipelines and occurrences. The consequences of this are significant environmental damage associated with the loss of petroleum products and significant pollution of environmental components. The idea was put forward to prevent pollution of the environment by petroleum products, products of their combustion or explosion due to the processes of external corrosion of steel pipelines by applying a scientifically sound method for estimating the residual wall thickness of these objects. In the scientific work with the use of mathematical model of electrochemical corrosion of steel pipeline in the cracks of the insulation coating has developed a calculation method for determining the depth of corrosion of the steel pipeline in the work of galvanic corrosion steam under the influence of an aggressive electrolytic solution, which allows to predict the development of corrosion-preventive steps of the environment. The application of the proposed method for estimation of the residual wall thickness of the pipeline section will make it impossible to pollute the environment with petroleum products, products of their combustion or explosion due to the external corrosion processes of the steel pipelines. The results of this scientific work, in combination with other studies, will help to identify potential environmental threats from pipeline corrosion and equipment in the transportation of oil, which will allow to develop measures to prevent the occurrence of harmful effects in the depressurization of oil pipelines. *Key words:* environmental safety, steel oil pipeline, electrochemical corrosion, residual wall thickness.

Постановка проблеми. Серед основних екологічних проблем, пов'язаних із функціонуванням нафтогазової галузі, автори [1] виділяють транспортування нафти й газу та вирішення проблеми екологічної безпеки під час експлуатаційних робіт. Тривала експлуатація нафтопроводів призводить до зростання ризику зовнішніх та внутрішніх корозійних пошкоджень поверхні нафтопроводу та зменшення товщини його стінки.

Утопшення стінки нафтопроводу сприяє розгерметизації сталевих нафтопроводів та створення над-

звичайних ситуацій. Наслідками зазначеного є значні екологічні збитки, пов'язані з втратою нафтопродуктів та значними впливами на компоненти довкілля: забруднення атмосферного повітря, ґрунтового та водного середовища тощо.

Розроблення методики, що дозволить неруйнівним методом визначити залишкову товщину стінки ділянки нафтопроводу, враховуючи особливості корозійних процесів та локальних пошкоджень дасть можливість оцінити міцність та залишковий ресурс нафтопроводу на момент обстеження.

Актуальність дослідження. Однією з причин розгерметизації нафтопроводів є зовнішні корозійні процеси. Розуміння закономірностей таких процесів та їх урахування є науковим підґрунтям для визначення залишкової товщини стінки, розрахунку напруженого стану та залишкового ресурсу сталевих нафтопроводів. Розвиток наукових основ забезпечення екологічної безпеки діючих сталевих нафтопроводів, які враховують особливості та закономірності процесів їх електрохімічної корозії як джерела забруднення довкілля є актуальною проблемою, вирішення якої створює передумови зменшення ризиків забруднення довкілля під час експлуатації зазначених об'єктів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України в галузі дослідження технічного стану будівель і споруд, що експлуатуються, які висвітлені у Постанові Кабінету Міністрів України № 409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж» та Рішенні Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки та оборони України від 14 лютого 2002 р. «Про технічний стан і залишковий ресурс конструкцій та споруд основних галузей господарства України». Дослідження виконані в межах держбюджетної науково-дослідної роботи Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка: «Ефективні конструктивно-технологічні рішення об'єктів транспортування та зберігання нафти і нафтопродуктів у складних інженерно-геологічних умовах».

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Огляд й аналіз праць вітчизняних та закордонних учених щодо аналізу сучасного стану науково-технічних досягнень з питань шкідливого впливу на довкілля внаслідок аварійних витоків, згоряння або вибухів нафтопродуктів на сталевих нафтопроводах і прилеглих до них територіях.

Дослідженням залежностей корозії металу від факторів навколишнього середовища велику увагу було приділено в роботах Абдулліна І.Г., Гарєєв А.Г., Гутман Е.М., Іванцова О.М., Новосьолова В.Ф., Стеклова О.І., Черняєва К.В., Цікермана Л.Я., Ясіна Е.М., Побережний Л.Я. та ін. Зазначено, що головна роль при оцінці залишкового ресурсу сталевих нафтопроводів за умов наявності тріщин в ізоляційному покритті належить вивченню залишкової товщини стінки ділянки трубопроводу.

Відомі методи оцінки стану металу за результатами корозійних випробувань передбачають використання кількісних показників [2–4].

Однією з перших моделей, які описують руйнування металу під впливом навколишнього агресивного середовища, є закони Фарадея.

Овчинніков І.П. [5] пропонує модель корозійного ураження сталі приймати у вигляді рівномірного по периметру зносу металу глибиною $\delta(t)$

$$\delta(t) = \alpha(t - t_{inc})^\beta, \quad (1)$$

де α і β – коефіцієнти,

t_{inc} – інкубаційний період.

В роботі Чіркова В.П., Кардангушева А.Н. [6] для характеристики корозійних процесів на металі ізольованих металевих конструкцій вводиться спеціальний питомий показник уражень корозією площі поперечного перерізу металевих трубопроводів у будь-який момент часу t

$$\lambda(t) = [A_{so} - A_s(t)] / A_{so}, \quad (2)$$

де A_{so} – площа поперечного перерізу металевих трубопроводів до початку його корозії;

$A_s(t)$ – площа перерізу ураженого корозією металевої труби в будь-який момент часу t .

Для визначення $\lambda(t)$ необхідні довготривалі експерименти з різною сталлю, при різному розкритті тріщин, з різним агресивним середовищем, різному числі циклів дії агресивного середовища.

В іншій роботі цього ж автора [7] процес корозії металу характеризується товщиною продуктів корозії $\delta(\tau)$

$$\delta = \epsilon(1 - L^{-k\tau_0}), \quad (3)$$

b, k – константи корозії;

τ_0 – час від початку розвитку корозії;

L – глибина проникнення агресивних іонів.

З практичної електрохімії відомо, що пошук корозійних характеристик на металі в електролітичному середовищі може бути зведено до визначення розподілу електричного потенціалу і струму на його поверхні [8–10]. Це дає можливість при дослідженні корозії сталі в тріщинах використати загальні підходи по розрахунках стаціонарного електрополя, котрі розроблені в теоретичній електротехніці і розділах математичної фізики.

Існують й інші математичні моделі руйнування металу трубопроводів під дією оточуючого середовища інших авторів і вчених, але усі вони є в дечому подібними і схожими. Це виявляється в тому, що у залежності моделей входять багато різних поправкових коефіцієнтів, які враховують вплив лише деяких факторів навколишнього середовища та є справедливими лише для трубопроводів, які не зазнають локального агресивного впливу.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.

Наведені моделі не дають змогу з достатньою точністю описати процеси електрохімічної корозії нафтопроводів та визначити дійсну на момент обстеження залишкову товщину стінки ділянки нафтопроводу.

Метою даної роботи є розроблення залежностей для визначення залишкової товщини стінки ділянки нафтопроводу.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Результати даної наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні небезпечні ділянки підземних нафтопроводів, дозволять попередити виникнення аварійних ситуацій та запобігти негативному впливу на довкілля шляхом вчасного вжиття необхідних заходів.

Викладення основного матеріалу.

Під час експлуатації нафтопроводів їх негативний вплив на довкілля відбувається у разі витоків нафти та нафтопродуктів, вибухів та пожеж через їх розгерметизацію за причиною зовнішньої корозії металу труб.

Схематичне зображення негативного впливу на довкілля внаслідок корозійних процесів з розгерметизацією сталевих нафтопроводів наведено на рис. 1

Однією з причин розгерметизації нафтопроводів є зовнішні корозійні процеси труб. Корозійні процеси призводять до деградації фізико-хімічних властивостей сталі та утворенню корозійних дефектів на поверхні, зменшенню товщини стінки ділянки труби.

Товщина стінки трубопроводу є визначальним параметром, що характеризує його залишковий ресурс та міцність. Міцність матеріалу нафтопроводу є характеристикою витривалості й здатності опиратися несприятливим впливам зовнішнього і внутрішнього середовища, тобто забезпечує відповідні безпечні умови експлуатації. Тому визначення

фактичної товщини стінки дозволить визначити міцність ділянки трубопроводу на момент обстеження. Перевірка міцності трубопроводу здійснюється за відомим методом граничних станів. Розглядається такий напружений стан трубопроводу, при якому його подальша експлуатація неможлива. Характеристикою несучої здатності трубопроводів є тимчасовий опір металу труб, або межа міцності.

За відмову трубопроводу за несучою здатністю прийнятий стан, коли напруження від розрахункових навантажень і впливів на досліджуваній ділянці в тріщині, що залишилася після корозії, перевищить межу плинності трубної сталі:

$$\sigma > R \tag{4}$$

де σ – поздовжнє осьове напруження від розрахункових навантажень і впливів, МПа; R_s – розрахунковий опір матеріалу труби (межа плинності).

Міцність трубопроводу забезпечується шляхом розрахунку напружень, що виникають у ньому в процесі експлуатації та порівняння їх з опором матеріалу труби R . При визначенні напруженого стану трубопроводу для перевірки першого граничного стану враховуються напруження, які впливають на руйнівний тиск.

Перевірку на міцність підземних трубопроводів з метою виключення недопустимих деформацій виконують виходячи із умов згідно СНІП

$$[\sigma_{прN}] \leq \varphi_2 R_1, \tag{5}$$

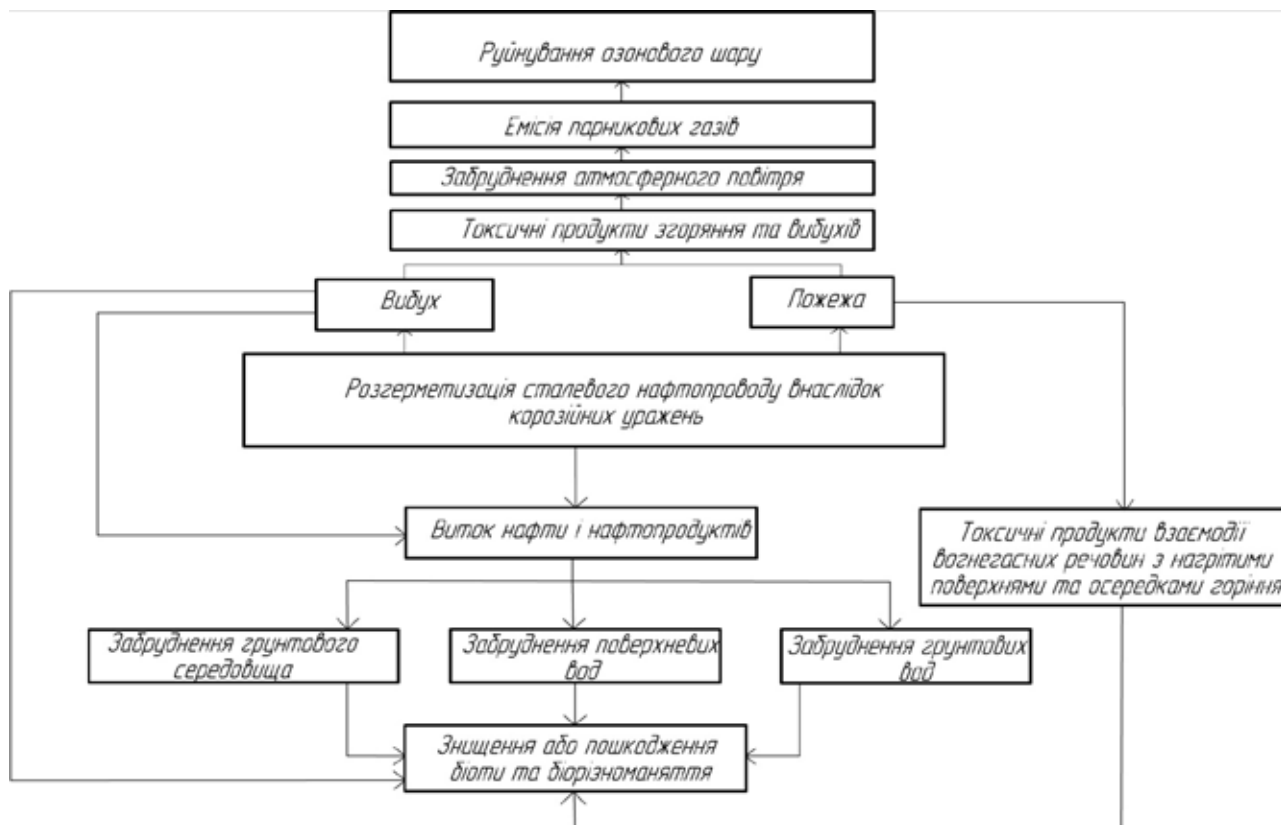


Рис. 1. Схематичне зображення негативного впливу на довкілля внаслідок корозійних процесів з розгерметизацією сталевих нафтопроводів

$$\sigma_{\kappa\kappa} \leq \frac{m}{0,9k_n} R_2^n \quad (6)$$

де $[\sigma_{npN}]$ – поздовжнє осьове напруження від розрахункових навантажень та впливів, МПа; φ_2 – коефіцієнт, що враховує двоосний напружений стан металу труби (при розтягуючи напруженнях приймається рівним 1); R_1, R_2 – розрахункові опори розтягу (стиску), МПа.

$$R_1 = \frac{R_1^n m}{k_1 k_n}, \quad R_2 = \frac{R_2^n m}{k_2 k_n}, \quad (7)$$

m – коефіцієнт умов роботи нафтопроводу; k_1, k_2 – коефіцієнти надійності за матеріалом трубопроводу; k_n – коефіцієнт надійності за призначенням нафтопроводу.

Поздовжні осьові напруження визначаються із розрахункових навантажень та впливів з врахуванням пружнопластичної роботи металу. Для прямолінійних ділянок підземних трубопроводів при відсутності поздовжніх та поперечних переміщень та просадок ґрунту поздовжні осьові напруження від впливу внутрішнього тиску, температурного перепаду і пружного згину, МПа, визначаються за формулою

$$\sigma_{npN} = \frac{0,15 p D_{\text{вн}}}{\delta} - \alpha E \Delta t \pm \frac{E D_{\text{зовн}}}{2\rho}, \quad (8)$$

де p – робочий тиск, МПа; $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр ділянки нафтопроводу, см;

$$\sigma_{\kappa\kappa} = \frac{p D_{\text{вн}}}{2\delta}. \quad (9)$$

δ – номінальна товщина стінки ділянки нафтопроводу, см; α – коефіцієнт лінійного розширення металу труб, град⁻¹; E – змінний модуль пружності матеріалу труби, МПа; Δt – розрахунковий температурний перепад, °С; ρ – мінімальний радіус пружного вигину осі трубопроводу, см.

Для визначення дійсного напруженого стану ділянки нафтопроводу доцільно враховувати товщину стінки на момент обстеження конструкції з врахуванням її зміни через корозійні процеси.

$$\Delta\delta = \delta - h \quad (10)$$

де $\Delta\delta$ залишкова товщина стінки нафтопроводу на ділянці, що уражена корозією, мм; h – глибина корозії, мм, визначається на основі запропонованої залежності [11].

$$h = \frac{12KI}{\pi \times D \times a^2} t \quad (11)$$

де K – електрохімічний коефіцієнт металу, г/А·год; I – струму, який проходить через площу поперечного перерізу поверхні виразки, А/см²; D – питома вага металу трубопроводу (заліза), г/см³; a – діаметр корозійної виразки, мм; t – тривалість часу, год;

Різниця між граничною несучою здатністю на момент обстеження і розрахунковим зусиллям, що діє на конструкцію під час експлуатації, створює запас за несучою здатністю, який може бути врахований при розрахунках залишкового ресурсу конструкції з ураженою корозією ділянки трубопроводу в тріщинах ізоляційного покриття.

Розрахунок дійсних напружень, що виникають в трубопроводі на момент обстеження виконують шляхом врахування зменшення товщини стінки нафтопроводу, що вводиться в розрахунок. Для забезпечення міцності рівень кільцевого напруження в нафтопроводі, що має корозійні ураження, має відповідати умові

$$\frac{p(D_{\text{вн}} + 2h)}{2(\delta - h)} \leq [\sigma_{\kappa\kappa}] \quad (12)$$

де h – глибина корозії ділянки трубопроводу, мм; p – робочий тиск на ділянці нафтопроводу, МПа; $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр труби, мм; $[\sigma_{\kappa\kappa}]$ – допустиме кільцеве напруження.

Допустима глибина корозії стінки труби $[h]$ розраховується за формулою

$$[h] = \delta - \frac{p D_3}{2([\sigma_{\kappa\kappa}] + p)} \quad (13)$$

де D_3 – зовнішній діаметр трубопроводу, мм.

Так як для труб $\delta \ll D$ формулу (13) можна застосовувати для випадків внутрішньої та зовнішньої корозії. Формула (13) може бути записана так:

$$[\varepsilon] = \left(1 - \frac{p \times D_3}{2\delta([\sigma_{\kappa\kappa}] + p)}\right) 100\% \quad (14)$$

де $[\varepsilon] = \frac{[h]}{\delta}$ – допустиме відносне стоншення

стінки нафтопроводу.

Таким чином, застосування запропонованої методики оцінювання залишкової товщини стінки ділянок нафтопроводів внаслідок процесів їх зовнішньої корозії дозволить визначити дійсний напружений стан конструкції, розрахувати міцність ділянки на момент обстеження та створює передумови визначення залишкового ресурсу його безпечної експлуатації.

Література

1. Побережний Л.Я. Підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідних мереж нафтогазового комплексу України / Л. Я. Побережний, А.В. Яворський, В.С. Цих, А.І. Станецький, А.В. Грицанчук. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2017. № 1. С. 24–31.
2. Monitoraggio dello stato di corrosione dell'armature dei viadotti autostradali. *Cigna Raneeri. Autostrade*. 1991. 33. № 1. P.79–89.
3. Разведочные коррозионные испытания углеродистых сталей в бетоне с помощью электромагнитных волн. *11th Int. Corros. Congr.: Innov. Technol. Transfer. Corros. Contr.* (Milano Florence 2–6 Apr.). Vol. 2. assoc. Ital. Met. 1990. P. 103–108.
4. Saravanan K. Electrochemical non-destructive testing of reinforcement corrosion in existing concrete structures. *Trans. SAEST*. 1989. 24. № 3. С. 157.

5. Овчинников И.Г., Раткин В.В., Землянский А.А. Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридных сред. Саратов: Гос. техн. ун-т, 2000. 232 с.
6. Чирков В.П., Кардангушев А.Н. Оценка ресурса железобетонных конструкций при коррозии арматуры. *Изв. Вузов. строительство*. 1992. № 3. С. 3–9.
7. Попеско А.И., Анцыгин О.И., Дайлов А.А. Новый метод расчета несущей способности железобетонных конструкций, работающих в условиях газовой среды. *Бетон и железобетон*. 2007. № 3. С. 20–22
8. Рубинштейн А.И., Коверский Н.Я., Чернов Б.Б. Распределение тока и потенциала на гетерогенном электроде. *Электрохимия*. 1977. Т.х111. Вып. 7. С. 15–19.
9. Алексеева Н.В., Стрижевский И.В. [и др.] Математическое моделирование распределения коррозии по периметру поперечного сечения подземного трубопровода. *Защита металлов*. 1989. № 1. С. 25–29.
10. Кузнецова Е.Г. Распределение потенциала и скорости растворения вдоль участка металлического трубопровода при пересечении границы раздела двух грунтов. *Защита металлов*. 1988. № 2. С. 36–41.
11. Stepova O., Paraschienko I. Modeling of the corrosion process in steel oil pipelines in order to improve environmental safety. *Eastern-european journal of enterprise technologies, industrial and technology systems*. Vol. 2, no 1 (86) 2017. P. 15–20.

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ПРОМИСЛОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ БІОПОЛІМЕРІВ НА ОСНОВІ ПОЛІГІДРОКСИБУТИРАТУ (ОГЛЯД)

Таланюк В.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона
Національної академії наук України
вул. Боженка, 11, 03680, м. Київ
vika-toritalanuk@ukr.net

Термін «полімер» було введено видатним хіміком Й.Я. Берцеліусом ще в 1833 році для визначення виду ізомерії, під час якої речовини з однаковим складом відрізняються лише значенням молекулярної маси, наприклад: озон, бутілен, кисень, етилен. Уперше про синтетичні матеріали було згадано лише в 30-х роках XIX ст.: у 1837 році – про полівініліденхлорид та в 1838 році – про полістирол. Хімія полімерів як наука виникла в 60-х роках XIX ст. Російський хімік О.М. Бутлеров сформулював теорію хімічної будови речовин органічного походження, яка дала можливість систематизувати весь практичний матеріал, який був на той час отриманий хіміками в цій галузі. Видатні хіміки, зокрема Меєр, Штаудінгер, Фішер і Френсіс, займалися вивченням природи полімерів і способів їх отримання. Про існування низькомолекулярних сполук було набагато раніше відомо, ще до вивчення їхньої будови, наприклад, про природні полімери, які отримували завдяки бактеріям, грибкам, водоростям, рослинам, тваринам або у клітках людського організму. Це целюлоза, яка є у складі клітин рослин, а також крохмаль, що накопичується рослинами, та колаген, шовк, каучук, хітозан, козеїн та інші природні полімери. Деревина, кістки, зуби також можуть визначатись як найкращі композиційні полімери за поєднанням своїх властивостей. Уперше синтетичний полімер було отримано хіміком Л.Г. Бакеландом на початку 1909 року. В основі цього матеріалу були фенолформальдегідні смоли, яким притаманні хороші ізоляційні властивості, він отримав назву бакеліт. Хімік Ф. Клатте у 1912 році розробив новий метод отримання промислового полівінілхлориду. Сьогодні біопластики застосовуються в харчовій сфері як тара та упаковка продуктів харчування. В галузях приладобудування, автомобілебудування і т.д. також застосовуються біопластики. Потенціал ринку біополімерів величезний, попри те, що нині біопластики представлені на ньому лише частково. В майбутньому за умови посилення вимог до екології біополімери зможуть успішно конкурувати з традиційними полімерами, замінюючи їх. Проблема біорозкладання промислових полімерів (поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол, поліетилентерефталат) розглянута та вивчена науковцями і займає важливе місце в дослідженнях. У роботі представлено результати з дослідження біодеградації зразків із чистого полімеру типу ПГБ у природних умовах. Досліджувані зразки було поміщено у ґрунти різного складу (чорнозем, глинистий та піщаний). Експериментально було встановлено, що кислотність ґрунту не впливає на швидкість біодеструкції. Також у дослідженні було встановлено, що зі збільшенням вологості ґрунту процес деструкції відбувається швидше. *Ключові слова:* біополімери, полігидроксibuтират, екологічні проблеми, застосування біополімерів.

Main characteristics and industrial application of biopolymers on the basis of polyhydroxybutyrate (review). Talaniuk V.

The term “polymer” was introduced by an eminent chemist J. Berzelius in 1833 to determine the type of isomerism during which substances with the same composition differ only in molecular weight, for example: ozone, butylene, oxygen, ethylene. Synthetic materials were first mentioned only in the 1830s: in 1837, about polyvinylidene chloride and in 1838 about polystyrene. The chemistry of polymers as a science was originated in the 1960s. The Russian chemist O. Butlerov formulated the theory of the chemical structure of substances of organic origin, which made it possible to systematize all the practical material that was obtained at that time by chemists in this field. In particular prominent chemists, in particular Meyer, Staudinger, Fisher and Francis, have been studying the nature of polymers and methods for their production. The existence of low molecular weight compounds was known much earlier, even before studying their structure, for example, natural polymers derived from bacteria, fungi, algae, plants, animals or in the cells of the human body. Cellulose, which is composed of plant cells and starch, which accumulates in plants and collagen, silk, rubber, chitosan, casein and other natural polymers. Wood, bones, teeth can also be represented as the best composite polymers in combination of their properties. For the first time a synthetic polymer was obtained by chemist L. Baekelan in early 1909. The basis of this material was phenol-formaldehyde resins, which has good insulating properties, called bakelite. Chemist F. Clutte in 1912 developed a new method of producing industrial polyvinyl chloride. Today, bioplastics are used in the food sector as food packaging. Bioplastics are also used in the fields of instrumentation, automotive, etc. The potential of the biopolymer market is enormous, despite the fact that bioplastics are now only partially represented. In the future, if environmental requirements are strengthened, biopolymers will be able to compete successfully with traditional polymers, replacing them. The problem of biodegradation of industrial polymers has been considered and studied by scientists and occupies an important place in research. This paper presents the results of a study on the biodegradation of samples of pure PHB polymer in vivo. The samples were placed in soils of different composition (chernozem, clay and sand). It has been experimentally found that soil acidity does not affect the rate of biodegradation. The study also found that with increasing soil moisture the destruction process is faster. *Key words:* biopolymers, polyhydroxybutyrate, environmental problems, application of biopolymers.

Постановка проблеми. Основним недоліком використання пластмас ще й досі залишається екологічний фактор. Економічна наука мало звертала увагу на екологічні проблеми, що й стало однією з причин формування техногенного типу економічного розвитку. Цей тип можна охарактеризувати як природоруйнівний, заснований на використанні штучних засобів виробництва, створених без урахування екологічних обмежень. Для запобігання глобальній і локальній екологічним кризам необхідно змінити техногенний тип розвитку на сталий. Останній дає можливість задовольнити потреби сучасних поколінь, але не ставить під загрозу існування наступних. Концепція сталого розвитку набула визнання як в економічній науці, так і в міжнародній практиці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На початку 30-х років ХХ ст. розпочався великий прогрес в історії розвитку технологій із переробки нафтопродуктів і полімерних матеріалів. Було створено матеріали, такі як: синтетичні волокна, полістирол, а також нейлон, також відомий у науці як капрон і поліамід. Це дало змогу зменшити використання у великій кількості натуральної сировини та збільшити виробництво штучних матеріалів і зумовило подальше здешевлення собівартості товарів. Наступний етап – це використання цих матеріалів у різних галузях, наприклад в оптиці, медицині, машинобудуванні, а також для виготовлення предметів побуту, одягу та взуття [1].

Далі, полімери почали застосовуватися майже у всіх галузях. У ракетно- та літакобудуванні широкий спектр застосування полімерних матеріалів можливий завдяки їхнім механічним, фізичним і хімічним властивостям. У виготовленні одягу для космонавтів широке використання мають шарові нейлонові тканини, а також тканини з поліаміду, політерефталану етилену. Щороку їх виробництво зростає. Наприклад, у 1977 році у світі виготовили 22,5 млн тонн пластмаси, а у 2013 році було випущено майже 340 млн тонн пластмаси. Найважливішими штучними полімерами, які виготовляють у світі, є такі: поліетилен, полістирол, поліпропілен, поліуритан, полівінілхлорид і полістирол. Широкого використання полімерів виробники отримали в галузях електротехніки, електроніки та будівництва та як упакування [2–4].

В автора в його роботі [5] було представлено поділ полімерів за способами отримання на:

- 1) натуральні полімери – біополімери:
 - полісахариди – крохмаль і целюлоза,
 - натуральний каучук, білки, нуклеїнові кислоти;
- 2) синтетичні полімери:
 - біополіетилен, що виготовляють у процесі ферментації цукрового очерету (так званої цукрової тростини),
 - поліетилен, що виготовляють із продуктів нафтопереробки;
- 3) модифіковані полімери:

- синтетичні, структура яких була змінена шляхом фізичної або хімічної модифікації,
- натуральні.

Основною сировиною для виробництва полімерів є сира нафта, а також продукти нафтопереробки. Лише близько 4% світового виробництва нафти використовують у пластмасовій галузі, що сировину використовують дуже економно під час виробництва цих матеріалів [6–9].

Також у нафтовій сировині може міститися вугілля, природний газ, азот, водень і вапняк або солі. У виробництві полімерів загальна частка продуктів переробки нафти, природного газу становить майже 91%, а частка продуктів переробки вугілля – 8–9%. У такому випадку собівартість сировини під час виробництва становить 70–80% від готового продукту [10–12].

Крім нафтохімічних полімерів, є ще біологічні полімери, які отримують із відновлюваної сировини. Нині кількість цих полімерів становить лише 5% від усієї кількості полімерів на ринку. На відміну від нафти, рослинна сировина є більш альтернативною, адже кількість нафти у світі безперервно зменшується. Біополімери, що отримують нині на основі деревних компонентів та однорічних рослин, що містять крохмаль і целюлозу (наприклад, картопля, кукурудза, пшениця, рис), є найбільш затребуваними. Також ці матеріали отримують за допомогою деяких бактерій, грибів і водоростей [13; 14].

Більшість полімерів синтезовано з ненасичених вуглеводнів (реакція полімеризації), їх полімерний ланцюг складається з атомів вуглецю, такі полімери мають назву карболанцюгових [15–18]. Механічні властивості полімерів залежать від факторів будови, температури, часу експлуатації та докладеного навантаження на полімер. За дії докладених напружень на полімер відбувається розпрямлення та розкручування ланцюжків макромолекул та їх переміщення. Полімерам притаманна зміна фізико-механічних властивостей, або явище старіння, що спричиняється різними хімічними реакціями (окиснення, утворення вільних радикалів, деполімеризація з одиничними розривами ланцюжків), які проходять у полімері. Під тривалою дією тепла, озону в атмосфері може відбуватися старіння полімеру. За бажанням процес старіння можна пришвидшити, якщо докласти до вищезазначених умов механічні навантаження. Антиоксиданти вводять до складу полімерів для уповільнення та запобігання явищу старіння. Антирадикали вводять до складу полімерів, щоб підвищити їхню стійкість до дії іонізуючого випромінювання [19; 20].

Полімери, зокрема біополімери, набувають широкого використання в різноманітних галузях народного господарства, а останнім часом біополімери в багатьох галузях практично замінюють традиційні полімери [21–23]. До основних переваг полімерів, що мають здатність до біодеструкції, належать такі:

- а) можливість обробки на стандартному для традиційних термопластичних полімерів оснащенні;
- б) у звичайних умовах стійкість до розкладання;
- в) за природних або штучно створених умов швидко і повністю розчиняються;
- г) безпроблемна утилізація відходів;
- г) свобода від нафтохімічної сировини.

Сьогодні біопластики застосовуються в харчовій сфері – тара та упаковка продуктів харчування. В галузях приладобудування, автомобілебудування і т.д. також застосовуються біопластики. Потенціал ринку біополімерів величезний. За умови посилення в майбутньому вимог до екології, що може допомогти біополімерам успішно конкурувати з традиційними полімерами, замінюючи їх.

Основною перевагою пластмас є невелика густина, що надає виробам із них надзвичайної легкості. Пластмаси виявляють досконалі властивості в термо- і електроізоляції, а деякі полімери можуть бути застосовані як електропровідники. Полімери проявляють стійкість до різних середовищ, що здатні викликати корозію багатьох інших матеріалів. У виробництві оптичних пристроїв використовують пластмаси завдяки їхній прозорості. Завдяки їхній гнучкості можна отримувати різноманітні бажані моделі, а також з'єднувати їх із іншими матеріалами. Різносторонність у використанні пластмас дає змогу застосовувати їх у галузях будівництва, транспорту, електричній і електронній промисловості, у виробництві товарів для сільського господарства, медицини та спорту. Можливості в їх застосуванні практично необмежені, а матеріали пластмас становлять практично необмежене джерело для інновацій у різних галузях промисловості та життєдіяльності [26–28].

Через мале промислове виробництво багато років люди використовують перероблені матеріали для створення нових виробів. Промислова революція XIX ст. створила умови для синтезу матеріалів і виробництва полімерів у XX ст., а також зумовила збільшення кількості відходів і зменшила цикл придатності продуктів. З метою розвитку полімерних матеріалів учені розробили в них такі характеристики, як екологічність сировини на кожному етапі виробництва, переробки та утилізації. Нині більшу увагу звертають на екологічність сировини, зокрема на використання полімерних відходів, а також сировини рослинного походження, що відновлюється [29; 30].

Проектування і селекція матеріалів реалізуються зі вказанням способу розпаду, рециркулюванням або утилізації, тобто з урахуванням кінцевого етапу їхнього циклу життя. Частина пластмас, що є біопохідними, можуть розпадатися протягом короткого часу, тобто біодеградувати. Використання матеріалів, що біодеградують, – це вирішення проблем утилізації відходів швидко й екологічно. Збільшення асортименту виробів із пластмаси та винайдення нових композицій для виготовлення пластмас призводять

до нагромадження багатівідходності як у вигляді технологічних відходів чи упаковок, так і у формі вжитих виробів. Велика кількість пластмасових відходів, а також їх розмаїття знижують можливість їх використання вдруге у вигляді сировини чи матеріалів [31; 32].

З огляду на вищезазначену проблему виробники виробів із пластмас, що після закінчення строку експлуатації перетворюються або можуть перетворюватися на відходи, повинні побудувати свою роботу так, щоб:

- під час виробництва виробів, під час і після завершення їх використання запобігти утворенню відходів або обмежити їх кількість і негативну дію на довкілля;
- забезпечувати відновлювання матеріалу згідно з принципами охорони навколишнього середовища, за умови, якщо не вдалося запобігти утворенню відходів;
- забезпечити ліквідацію відходів згідно з принципами охорони навколишнього середовища, якщо їх не вдалося переробити або запобігти утворенню відходів.

З метою забезпечення рециркулювання полімерних матеріалів використовують такі сучасні технології:

- 1) механічна переробка сировини відпрацьованих виробів;
- 2) переробка сировини двома методами: термічним і хімічним;
- 3) паливне використання відходів (термічна переробка);
- 4) компостування виробів із полімерів, що мають здатність деградувати;
- 5) проектування виробів, що полегшує їх переробку;
- 6) обробка радіацією [33].

Основним недоліком використання пластмас ще й досі лишається екологічний фактор. Економічна наука мало звертала увагу на екологічні проблеми, що й стало однією з причин формування техногенного типу економічного розвитку. Цей тип можна охарактеризувати як природоруйнівний, заснований на використанні штучних засобів виробництва, створених без урахування екологічних обмежень. Для запобігання глобальній і локальній екологічній кризам необхідно змінити техногенний тип розвитку на сталий. Останній дає можливість задовольнити потреби сучасних поколінь, але не ставить під загрозу існування наступних. Концепція сталого розвитку набула визнання як в економічній науці, так і в міжнародній практиці [33; 34].

Головним завданням усіх виробників полімерних матеріалів зараз є впровадження методів, які дадуть змогу реалізувати життєдіяльність суспільства шляхом упровадження його до природних біохімічних циклів, що призведе до мінімізації використання природних ресурсів, збереження необхідних ресурсів і умов для майбутніх поколінь. Це стане можливим

у разі заміни звичайних полімерних матеріалів на біологічні. Якість навколишнього середовища дещо поліпшилася у розвинених країнах, але погіршується у нових індустріальних країнах. Найгірше те, що до основної проблеми виснаження невідновлюваних ресурсів додалася і стала найголовнішою деградація відновлюваних ресурсів – ґрунтів, лісів, водних ресурсів, атмосфери [34].

Для створення такої економічної стратегії сталого розвитку необхідно обмежити споживання. Суспільство має обмежити своє існування необхідними корисними потребами, які забезпечать безкризове існування. Престижні та згубні потреби мають бути ліквідовані. Критеріями сталого розвитку мають стати мінімальна собівартість і висока якість корисної та необхідної продукції та послуг, невисока диференціація під час розподілу серед членів суспільства матеріальних благ, які створюються у сфері суспільного виробництва. Використання полімерних матеріалів дасть змогу швидше досягти поставленої мети в Україні та в усьому світі. Інтерес до біополімерних матеріалів, які розпадаються за дії на них різних мікроорганізмів, в останні роки значно зростає як в Україні, так і в інших країнах. Виготовлення матеріалів, строк служби яких можна регулювати шляхом введення спеціальних домішок, що пришвидшують розпад макромолекули полімерів, значно полегшує проблему переробки полімерів. Як домішки використовують крохмаль із кукурудзи, картоплі, рису, пшениці або інших рослин [35].

Популярний спосіб зробити традиційні пластики біорозкладними – введення до складу макромолекули біорозкладних мономерів, наприклад того ж крохмалю. Основою таких матеріалів є ПЕ високого тиску і крохмаль злакових рослин як добавка, що біологічно розкладається. Але це не зовсім біорозкладні пластики, тому що вони лише розпадаються на маленькі частини, що роками повністю розкладатимуться.

Щоб отримати матеріал, який буде використовуватись як повновартісна сировина для подальшої переробки, застосовують матеріальну або механічну переробку, що полягає в безпосередній переробці відходів без застосування хімічних процесів. Отримані вироби можуть бути ще однією сировиною для створення нових виробів. Правильна сегрегація

комунальних і промислових є важливою умовою для ефективності застосування цього методу [36].

Є декілька типів деградації полімерів під дією зовнішніх факторів. Терміном «біорозкладний» зазвичай називають полімер, деструкція якого хоча б частково спричинена біологічною системою [37]. Загалом деструкція полімеру включає процеси поглинання тепла і світла, дифузії компонентів середовища, обростання мікроорганізмами, ферменти яких сприяють розірванню хімічних зв'язків у макромолекулах.

Відповідно до [37] фотодеградація – руйнування полімеру під дією ультрафіолетового (далі – УФ) випромінювання. Полімерний матеріал розтріскується, поступово покривається суцільною сіткою тріщин, розпадається на шматки і згодом перетворюється на порошок, що складається із низькомолекулярних фракцій. Цей порошок поступово остаточно розкладається під дією мікроорганізмів. Найбільш чутливими до фотодеградації є полімери групи поліолефінів, до складу яких із метою захисту від впливу УФ випромінювання зазвичай вводять спеціальні стабілізатори. Якщо, навпаки, необхідно зробити поліолефін фоточутливим, до його складу додають сполуки – ініціатори фотохімічних реакцій (сенсibilізатори). Синтезують також сополімери поліолефінів із альдегідними та кетонними групами, що послаблюють молекулярний ланцюг або з карбонільними групами, які активно поглинають випромінювання [37–39].

У [39] вказано, що хімічна деградація – швидке розчинення деяких біополімерів у специфічних рідких хімічних середовищах (зокрема, лужних) на основі води. На наступному етапі за аналогією з фотодеградацією відбувається повне розкладення розчину полімеру шляхом перетравлювання мікроорганізмами. Наприклад, це відбувається в установках для біологічного очищення стічних вод.

Відома також деградація окремих біополімерів під дією кисню. В цьому випадку до складу звичайного полімеру додають спеціальну хімічну речовину – про-деградант. Якщо полімерний виріб є в кисневій атмосфері, ця домішка через визначений час призводить до повного перетворення його молекулярної структури і робить придатним до поїдання бактеріями.

Власне, біодеградація – послідовне розірвання хімічних зв'язків молекулярного ланцюга полімеру



Рис. 1. Варіанти промислового позначення біопластиків

під дією ферментів мікроорганізмів. Руйнуючи полімер, бактерії, гриби або водорості використовують залишки його молекул як джерело життєво необхідних простих органічних сполук, а також для отримання енергії. Зазвичай біодеградація відбувається у водному або вологому середовищі в процесі так званого компостування. Відходи біопластику, подібно до опалого листя або інших органічних відходів, укладаються шарами на ґрунті і поступово перетворюються в екологічний матеріал.

Через велику кількість варіантів біорозкладних пластиків для їх ідентифікації у промисловості застосовують декілька позначок (рис. 1). Пластики, що компостуються та розкладаються у вологому середовищі, отримують позначку «compostable». Пластики, що розкладаються, зокрема, на відкритому повітрі, позначають як «biodegradable». Нарешті, деякі біорозкладні пластики, що є новими та властивості яких досліджені не досить, позначаються як інші («other») [40].

Здатність полімеру до біодеградації залежить, головним чином, від хімічного складу його молекулярного ланцюга. Він повинен бути гетероланцюговим і включати доступні до біорозкладу хімічні групи. Ланцюг не повинен включати фрагменти, що складаються з більше ніж п'яти груп CH_2 . Руйнуванню молекулярного ланцюга сприяє наявність в його структурі об'ємних заступників атомів водню з досить великим об'ємом. Можливе також включення в склад ланцюга природних органічних груп – крохмалю, целюлози, сечовини та подібних [41].

Біополімери з аморфною надмолекулярною структурою завжди розкладаються швидше, ніж напівкристалічні. Вочевидь, компактна структура кристалічних утворень у полімерах обмежує проникнення води та ферментів усередину молекулярної матриці, уповільнюючи процес розірвання ланцюгів. Швидкість біологічного розкладу полімеру суттєво зростає зі зменшенням його молекулярної ваги. Мікроорганізми живляться короткими олігомерами та мономерними групами, а довгі молекулярні ланцюги зазвичай залишаються стійкими до біологічних ферментів. Тому перед біодеградацією часто застосовується попереднє подрібнення молекулярних ланцюгів завдяки фотоокислювальним, термічним, хімічним або іншим процесам.

Деградація макрочастинок на фракції з меншою частинковою масою (наприклад, методами гідролізу, алкоголізу, сольволізу) сприяє сировинній переробці. Ці фракції повторно використовуються як мономери або сировина для виготовлення нових чи подібних хімічних продуктів. Полімерні композити підлягають переробці незалежно від виду використаного полімеру, наповнювачів чи домішок. Поданий метод не потребує сегрегації відходів на початку, їх очищення водою або усунення інших органічних речовин. Необхідність застосування складних установок високих температур і тиску, каталізаторів і докладний контроль параметрів переробки суттєво обмежують поширення цієї групи методів переробки [42].

Біополімер, що займає значне місце у промисловому виробництві – полігідроксibuтират (ПГБ) – біополімер, який за фізичними властивостями, подібний полістиролу, виявлений у бактерії *Alcaligenes eutropus*. ПГБ швидко руйнується ґрунтовими мікроорганізмами. Полімер отримують під час вирощування *Azotobacter* на глюкозі з лімітацією кисню, також *Alcaligenes* – під час дефіциту азоту в біологічно активному середовищі [42].

Природні компоненти, що утворені на основі пластичних мас – це пластмаси, що складаються з целюлози, крохмалю, протеїну та хітозану. Одноразовий посуд, плівки для пакування та сільськогосподарських потреб виготовляють на цих композиціях і т. д. Початковою сировиною для біохімічного процесу служить крохмаль (маїсовий, кукурудзяний, картопляний, злаковий) або меляса, одержувана під час виробництва цукру з цукрового буряка або цукрового очерету, а також деякі інші рослинні продукти, що містять гексозани [43].

У дослідженні важливе місце займає проблема надання властивостей гарно освоєним біорозкладаним малотоннажним полімерам промислового характеру (поліетилену, поліпропілену, полівінхлориду, полістиролу, поліетилентерефталату). В активному розробленні наявні такі напрями:

а) додавання до структури молекул, з функціональними групами у своєму складі, що сприяють полімерному фоторозкладанню;

б) кінцевим результатом є багатотоннажні полімери з біологічно руйнуючими натуральними добавками, що здатні в певний момент часу спровокувати розпад стрижневого полімеру [44].

в) спрямований синтез біодеградуєчих пластичних мас на базі промислово орієнтованих штучних продуктів.

Біорозкладні полімери мають низку переваг:

– здатність обробки на стандартному устаткуванні подібна до звичайних полімерів;

– пропуск кисню та водяної пари є в низькому бар'єрі (оптимальному для використання в галузі харчової упаковки);

– у звичайних умовах стійкий до розкладання;

– за різних умов – як за спеціально створених, так і за природних – спостерігається швидка і повна розчинність, що сприяє безпроблемній утилізації відходів.

– нафтохімічна сировина не є основною.

Можливі сфери застосування ПГБ — це виготовлення біорозкладаних матеріалів для пакування і сформованих товарів, одноразових серветок, предметів для індивідуальної гігієни, плівки і волокна, водовідштовхуючого покриття для паперу та картону. Перше промислове виробництво кополімерів РНВ-РНВ організувала в 1980 році англійська фірма ICA під торговою маркою Biopol. Цей полімер характеризується відносною термостабільністю, пропусковими можливостями кисню, міцністю та стійкістю до агресивних хімікатів, якщо порівняти його з поліпропіленом [44].

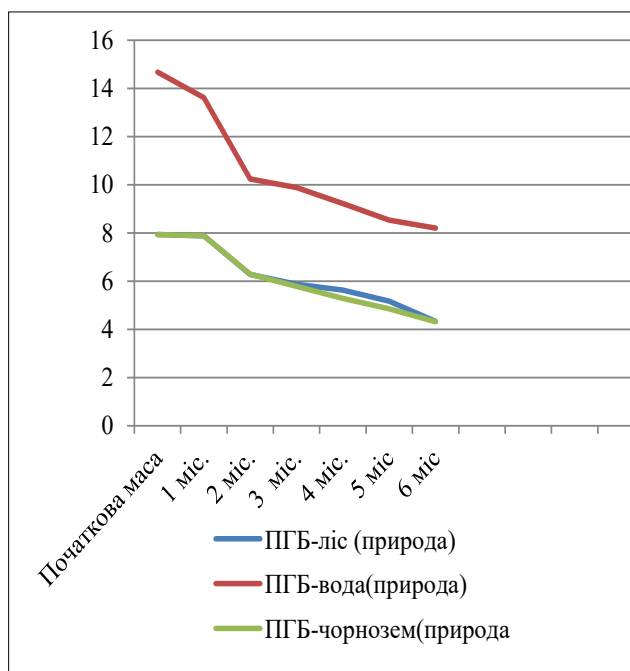


Рис. 2. Графік залежності розпаду полімеру ПГБ від виду ґрунту

У роботі представлено результати з дослідження біодеградації зразків із чистого полімеру типу ПГБ у природних умовах. Досліджувані зразки було поміщено у ґрунти різного складу (чорнозем, глинистий і піщаний). Експериментально було встановлено, що кислотність ґрунту не впливає на швидкість біодеструкції. А також досліджено, що зі збільшенням вологості ґрунту процес деструкції відбувається швидше.

Як видно із графіка (рис. 2), швидкість розпаду зразків у чорноземі більша ніж у глинистих ґрунтах, проміжне положення займає швидкість розпаду зразків ПГБ у піщаному ґрунті.

Наступний етап у дослідженні є формування зварних швів і дослідження їх розпаду порівняно з основним матеріалом.

Головні висновки. Отже, під час дослідження літературних джерел було встановлено, що для екологічної безпеки є необхідність у заміненні звичайних полімерів на біорозкладні. Оскільки значна кількість полімерів використовується саме як упакування, то подальші дослідження у формуванні зварних з'єднань є актуальним. На цьому етапі використання біополімерів є більш перспективним, ніж звичайних полімерів, у яких дуже великий період розпаду.

Література

1. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. 4-е изд., перер. и дополн. Москва : Научный мир, 2007. 576 с.
2. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. Москва : Химия, 1991
3. Бордюк М.А., Волошин О.М., Колупаев Б.С., Липатов Ю.С. *УФЖ*. 1996. 41, № 4. С. 438–441.
4. Бордюк Н.А., Колупаев Б.С., Волошин О.М. *Физика и техника высоких давлений*. 1995. № 3. С. 49–58.
5. Кравченко С. Мониторы завтрашнего дня. 1999. *Chip*. №11. С. 24–26.
6. Любин, Дж. Справочник по композиционным материалам : в 2 кн. / под ред. Дж. Любина ; пер. с англ. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта. Москва : Машиностроение, 1998. 448 с.
7. Кулезнев В.Н. Основы технологии переработки пластмасс / под ред. В.Н. Кулезнёва и В.К. Гусева. Москва : Химия, 2006. 726 с.
8. Переработка полимерных композиционных материалов / В.А. Пахаренко, Р.А. Яковлева, А.В. Пахаренко. Киев : Изд. комп. «Воля», 2006. 552 с.
9. Технология переработки полимерных та композиційних матеріалів: підручник / О.В. Суберляк, П.І. Баштанік. Львів : Вид-во «Растр-7», 2007. 376 с.
10. Конструкционные полимерные композиты : учеб. пособие / Н.А. Адаменко, А.Ф. Фетисов, Г.В. Агафонова. Волгоград : ВГТУ, 2010. 99 с.
11. Бордюк М.А., Волошин О.М., Колупаев Б.С., Липатов Ю.С. *УФЖ*. 1996. 41, № 4. С. 438–441.
12. Бордюк Н.А., Колупаев Б.С., Волошин О.М. *Физика и техника высоких давлений*. 1995. №3. С. 49–58.
13. Колупаев Б.С., Бордюк М.А., Липатов Ю.С. Доп. НАН України. 1995. № 8. С. 112–114.
14. Кравченко С. Мониторы завтрашнего дня. *Chip*. 1999. №11. С. 24–26.
15. Воловик Л.С., Ковалевська Є.І., Манк В.В., Мірошников О.М. та ін. Колоїдна хімія. Київ, 1999.
16. Фізична хімія : навч. посібник / Є.І. Ковалевська та ін. Київ : ІСОО, 1995.
17. Вторичные ресурсы: проблемы, перспективы, технология, экономика : учеб.пособие / Г.К. Лобачев, В.Ф. Желтобрюхов, Л.И. Кутянин, Н.И. Перминова. Волгоград, 1999. 180 с.
18. Биоразлагаемые полимеры – новый класс полимерных аналогов. *Отраслевой сервер*. URL: <http://www.Unipak.ru>. Спец. выпуск «Всё о плёнках». Декабрь 2004.
19. ISOStandart14855–1. 2005. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions –Method by analysis of evolved carbon dioxide – Part 1: General methodISO International.
20. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки : учебник для вузов / В.М. Потехин, В.В. Потехин. Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2017. 943 с. 978-5-93808-287-8. URL: <http://www.iprbookshop.ru/67346.html>.
21. David A. Bell, Brian F. Towler, Maohong Fan. Coal Gasification and Its Application. Elsevier Inc., 2011, 399 p.
22. Sadeghebeigi R. Fluid Catalytic Cracking Handbook. Design, Operation and Troubleshooting of FCC Facilities. Butterworth-Heinemann, 2000. 384 p.
23. Переработка тяжелых нефтей, нефтяных остатков и отходов / Е.К. Онгарбаев, Е.О. Досжанов, З.А. Мансуров. Алматы : Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2011. 256 с. 978-601-247-355-1.
24. Платэ Н.А., Сливинский Е.В. Основы химии и технологии мономеров : учеб. пособие Москва : Наука, 2002. 696 с.

25. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва : Химия, 2017. 784 с.
26. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения : учебник в 2 ч. Ч. 1. Москва : Юрайт, 2016. 366 с.
27. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения : учебник. Москва : Юрайт, 2015. 602 с.
28. Нефть и газ. Технологии и продукты переработки : монография / В.Е. Агабеков, В.К. Косяков. Минск : Белорусская наука, 2011. 459 с. 978-985-08-1359-6.
29. Химическая технология переработки газового сырья. Производство мономеров из газового сырья : учеб. пособие / Р.А. Ахмедьянова, А.Г. Лиакумович. Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2015. 181 с. 978-5-7882-1704-8.
30. Гетьманчук Ю.П., Братичак М.М. Хімія та технологія полімерів. Львів : ВЦ «Бескид Біт», 2006. 496 с.
31. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения : учеб. для вузов Москва : Академия, 2003. 368 с.
32. Физикохимия полимеров / А.М. Кочнев, А.Е. Заикин. Казань : Изд-во «ФЭН», 2003. 512 с.
33. Mamunya Ye., Iurzhenko M., Lebedev E., Levchenko V., Chervakov O., Matkovska O., Sverdlyakovska O. Electroactive polymeric materials. 2013, Alpha Reklama, Kyiv, Ukraine. 398 p.
34. Akiyama M., Tsuge T., Doi Y.: Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation. *Polymer Degradation and Stability*. 80. P. 183–194 (2003). DOI: 10.1016/S0141-3910(02)00400-7.
35. Sudesh K., Gan Z., Maehara A., Doi Y.: Surface structure, morphology and stability of polyhydroxyalkanoate inclusions characterized by atomic force microscopy. *Polymer Degradation and Stability*. 77. P. 77–85 (2002). DOI: 10.1016/S0141-3910(02)00081-2.
36. Jacquelin N., Lo C.-W. (2008) Isolation and purification of bacterial poly (3-hydroxy alkanoates). *Biochemical Engineering Journal*. 39 (1). P. 15–27. DOI: 10.1016/j.bej.2007.11.029.
37. Al-Majed A.A.; Abd-Allah A.R.; Al-Rikabi A.C.; Al-Shabanah O.A. & Mostafa A.M. (2013). Effect of oral administration of Arabic gum on cisplatin-induced nephrotoxicity in rats. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. Vol. 17. No. 3 (January 2013). P. 146–153. ISSN: 1099-0461.
38. Jiang X., Ramsay J. A., Ramsay B. A.: Acetone extraction of mcl-PHA from *Pseudomonas putida* KT2440. *Journal of Microbiological Methods*, 67. P. 212–219 (2006). DOI: 10.1016/j.mimet.2006.03.015.
39. Welding methods for joining thermoplastic polymers for the hermetic enclosure of medical devices / N. Amanat, N.L. James, D.R. McKenzie // *Medical Engineering and physics*. 2010. Vol. 32. P. 600–699. DOI: 10.1021/ie9707432.
40. Rydz J., Wolna-Stypka K., Adamus G., Janeczek H., Musioł M., Sobota M., Marcinkowski A., Krzan A., Kowalczyk M. (2015) Forensic engineering of advanced polymeric materials. Part 1 – degradation studies of polylactide blends with atactic poly[(R,S)-3-hydroxybutyrate] in paraffin. *Chem Biochem Eng Quart* 29. P. 247–259.
41. Караев Р.Ф. Сварка пластмасс : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во УПИ, 2008. 138 с.
42. Maximilian Brosda, Phong Nguyen, Alexander Olowinsky, Arnold Gillner. Laserwelding of biopolymers. *Procedia CIRP*. 2018. Vol. 74. P. 548–552. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.116>.
43. Karla Enid Lebron, Iowa State University. Interfacial healing and transport phenomena modeling of biopolymers. 2017.
44. Hanuma Reddy Tiyyagura, Tamilse Ivan Mohan, Snehashis Pal, Mantravadi Krishna Mohan. 9 – Surface modification of Magnesium and its alloy as orthopedic biomaterials with biopolymers. *Fundamental Biomaterials: Metals Woodhead Publishing Series in Biomaterials*. 2018. P. 197–210. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102205-4.00009-X>.

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 504:7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.13>

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЕКОСИСТЕМ

Азаров С.І.¹, Задунай О.С.²

¹Інститут ядерних досліджень
Національної академії наук України
пр. Науки, 47, 03680, м. Київ,
azarov@kinr.kiev.ua

²Державний науково-дослідний інститут
технологій кібербезпеки та захисту інформації
вул. М. Залізняка, 6, 03142, м. Київ,
a.zadunaj@gmail.com

В аспекті забезпечення переходу суспільства на засади сталого розвитку важливим завданням є оцінка ризиків втрати, знищення екосистем під дією антропогенного впливу, що тісно пов'язано з їхньою надійністю. На сьогодні надійність екосистем розглядається як здатність зберігати свою структуру і характер функціонування в просторі та часі за впливу змін умов зовнішнього середовища. Екосистеми здатні протистояти різним впливам і, в разі відновлення нормальних умов, повертатися в стан, близький до первісного. Щільність того чи іншого виду за несприятливих умов знижується, але в оптимальних умовах зростають плодючість, швидкість росту й розвитку, а щільність виду відновлюється. Трансформація поведінки екосистем зі зміною нестійкої рівноваги стабільним дисбалансом розглядається з позиції надійності. Завдання забезпечення надійності екосистем невід'ємне від пошуку класу допустимих збурень, які вона може витримати і не втратити при цьому стабільності свого стану. Отже однією з основних властивостей екосистем є їх надійність. З позиції екологічної безпеки завдання дослідження надійності екосистем полягає в тому, щоб побачити, яким чином її складові елементи функціонують у взаємодії з іншими частинами і з яких причин можуть статися зворотні або незворотні зміни, що загрожують негативними наслідками для навколишнього природного середовища. В статті обґрунтовується розширення методологічного апарату дослідження та підтримки надійності екосистем завдяки залученню традиційних системних підходів. Проводиться аналіз різноманітності станів екосистем, який супроводжується обґрунтуванням параметрів їх впорядкованості, що дозволяє сформулювати принцип достатності в екосистемах, ввести параметри неоднорідності й нерегулярності її станів для класифікації цих екосистем. *Ключові слова:* екосистема, надійність екосистем, зовнішні впливи.

Assessment of stability of ecosystems Azarov S., Zadunaj O.

In terms of ensuring a society's transition to sustainable development, an important task is to assess the risks of loss, the destruction of ecosystems under anthropogenic influence, which is closely linked to their reliability. To date, the ecosystem can be sure that it retains its structure and characteristic functionality in space and time to be used in any event. Ecosystems are able to resist different influences and, in the case of normal conditions, return to their original state. The density of one species or another under adverse conditions decreases, but in optimal conditions fertility, growth and development rate increase, and the density of the species restores. The transformation of ecosystem behaviour with changing stable of unstable equilibrium is considered from the standpoint of reliability. The task of ensuring the reliability of ecosystems inseparable from the search admissible class of perturbations that it can withstand and not lose with the stability of their condition or movement. So one of the main characteristics of ecosystems is their reliability. From an ecological safety point of view, the task of ecosystem reliability research is to see how its constituents cooperate with other parts and for what reasons may occur reverse or irreversible changes, threatening negative consequences for the environment. The article substantiates the extension of the methodological apparatus of research and maintenance of ecosystems reliability, through the involvement of traditional mechanisms. The analysis of ecosystem diversity, accompanied by substantiation of ordering options that allows to formulate the principle of sufficiency in ecosystems, enter the parameters of heterogeneity and irregularity of states to classify these ecosystems. *Key words:* stability of ecosystems, ecosystem equilibrium, external influence.

Постановка проблеми. В аспекті забезпечення переходу суспільства на засади сталого розвитку важливого значення набуває оцінка ризиків втрати, знищення екосистем, що тісно пов'язано з їхньою надійністю. Надійність екосистем розглядається як здатність зберігати свою структуру і характер функціонування в просторі та часі під впливом змін умов зовнішнього середовища [1].

Надійність є фундаментальною властивістю природних екосистем. Це один з найбільш значущих показників стану навколишнього середовища. Вона являє собою здатність екосистем в цілому та її складових частин успішно протистояти негативним зовнішнім чинникам, водночас зберігаючи не тільки свою структуру, але й свої функції. Поняття надійності тісно пов'язане зі здатністю екосистем повер-

татися в стан рівноваги після припинення зовнішніх впливів, які вивели її зі стану рівноваги, а також з поняттям стабільності.

Аналіз публікацій за проблематикою та визначення невирішених раніше частин загальної проблеми. Якщо про надійність технічної системи можна стверджувати однозначно, аналізуючи диференціальні рівняння, що характеризують її поведінку, то здебільшого скласти диференціальні рівняння надійного функціонування екосистеми досить важко. Тому висновки про надійність екосистеми можна робити тільки з певною імовірністю. Залежно від механізмів розвитку й типу втрати стабільності екосистеми можна виділити декілька типів кризових станів: критична ситуація, власна криза і природна катастрофа. Перший характеризується механізмами адаптивного розвитку екосистеми, другий – м'якою втратою стабільності екосистеми, третій – жорсткою втратою стабільності. Надійність екосистеми до негативних зовнішніх чинників визначається її здатністю протистояти цьому впливу та зберегти нормальне функціонування (здатність до відновлення після припинення негативного впливу та повернення зі зміненого стану до нормального режиму функціонування). Для аналізу надійності екосистем щодо природних криз та антропогенних порушень доцільно застосувати поняття надійного функціонування екосистеми. На жаль, методів оцінки надійності екосистем різного типу поки що немає. У багатьох випадках вірне функціонування екосистеми оцінюється інтуїтивно, «на око». Багато авторів [2; 3; 4] розглядають питання стійкості екосистем, але зовсім мало уваги приділяють проблемі надійності екосистем в умовах антропогенного навантаження. Тому наукові розробки в цьому напрямку є дуже актуальними.

Метою статті є формулювання концепції методу побудови оцінки показників надійного функціонування екосистеми та наукове обґрунтування ефективності запропонованої концепції.

Результати дослідження. Екологічна система (екосистема) – основна функціональна одиниця екології, що включає живі організми (біоценоз) і середовище проживання (екотопи), необхідні для підтримки життєдіяльності, причому кожна із цих частин впливає одна на одну [5]. Екосистемою можна назвати будь-який об'єкт біосфери, де живі та неживі компоненти функціонують як єдине ціле завдяки колообігу речовин, що відбувається з використанням зовнішнього джерела енергії і приводить до створення певної структури, або, іншими словами, – це система, елементами якої є біотичні та абіотичні компоненти, пов'язані речовинно-енергетичними та інформаційними потоками, відмежована від аналогічних утворень колообігом речовин певного ступеня замкненості.

Вирішення основних завдань надійності екосистем буде зводитися до оцінювання параметрів роз-

поділу шуканої величини (напрацювання на відмову, ресурс живучості й таке інше).

Найважливішим чинником, що сприяє вирішенню різноманітних завдань надійності екосистем з використанням дифузійних розподілів, є те, що параметр форми цих розподілів – коефіцієнт варіації – є узагальненою характеристикою процесів, що досліджуються (процесу деградації екосистем).

Коефіцієнт варіації як узагальнену характеристику з достатньою для інженерної практики точністю можна оцінити апіорі на підставі багаторічних досліджень як процесів деградації (надійності, стійкості та інших), так і статистичних даних про деградації в екосистемах та їх аналогів.

Саме завдяки конкретній фізичній інтерпретації параметрів дифузійних розподілів можна на їх основі вирішити таке завдання, як надійність екосистеми до антропогенних впливів.

Методи оцінювання надійності екосистеми, формально, виходячи зі способу отримання вихідної інформації екосистеми, можна поділити на апостеріорні (методи прогнозування стійкості), апіорні (методи моделювання та методи розрахунку живучості) та апіорно-апостеріорні (комбіновані), що являють собою поєднання ознак як апіорних, так і апостеріорних методів (розрахунково-експериментальні методи).

При цьому необхідно мати на увазі:

1) будь-який апостеріорний або комбінований метод, що дає змогу отримати оцінку радіаційної надійності екосистеми (живучості, безвідмовності, довговічності) за час, менший за ресурс існування екосистеми, є методом прискореного оцінювання надійності;

2) будь-який апостеріорний або комбінований метод, який використовує гіпотезу про теоретичні моделі надійності елементів, що входять до складу екосистеми, є методом прискореної оцінки надійності.

У теорії та практиці надійності найбільшого розвитку набув напрям, заснований на використанні тільки імовірнісних концепцій (строго імовірнісна теорія) [6]. В цьому випадку, наприклад, відмови в екосистемі слід розглядати як деякі абстрактні випадкові події, а різноманітні фізичні стани складових елементів зводяться до двох станів: справності й несправності.

Запропоновано концепцію отримання результатів щодо надійності екосистеми до антропогенних впливів згідно зі строго імовірнісною (статистичною) методикою. Послідовність розрахунку надійності екосистеми наведено на рис. 1.

Розглянемо основні етапи даної концепції. Передусім слід чітко сформулювати завдання розрахунку надійності екосистеми до антропогенних впливів, де необхідно вказати:

1) призначення екосистеми, її склад та основні відомості про функціонування;

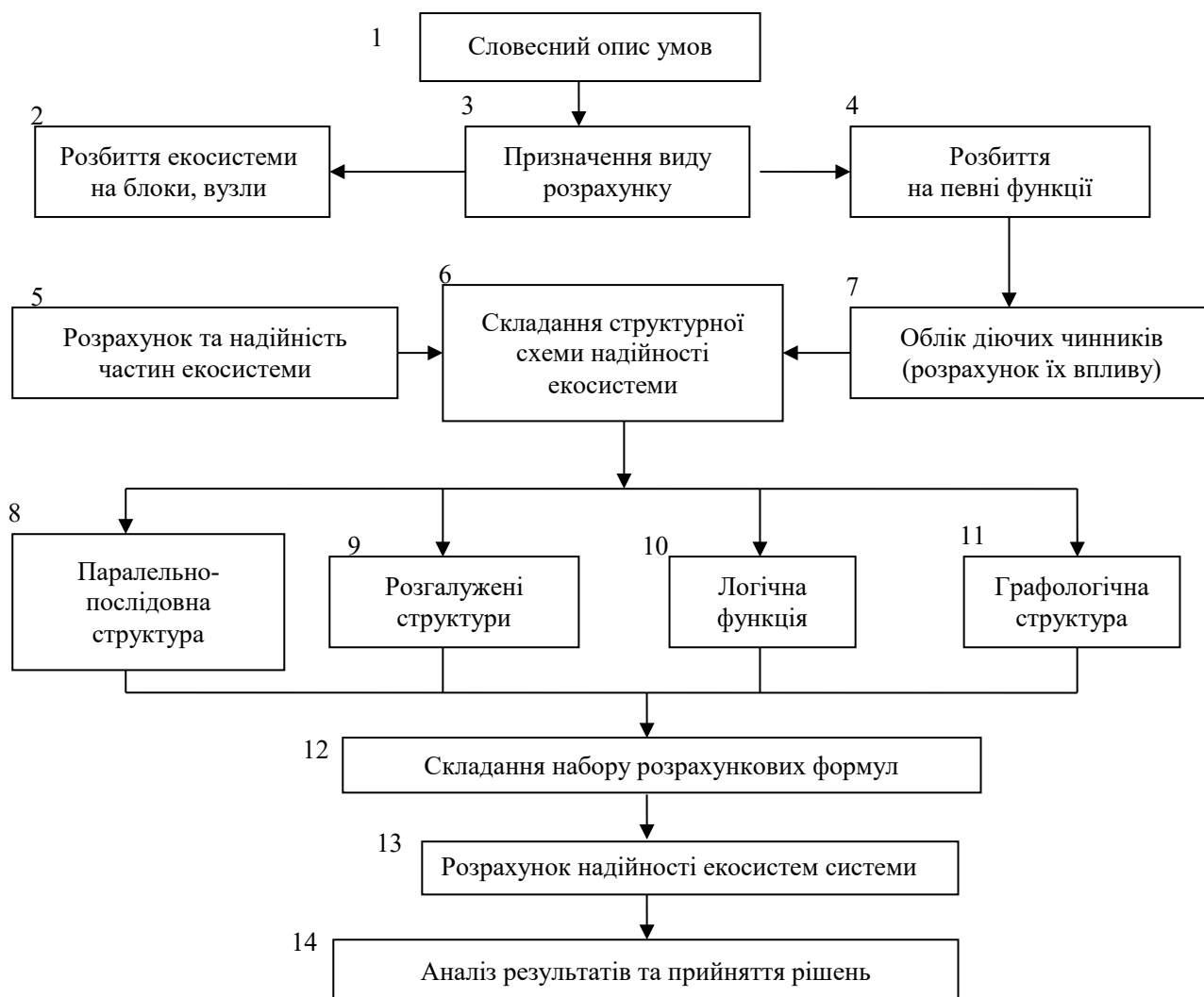


Рис. 1. Алгоритм розрахунку надійності екосистеми

2) показники надійності та ознаки відмов, цільове призначення розрахунків;

3) умови, в яких функціонує екосистема;

4) вимоги до точності й достовірності розрахунків, до повноти обліку діючих антропогенних факторів.

У разі розрахунку функціональної надійності екосистеми здійснюється перехід до етапів 4–5–7. Під час розрахунку окремих елементів екосистеми – до етапів 3–6–7.

На підставі результатів досліджень поточного стану екосистеми отримують статистику раптових і поступових відмов. Від загальноприйнятого поділу відмов елементів екосистем на так звані «раптові» і «поступові», що призводять до неоднозначного вибору імовірнісних моделей відмов, останнім часом дедалі частіше відмовляються [7; 8].

Зазвичай відмова вважається «раптовою», якщо не встановлено причину відмови і мається на увазі, що вона з'явилася в результаті миттєвої зміни досліджуваних параметрів, тобто заперечується існування будь-яких фізичних процесів деградації – справжніх

причин, що передують появі відмови. Часто виявляється, що відмова видається «раптовою» лише тому, що неможливо проконтролювати зміни всіх визначальних параметрів, здатних викликати відмову [9].

Адже фізична природа «раптових» і «поступових» (з відомою природою) відмов однакова – це результат незворотних процесів деградації, що протікають у екосистемі. Тільки в першому випадку процес деградації в екосистемі протікає дуже швидко, що призводить до відмови й до стрибкоподібної зміни контрольованого параметра, і тому сам факт появи відмови видається несподіваним, «раптовим». У другому ж випадку визначений параметр, що викликає відмову в екосистемі, постійно контролюється і його наближення до граничного значення не є несподіваним.

Далі, використовуючи відомі статистичні критерії згоди [10], вибирається відповідна модель розподілу випадкових величин, розроблена в теорії імовірностей (експоненціальна, нормальна, Вейбулла, логарифмічно нормальна тощо), і береться як теоретична модель розподілу ймовірностей безвідмовного функціонування екосистеми (моделі надійності), на підставі якої визна-

чаються необхідні кількісні показники надійності екосистеми. Оцінювання (розрахунок) надійності екосистеми здійснюється шляхом обчислення імовірностей працездатних станів її елементів.

Відмови в екосистемах можуть виникати під впливом різноманітних антропогенних факторів. Оскільки кожен антропогенний чинник залежить від багатьох причин, то відмови елементів, що входять до складу екосистеми, належать, як правило, до випадкових подій, а час їх існування до виникнення відмов – до випадкових величин.

Відмови, що виникають в період нормального існування екосистеми, називають раптовими, оскільки вони з'являються у випадкові моменти часу, або, іншими словами, раптово, непередбачено.

Проаналізувавши концепцію надійності екосистеми, можна побачити, що об'єктом дослідження є випадкові події і величини, які відбуваються в екосистемах. Як теоретичні розподіли напрацювання на відмову можуть бути використані будь-які безперервні розподіли, що застосовуються в теорії імовірності [11]. Можна взяти будь-яку криву і використовувати її як криву розподілу випадкової величини. Тому, перш ніж приступити до методів розрахунку надійності екосистеми, слід розглянути закономірності, яким вона підпорядковується.

Випадкова подія – подія (факт, явище), яка з часом може відбутися або не відбутися. Випадкові події (відмови, процес деградації та інші) утворюють випадкові потоки й випадкові процеси. Потік подій – послідовність подій, що відбуваються одна за іншою в деякі відрізки часу. Наприклад, відмови екосистеми, яка не відновлюється, утворюють потік подій (потік відмов). Під дією потоку відмов екосистема може перебувати в різних станах (повної відмови або часткової відмови).

Перехід екосистеми з одного стану в інший є випадковим процесом. Випадкова величина – величина, яка в результаті дослідження екосистеми може набувати того чи іншого значення, причому невідомо задалегідь, якого саме. Випадкова величина може бути дискретною (число відмов за час t , число відмов елементів при напрацюванні заданого обсягу і таке інше) або безперервною (час напрацювання елемента екосистеми до відмови).

Закон розподілу випадкової величини – співвідношення, що встановлює зв'язок між значеннями випадкової величини та їх імовірностями. Його можна визначити формулою, таблицею, багатокутником розподілів та іншим.

Для характеристики випадкової величини (безперервної й дискретної) використовується імовірність того, що випадкова величина X менше деякої поточної змінної x . Функція розподілу випадкової величини X (інтегральний закон розподілу) – функція вигляду $F(x) = P(X < x)$. Щільність розподілу неперервної випадкової величини X (диференціальний закон розподілу) – похідна від функції розподілу [12]:

$$f(x) = \frac{d}{dx} F(x), \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1, \int_{-\infty}^x f(x) dx = F(x). \quad (1).$$

За випадкову величину будемо брати час функціонування екосистеми (час до виникнення відмови). За такої умови функція щільності розподілу $f(t)$ буде слугувати повною характеристикою розсіювання термінів функціонування складових елементів екосистеми (рис. 2).

Вигляд цієї функції залежить від закономірностей процесу втрати елементом екосистеми стійкості. Крива розподілу $f(t)$ – частота відмов – дає можливість підрахувати пострадіаційний стан будь-якого елемента екосистеми T_{cp} (математичне очікування $M(t)$), розсіювання (дисперсію D) щодо центру групування та інші числові параметри випадкової величини T .

Якщо взяти деякий період часу t існування елемента, то площа $F(t)$ кривої розподілу $f(t)$ буде характеризувати ймовірність відмови (виходу з ладу) елемента екосистеми за цей період часу (рис. 2б). Тому ліва гілка кривої розподілу $f(t)$, що належить до області малої імовірності відмов, використовується зазвичай для характеристики безвідмовності P екосистеми, а вся крива $f(t)$ та її параметри необхідні для оцінювання її довговічності.

Ординати інтегральної функції розподілу $F(t)$ (рис. 2в) характеризують імовірність відмови елемента екосистеми до даного моменту часу:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (2).$$

У багатьох випадках немає необхідності користуватися функціями $F(t)$ або $f(t)$, досить знати числові характеристики цих кривих. Основною характеристикою положення кривої $f(t)$ є математичне сподівання $M(t)$, яке за такої умови є середнім часом існування екосистеми T_{cp} (напрацюванням на відмову):

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \quad (3).$$

Основною характеристикою розсіювання випадкової величини є дисперсія D або середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{D}, \quad D(t) = \int_0^{\infty} (T_{cp} - t)^2 f(t) dt, \quad (4).$$

Чим більше значення D (або відповідно σ), тим більше розсіювання термінів існування щодо їх середнього значення $M(t)$.

Для оцінювання надійності елементів екосистеми за основну випадкову величину будемо брати час до виникнення відмови. Також визначимо імовірність безвідмовного існування екосистеми $P(t)$ у межах заданого періоду t . Для цього використаємо значення інтегральної функції:

$$P(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (5).$$

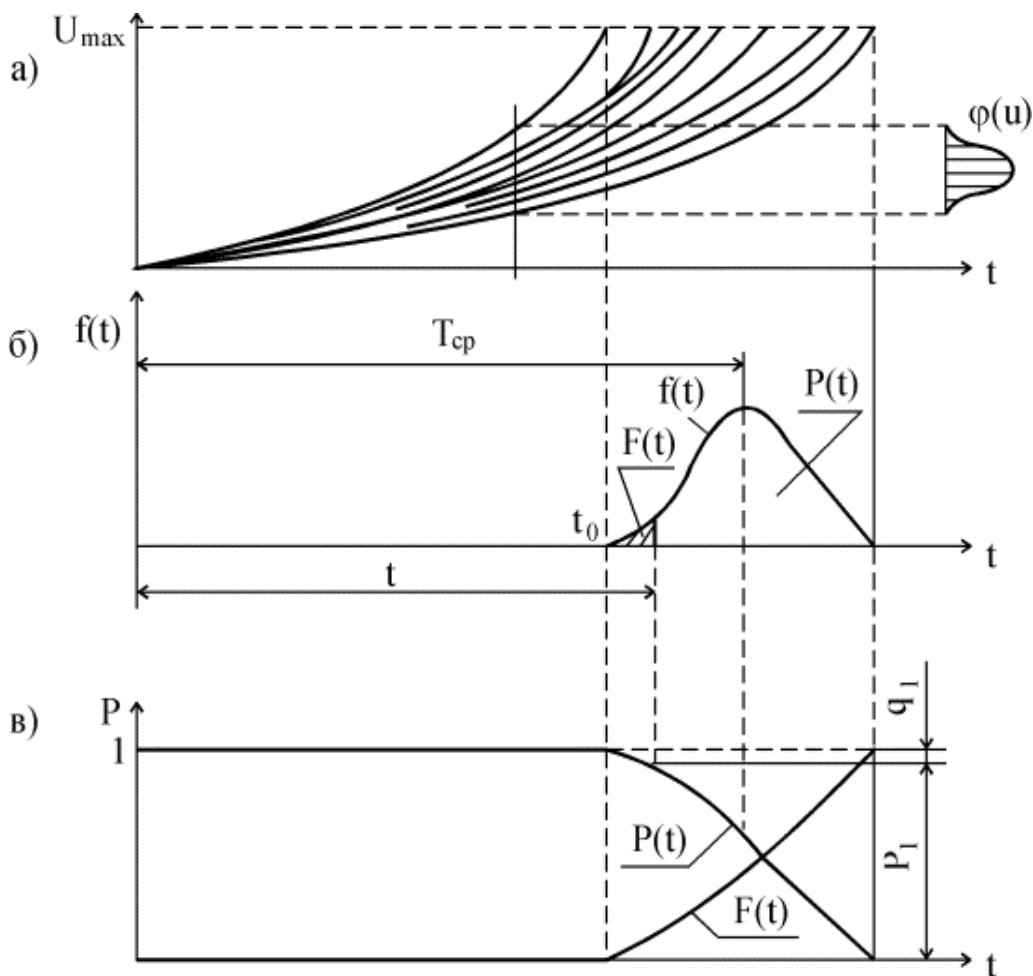


Рис. 2. Криві розподілу випадкової величини при поступових відмовах в екосистемі: а – реалізація функції деградації $\varphi(U)$; б – щільність розподілу термінів існування екосистеми $f(t)$; в – інтегральна функція розподілу $F(t)$ та імовірність безвідмовного існування екосистеми $P(t)$

Таблиця 1

Формули для розрахунку показників надійності екосистеми

Показник	Функція розподілу [12]			
	експоненційного	нормального	логнормального	Вейбулла
$p(t_i)$	$\exp\{-\lambda t_i\} \approx 1 - \lambda t_i$	$\Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{\sigma_i}\right)$	$\Phi\left(\frac{\ln t_i - a_{\ln t}}{\sigma_{\ln t}}\right)$	$\exp\left\{-\left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta\right\}$
$q(t_i)$	$1 - \exp\{-\lambda t_i\} \approx \lambda t_i$	$1 - \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{\sigma_i}\right)$	$1 - \Phi\left(\frac{\ln t_i - a_{\ln t}}{\sigma_{\ln t}}\right)$	$1 - \exp\left\{-\left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta\right\}$
$\lambda(t_i)$	$\frac{n(\Delta t)}{[N(t_i - 0,5n(\Delta t))\Delta t]}$	$\frac{\phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{\sigma_i}\right)}{\sigma_i p(t_i)}$	$\frac{\phi\left(\frac{\ln t - a_{\ln t}}{\sigma_{\ln t}}\right)}{t_i \sigma_{\ln t} p(t_i)}$	$\frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t_i}{\theta}\right)^{\beta-1}$
$f(t_i)$	$\lambda \exp\{-\lambda t_i\}$	$\phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{\sigma_i}\right)$	$\phi\left(\frac{\ln t - a_{\ln t}}{\sigma_{\ln t}}\right)$	$\frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t_i}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{t_i}{\theta}\right)^\beta\right\}$
T	$1/\lambda$	\bar{t}	$\exp\{a_{\ln t} + 0,5\sigma_{\ln t}^2\}$	$\Theta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$

Імовірність безвідмовного існування екосистеми $P(t)$ стосується події, протилежної появи відмови $F(t)$. Тому $F(t) + P(t) = 1$, або $P(t) = 1 - F(t)$.

У цьому випадку функція розподілу відмови

$F(t) = P(t < t_{300}) = Q(t)$; щільність розподілу $f(t) = dQ(t)/dt$; імовірність безвідмовності екосистеми за час t : $P(t) = 1 - Q(t)$.

У таблиці 1 наведені формули для розрахунку показників надійності екосистем за функцією розподілу часу появи відмови t .

Щільність розподілу визначено за формулою:

$$f_n(t) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n V\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right) = \frac{1}{n\sigma\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^n \exp\left[-\left(\frac{t - \xi_i}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2\right], \quad (6)$$

Тут $V(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$ – ядро Гауса; n – обсяг

вибірки; σ – параметр локальності (ширина оцінки, досліджуваний параметр).

Досліджуваною випадковою величиною в розглянутій задачі є час (напрацювання до відмови). Область визначення даного параметра $[0, \infty)$. Отже, априорі відомо, що аналізовані випадкові величини належать до класу невід’ємних величин.

Для позитивно визначених випадкових величин запропоновано використовувати розподіл Гауса:

$$\hat{f}(t, \sigma) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n \left[V\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right) + V\left(\frac{t + \xi_i}{\sigma}\right) \right], \quad (7)$$

Імовірність безвідмовного існування екосистеми – це імовірність того, що в межах заданого напрацювання t поступова відмова в екосистемах не виникне, тобто випадковий час напрацювання до відмови ξ виявиться не менше t :

$$P(t) = P(\xi \geq t) = \bar{Q}(t), \quad t \geq 0, \quad (8)$$

Якщо відома щільність розподілу напрацювання на відмову, можна розрахувати функцію розподілу, чисельно проінтегрувати щільність:

$$\begin{aligned} \hat{F}(t, \sigma) &= \int_0^t f(u, \sigma) du = \\ &= \frac{1}{n\sigma} \int_0^t f(u, \sigma) du = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t V\left(\frac{u - \xi_i}{\sigma}\right) du + \int_0^t V\left(\frac{u + \xi_i}{\sigma}\right) du \right] = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\Phi\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{t + \xi_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\xi_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{\xi_i}{\sigma}\right) \right] = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\Phi\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{t + \xi_i}{\sigma}\right) \right] - 1, \end{aligned} \quad (9)$$

де $\Phi(u)$ – інтеграл помилок.

Далі ймовірність безвідмовної роботи екосистеми розраховано:

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (10)$$

Середній прямий залишковий час стану екосистеми – це математичне очікування часу, що залишився для існування екосистеми до чергової від-

мови, починаючи з моменту часу t , коли екосистема була працездатна. Середній зворотній залишковий час – це математичне очікування часу існування екосистеми від початку функціонування або відновлення після останньої регенерації до моменту часу t , у який екосистема працездатна. Ці показники розраховуються тільки для відновлюваних елементів.

Визначимо процеси $\{V_t, t \geq 0\}$ і $\{R_t, t \geq 0\}$, які відповідно названо процесами прямого і зворотного залишкового часу:

$$V_t = \tau_{N(t)+1} - t; \quad (11)$$

$$R_t = t - \tau_{N(t)+1}, \quad (12)$$

де (11) – прямий залишковий час або вік, а (12) – зворотний залишковий час або залишкове напрацювання робочої системи до моменту часу t ; τ_i – момент i -ї відмови. На рис. 3 показано процес функціонування відновлюваної екосистеми: τ_i – моменти відмов (відновлень); ξ_i – напрацювання між відмовами; V_t – прямий залишковий час; R_t – зворотній залишковий час.

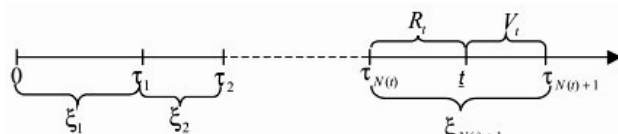


Рис. 3. Процес функціонування екосистеми, що відновлюється

$\{R_t\}$ і $\{V_t\}$ є однорідними Марківськими процесами з безліччю станів на осі часу $[0, \infty)$ [12].

У разі однорідного потоку вирази для визначення середнього прямого й зворотного залишкового часів є рівнянням Вольтера 2-го роду [12]:

$$V(t) = \int_t^\infty P(x) dx + \int_0^t V(\tau) f_\xi(t - \tau) d\tau, \quad (13)$$

$$R(t) = tP(t) + \int_0^t R(\tau) f_\xi(t - \tau) d\tau, \quad (14)$$

Інтенсивність відмов елементів в екосистемі – це відношення умовної імовірності того, що випадкове напрацювання до відмови буде набувати значень з інтервалу $[t; t + \Delta t)$ нескінченно малої довжини Δt за умови, що відмови до моменту часу t не було, до довжини цього інтервалу Δt . Іншими словами, інтенсивність відмов в екосистемах – це відношення щільності розподілу напрацювання до відмови в залежності від імовірності безвідмовного її існування:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq \xi < t + \Delta t / t \leq \xi)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{1 - Q(t)} = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (15)$$

Інтенсивність відмов часто називають λ -характеристикою, вона показує, яка частина елементів екосистеми виходить з ладу в одиницю часу відносно середнього числа справно працюючих елементів екосистеми.

Висновки. Проведені дослідження показали, що розроблений методичний підхід може бути складовим компонентом у проведенні екологічних досліджень і дає можливість органам, відповідальним за екологічну безпеку, підвищити ефективність попереджувального та поточного нагляду з метою про-

філактики забруднення навколишнього середовища. Перенесення розробленого підходу на програмне забезпечення в персональний комп'ютер може слугувати основою для створення системи підтримки прийняття рішень та відповідної інформаційної системи для керівників різного рівня.

Література

1. Азаров С.І. Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску. *Екологічна безпека та природокористування* : збірник наукових праць / Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. № 3–4 (24), липень-грудень 2017 р. С. 50–57.
2. Гродзинський М.Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. Київ : Лікей, 1995. 233 с.
3. Матвеева І.В., Азаров С.І., Кутлахмедов Ю.О., Харламова О.В. Стійкість екосистем до радіаційних навантажень. Київ : НАУ, 2016. 396 с.
4. Азаров С.І., Задунай О.С. Моделювання стійкості екосистеми. *Екологічні науки*. 2018. № 4 (23). С. 5–9.
5. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Аналіз характеристик існуючих екосистем. *Екологічні науки*. 2017. Вип. 3/4 (18-19). С. 77–85.
6. Ушаков И.А. Надежность: прошлое, настоящее и будущее. *Математические методы в надежности* : пленарный доклад на открытии конференции (MMR-2000), Бордо, 2000. Reliability: Theory & Applications. No.1. January 2006.
7. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. Москва : Мир, 1984. 318с.
8. Сандлер Дж. Техника надежности систем / пер. с англ. А.Л. Райкина. Москва : Наука, 1966. 300 с.
9. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность / пер. с англ. Б.А. Чумаченко. Москва–Ленинград : Энергия, 1966. 232 с.
10. Ernest J. Henley and Hiromitsu Kumamoto. Reliability engineering and risk assessment. New Jersey : Prentice-Hall, 1981. 530 p.
11. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности / пер. с англ. под ред. Б.В. Гнеденко. Москва : Изд-во «Сов. радио», 1969. 488 с.
12. Математика. Большой энциклопедический словарь. / гл. ред. Ю.В. Прохоров. 2-е изд. Москва : БРЭ, 1998. 987 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ВЛИВУ АНТРОПОГЕННИХ ЧИННИКІВ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ

Азаров С.І.¹, Харламова О.В.²

¹Інституту ядерних досліджень НАН України
пр-т Науки, 47, 03680, м. Київ

²Кременчуцький національний університет
імені Миколи Остроградського

вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Полтавська область
azarov@kinr.kiev.ua, kharlamovaovdoc@gmail.com

У статті набули подальшого розвитку наші попередні теоретичні дослідження щодо забезпечення стійкого розвитку техногенного навантаженого регіону в умовах синергізму дії чинників екологічної небезпеки. Методологічні аспекти дослідження включають логічний аналіз сучасного стану вивченості проблем екологічної безпеки; розроблення теоретичних засад із застосуванням методу елементно-теоретичного синтезу; експериментально-практичну перевірку розроблених теоретичних положень. На основі формалізації антропогенного впливу на довкілля запропоновано математичний підхід для оцінки вразливості екосистем, їх сталого розвитку. Відмінною особливістю запропонованого підходу є можливість дослідження нестабільності та стійкості екосистем, умов виникнення різких стрибкоподібних перехідних режимів, які є результатом малих безперервних змін змінних, що характеризують кризові процеси в довкіллі. Розрахунок екологічних ризиків базувався на використанні методів теорії катастроф, теорії хаосу і біфуркацій. Запропоновано математичний підхід для прогнозування поведінки екосистеми, яка знаходиться поблизу нестійкого стану рівноваги в зоні біфуркації, коли зростає ймовірність раптових, непередбачуваних антропогенних подій і незначні флуктуації можуть вести до непередбачуваного майбутнього з катастрофічними наслідками. Побудована модель деформації простору безпеки, яка дає змогу здійснювати більш виважені управлінські рішення при оцінці екологічних ризиків (потенційних чи наявних), при ландшафтному плануванні та прогнозуванні, визначенні граничних норм, лімітів допустимого антропогенного навантаження. На практиці стабілізація стійкості екосистеми, в умовах інтенсивної експлуатації, може бути реалізована шляхом використання принципу «нульового або мінімального втручання» в природні процеси та комплекси. Ефективний моніторинг господарської діяльності та управління техногенно навантаженими екосистемами реалізується за рахунок як опису стійкості екосистем, так і створення інтерактивних карт, графів, геоінформаційних систем. Отриманні результати дозволяють використовувати теорію катастроф для дослідження впливу флуктуацій на перехід з однієї траєкторії розвитку екосистеми на іншу. *Ключові слова:* екологічна безпека, антропогенний вплив, моделювання, оцінка екологічного стану, індикатори.

Modeling the influence of anthropogenic factors on the environment. Azarov S., Kharlamova O.

In the article, our previous theoretical studies on the sustainable development of the technogenic loaded region under conditions of synergism of ecological danger have been further developed. Methodological aspects of the study include a logical analysis of the current state of study of ecological safety issues; development of theoretical principles with the use of elemental-theoretical synthesis method; experimental and practical verification of the developed theoretical provisions. On the basis of formalization of anthropogenic impact on the environment, a mathematical approach is proposed to assess the vulnerability of ecosystems and their sustainable development. A distinctive feature of the proposed approach is the ability to study the instability and resilience of ecosystems, the conditions for the emergence of abrupt, abrupt transient regimes, which are the result of small continuous changes in the variables that characterize crisis processes in the environment. The calculation of ecological risks was based on the use of methods of catastrophe theory, chaos theory and bifurcations. A mathematical approach is proposed to predict the behavior of an ecosystem that is near an unstable equilibrium in a bifurcation zone when the likelihood of sudden, unforeseen anthropogenic events and minor fluctuations can lead to an unpredictable future with catastrophic consequences. A model of deformation of the security space has been constructed, which enables to make more informed management decisions in the assessment of ecological risks (potential or existing), in landscape planning and forecasting, determination of limit values, limits of permissible anthropogenic load. In practice, stabilization of ecosystem resilience, in conditions of intensive exploitation, can be implemented by applying the principle of "zero or minimal interference" to natural processes and complexes. Effective monitoring of economic activity and management of technogenically loaded ecosystems is realized through both the description of ecosystem sustainability and the creation of interactive maps, graphs, geoinformation systems. The results allow us to use the theory of catastrophes to study the impact of fluctuations on the transition from one trajectory of ecosystem development to another. *Key words:* ecological safety, anthropogenic impact, modeling, environmental assessment, indicators.

Постановка проблеми. Концепція сталого розвитку, що стала своєрідною домінантою уявленнь про шляхи трансформації постіндустріального суспільства в XXI столітті, має на увазі узгодженість змін в різних вимірах його функціонування (екологічному, економічному і соціальному). Основний посту-

лат сталого розвитку полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки, що спрямоване на забезпечення певної якості і безпеки життя людей при стані навколишнього середовища, що не погіршується, та раціональне використання обмежених ресурсів, розвитку природо-, матеріало- і енергозберігаючих технологій

[1-4] Однак, істотна деформація простору екологічної безпеки, викликана глобальними змінами сучасного світу, стала основним викликом сталого розвитку. Зростаюча взаємозалежність різних вимірів уразливості довкілля, широкий спектр локальних, регіональних, транснаціональних загроз, поширення небезпечних технологій, виникнення дефіциту водних ресурсів, зростаюче навантаження на екосистему створюють своєрідний синергетичний ефект, привносять додаткові системні екологічні ризики [5]. Створення сучасного мережевого суспільства значно підсилює поля екологічних, техногенних, економічних, політичних, і соціальних ризиків. Вузли цієї мережі є своєрідними акупунктурними точками, в яких слабкі впливи ведуть до потужних відхилень траєкторій розвитку екосистем і збільшують ступінь невизначеності майбутнього. Це призводить до непередбачуваних за своїми масштабами наслідків. Функціонування таких складних екосистем, як наприклад техногенно навантажений регіон, часто стає нестабільним і характеризується раптовими стрибкоподібними змінами. Критерії якості довкілля, що розглядалися в антропоцентричному контексті придатності для конкретних видів використання [6], істотно трансформувалися у зв'язку з розумінням необхідності «забезпечення стійкого функціонування екосистем і запобігання їх деградації». Методики, що пов'язані з оцінкою якості і охороною довкілля, перебувають на стадії активної розробки у багатьох європейських країнах.

Актуальність дослідження. Все вище наведене вимагає розробки методів і механізмів ефективного попередження потенційних і нейтралізації явних загроз довкіллю. Важливим елементом таких механізмів повинні стати інформаційні системи, які на базі математичних моделей, що дозволяють формалізувати антропогенний вплив на довкілля, суттєво підвищують ефективність прийняття рішень в сфері екологічної безпеки та оцінки вразливості екосистем до широкого спектру загроз. У зв'язку з цим пошук біотичних показників, що найбільш точно відображають процеси, які впливають на стан якості довкілля, є актуальною проблемою.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Стаття відповідає актуальним напрямкам екологічної політики України в сфері забезпечення сталого розвитку та екологічної безпеки, які висвітлено у Постанові ВРУ «Про Концепцію (основи державної політики) національної безпеки України», Законах України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» та «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробки теоретичного базису та практичних методів, підходів щодо визначення та оцінювання антропогенного навантаження, стійкості екосистем можна

знайти в роботах Ф. М. Мількова, А. Д. Арманда, А. Г. Ісаченка, П. Г. Шищенко, М. Д. Гродзинського, В. М. Самойленка, Г. І. Денисика, Л. Л. Малишевої, С. П. Романчука, Е. І. Гофмана, Л. Т. Наливайка, а також ряді інших вітчизняних та зарубіжних вчених. У роботах [7-9] запропонована математична модель для інтегральної оцінки системних ризиків в техногенній сфері та дослідження впливу флуктуацій різного генезу на трансформацію полів техногенних, соціогенних і економічних ризиків.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Не достатньо розвинені математичні підходи для оцінки вразливості екосистем від антропогенного впливу на довкілля. Слабо представлені результати вивчення нестабільності та стійкості екосистем, умов виникнення перехідних режимів, що характеризують кризові процеси в довкіллі.

Метою даної роботи є екологічна оцінка негативного антропогенного впливу на довкілля і розробка заходів щодо їх мінімізації і запобігання.

Методологічне та загальнонаукове значення. Результати даної наукової роботи дозволяють використовувати теорію катастроф для дослідження впливу флуктуацій на перемикання з однієї траєкторії розвитку екосистеми на іншу.

Наукова новизна. Набули подальшого розвитку дослідження щодо забезпечення стійкого розвитку техногенного навантаженого регіону в умовах сумісного впливу чинників екологічної безпеки, зокрема, побудована модель деформації простору безпеки.

Викладення основного матеріалу. З використанням даних [10], методи математичного моделювання надійності екосистем класифікуємо наступним чином:

- теорія стійкості і біфуркацій диференціальних рівнянь → приблизні схеми перехресної регуляції → топологічні методи теорії катастроф;
- термодинамічний підхід → імовірнісні критерії диференціальних рівнянь → теорія дисипативних структур.

Будемо виділяти такі стани екосистем [11]:

- 1) нестійка екосистема – малі збурення різко змінюють режим функціонування;
- 2) асимптотична, стійка екосистема – збурення гасяться екосистемою;
- 3) глобально стійка екосистема – властивість стійкості виконується для всіх траєкторій;
- 4) локально стійка екосистема – властивість стійкості виконується для траєкторій поблизу рівноважної.

Розглянемо бістабільну коливальну екосистему, що описує не затухаючі коливання в ній (числа Ляпунова при цьому чисто уявні), В екосистемах діє закон збереження енергії в потенційному полі $N(x)$. У цьому випадку маємо консервативну або гамільтонову систему:

$$dx/dt_1 = F(x) = -\partial N(x)/\partial x, \quad (1)$$

Щоб проаналізувати поведінку екосистеми поблизу локальних екстремумів $N(x)$ функцію $F(x)$ розкладемо в ряд близько стаціонарних станів і обмежимося декількома малими членами розкладання. Мінімальна кількість членів n і параметрів k , які потрібно враховувати, визначається ступенем виродження стаціонарного стану. Вони пов'язані простим співвідношенням: $k = (n - 1)$. В теорії катастроф число k називається корозмірністю катастрофи.

Для дослідження широкого кола явищ найбільш часто використовується катастрофа «збірка» – злиття трьох особливих точок [12]. Розглянемо рівняння:

$$F(x) = a_2 + a_1 x + x^3, \quad (2)$$

$$N(x) = -a_2 x - a_1 x^2/2 - x^4/4 \quad (n=3, k=2). \quad (3)$$

Форма $F(x)$ в (2.3) – загальна, до неї наводиться будь-який кубічний поліном, який має відповідно до теореми Штурма, щонайбільше три і найменше один корінь [12]. Природа коренів залежить від дискримінанту

$$\Delta = 4a_1^3 + 27a_2 \quad (4)$$

При виконанні умови $\Delta < 0$ існує три різних дійсних кореня. Таким чином, мають місце три стани описуваної екосистеми, два з яких стійкі, а одне – нестійкий. При $\Delta > 0$ є один речовий корінь і два уявних. При $\Delta = 0$ відбувається злиття особливих точок: якщо $\Delta = 0$, але $a_1 \neq 0$, або $a_2 \neq 0$, то збігаються дві точки. Якщо $\Delta = 0$ і $a_1 = a_2 = 0$, то зливаються всі три точки. Таким чином, $\Delta(a_1, a_2) = 0$ – це крива біфуркаційних значень. Припустимо, що екосистема задовольняє всім вимогам потенційної екосистеми і може бути описана потенційною функцією $N(X, A_1, A_2, \dots, A_N)$ поведінкової змінної X (вразливість) і параметрів управління A_i . Ця функція має кілька стаціонарних станів, частина з яких стійкі, а інші – не стійкі. Переходи екосистеми з одного стійкого стану в інший, або зміна характеру стійкості стаціонарного стану (наприклад, зі стійкого до нестійкого) є функціями параметрів управління A_i . Розглянемо екологічну безпеку екосистеми як комплекс складних взаємодій, що здійснюються у двох вимірах, які оцінюються за допомогою індексу Ia та характеризує вплив антропогенних чинників на довкілля і індексу Ib і характеризує ступінь змін у довкіллі.

У формалізмі теорії катастроф буде відповідати катастрофа «збірка»

($n = 3, k = 2$), оскільки поведінка екосистеми розглядається в просторі двох параметрів управління. Таким чином, потенційна функція N буде описуватися поліномом четвертого ступеня відносно змінної X , що характеризує рівень вразливості. У цьому випадку маємо

$$dX/dt = -\partial N(X, A)/\partial X = X_3 + A_1 X + A_2, \quad (5)$$

де $A_1 = A_1(Ib)$, $A_2 = A_2(Ia)$, причому $\partial A_1/\partial Ib < 0$, а $\partial A_2/\partial Ia < 0$.

В цьому випадку екосистема має три стаціонарні стани, два з яких стійкі. Перший стійкий стаціонарний стан характеризує норму (низький рівень вразливості), другий – катастрофу (високий рівень вразливості). Використання методу теорії катастроф дозволяє оцінити ризик стрибкоподібної деформації простору екологічної безпеки, при якій відбувається перехід до підвищеного рівня вразливості екосистеми, а також визначити критичні рівні параметрів, після досягнення яких екосистема переходить з одного свого стаціонарного стану в інший. Наприклад, можна визначити при якому рівні індексу Ic при заданому рівні індексу Ia відбудеться стрибкоподібна деформація простору екологічної безпеки в екосистемі. На рис. 1 наведено поведінку поверхні рівноваги (або різноманіття) характеристик стійкості в екосистемі сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу з її проекцією на площину ab , яка визначає управляючі параметри a та b .

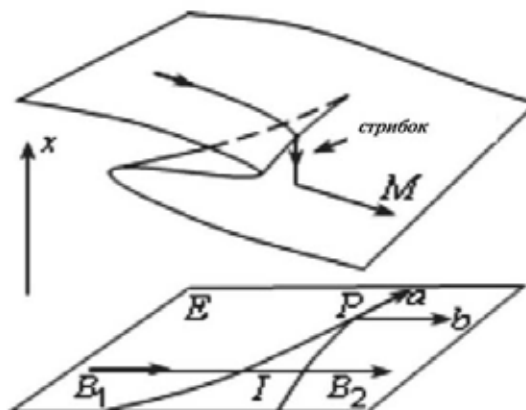


Рис. 1. Поведінка поверхні рівноваги характеристик стійкості в динамічній нелінійній системі сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу та її проекція на площину

Точка (a, b) , повільно змінюючи свої координати a і b , описує деяку траєкторію на площині ab . Тоді положення рівноваги, що спостерігається, пройде шлях на поверхні M , що лежить над шляхом в площині ab . Через збірку на поверхні рівноваги M цьому шляху, можливо, доведеться перескакувати з одного аркуша поверхні на інший.

Різноманіття катастроф на поверхні рівноваги M (див. рис. 1) буде задаватися рівнянням:

$$0 = \frac{d}{dx} V_{ab}(x) = x^3 + ax + b \quad (6)$$

Кубічне рівняння (6) має від одного до трьох дійсних коренів. Природа цих коренів залежить від дискримінанту

$$D = 4a^3 + 27b^2. \quad (7)$$

Простір керуючих параметрів, що утворюють площину ab , будемо розбивати на п'ять підмножин: B_1, B_2, P, I, E , що зображені на рис. 2.

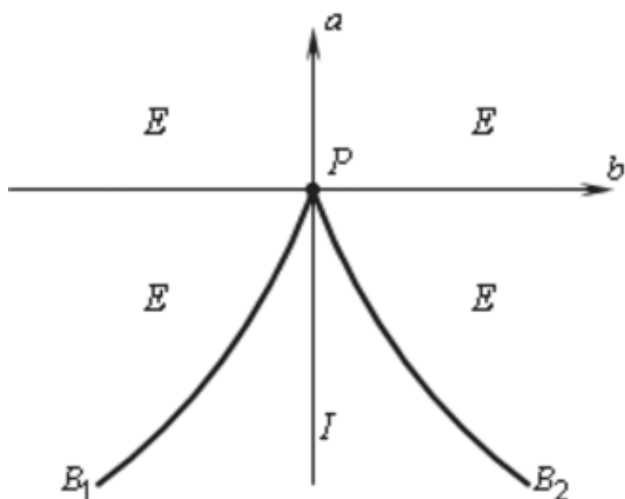


Рис. 2. Простір керуючих параметрів

Лінія, що утворена множинами B_1 , B_2 , і P , відповідає умові $D = 0$, тобто $4a^3 + 27b^2 = 0$.

В цьому разі, якщо $a = 0$ і $b = 0$, то точка (a, b) лежить в B_1 або в B_2 , і рівняння (7) має три дійсних кореня, два з яких збігаються між собою. Точка P відповідає $a = b = 0$ існує три співпадаючих дійсних кореня, рівних нулю. Точка P називається точкою повернення. Якщо $(a, b) = I$, то мають місце три різних дійсних кореня і $D < 0$. Якщо $(a, b) = E$, то існує тільки один речовий корінь ($D > 0$). Катастрофа відбувається, коли траєкторією точки (a, b) залишається область I і в цьому разі D змінює знак з негативного на позитивний. Вважаємо, що зміни керуючих параметрів в динамічній нелінійній системі сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу є випадковими. Випадковими величинами або випадковими функціями також можна описувати вплив ендегенних та екзогенних чинників. Для практичних цілей важливий статистичний аналіз положень рівноваги екосистеми поблизу критичних точок. Тому вважаємо за доцільне розглянути з позицій теорії катастроф питання оцінки показників надійності екосистеми за наявністю випадкових збурюючих факторів.

Криву біфуркаційних значень можна описати також таким виразом:

$$4A_1^3 + 27A_2^2 = 0. \quad (8)$$

Знаючи поточне значення параметра A_2 , з рівняння (6) отримуємо біфуркаційне значення параметра A_1 . Різниця між біфуркаційним і поточним

значенням параметра A_1 є мірою екологічної безпеки. Чим далі відстоїть поточне значення параметра від його біфуркаційного значення, тим менше деформація простору екологічної безпеки. При виконанні умови $A_1 < 0$ існує область стрибкоподібних переходів поведінкової змінної з одного стаціонарного стану екосистеми в інше (крива M на рис. 1).

Екосистема, яка перебуває в зоні біфуркації, надзвичайно чутлива до незначних впливів, коли будь-яка флуктуація (випадковий шум) може кар-

динально вплинути на перемикання з однієї траєкторії розвитку екосистеми на іншу. Оцінка ризику прийнятих рішень або небезпеки, тобто інформації про вірогідності можливих результатів і про можливі збитки, вимагає високого рівня знань про досліджувані об'єкти, технології, рішення. Відсутність таких знань призводить нас в ситуацію невизначеності. Нові екологічні ризики, які виникли в останні роки, пов'язані багато в чому з продуктами генної інженерії, біотехнології, хімічної індустрії, а також багатьох нових нанотехнологій, на жаль, відносяться до таких унікальних явищ, для яких невідомо розподіл результатів в групі, що отримується шляхом апріорних обчислень або вивчення статистики попереднього досвіду.

Розглядаючи екологічні ризики, необхідно враховувати і фактор невизначеності, пов'язані з психологічними аспектами прийняття рішень.

З огляду на описане вище, особливу актуальність набуває завдання побудови стохастичної теорії катастроф. Існує декілька підходів, що дозволяють вирішити цю задачу. Розглянемо випадок наближення нерівноважних стохастичних екосистем до стаціонарного стану. Відомо [13], що для градієнтних систем при детерміністичному і стохастичному описі збігається безліч переходів (катастроф), що складається з усіх точок простору управління, в яких змінюється число і тип екстремальних точок. У разі, коли процес, що моделюється, є стохастичним, що підкоряється рівнянню Ланжевена, тоді рівняння (5) перетвориться до виду

$$\begin{aligned} dX/dt &= -\partial N(X, A)/\partial X + S^{1/2} \xi(t) = \\ &= X^6 + A_1 X + A_2 + S^{1/2} \xi(t), \end{aligned} \quad (9)$$

де S – константа, а $\xi(t)$ – гаусівська незалежна, δ – корельована флуктурована величина.

Згідно [14], система, що описується за допомогою єдиного і глобально

стійкого стаціонарного розподілу ймовірностей $Z^0(x, u)$, пов'язаного з N наступним чином:

$$Z^0(X, A) = 1/N \{ \exp[-2 N(X, A)/S] \}. \quad (10)$$

Відомо [15], що $Z^0(X, A)$ і $N(X, A)$ має одну і те ж множину катастроф. На рис. 3 показана трансформація функції щільності ймовірності для стохастичного опису катастрофи «збірка» при зміні параметра A_1 .

Стрибкоподібна деформація простору екологічної безпеки відбуватиметься при зниженні збалансованості екологічних, економічних і соціальних змін нижче деякого критичного (біфуркаційного) рівня. В умовах постійного навантаження на довкілля різноманітних видів антропогенного впливу (промислового, агровиробничого, транспортного, рекреаційного, соціального) важливо аналізувати стійкість екосистем для кожного окремого з цих та інших впливів, пов'язувати і визначати характер їхньої дії на інші властивості природних комплексів.

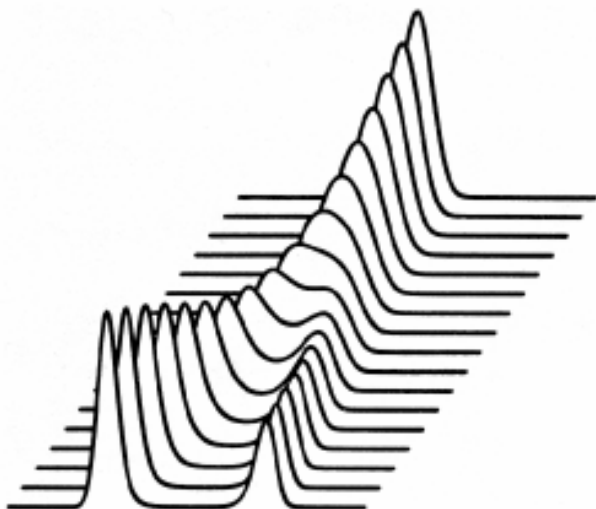


Рис. 3. Трансформація функції щільності ймовірності

Головні висновки. Набули подальшого розвитку дослідження щодо забезпечення стійкого розвитку техногенного навантаженого регіону в умовах сумісного впливу чинників екологічної небезпеки. Встановлено, що існують однозначні зв'язки між якісною поведінкою екосистем при детерміністичному і стохастичному описах. Побудована модель деформації простору безпеки, яка дозволяє зробити

наступні висновки, що не були постульовані при її розробці:

- дослідження стійкості екосистем, їх оцінка та прогноз змін дають змогу здійснювати більш виважені управлінські рішення при оцінці екологічних ризиків (потенційних чи наявних), при ландшафтному плануванні та прогнозуванні, визначенні граничних норм, лімітів допустимого антропогенного навантаження;

- забезпечується збалансоване природокористування та раціональна організація територій, ефективний моніторинг господарської діяльності та управління екотехносистемами, яке можливо за рахунок як теоретико-емпіричного дослідження та опису стійкості екосистем, так і створення інтерактивних карт, графів, геоінформаційних екосистем, тематичних галузевих карт з кількісними показниками;

- на практиці стабілізація стійкості екосистеми, в умовах інтенсивної експлуатації, може бути досягнена через реалізацію принципу «нульового або мінімального втручання» в природні процеси та комплекси.

Перспективи використання результатів дослідження. Отже, отриманні результати дозволяють використовувати теорію катастроф для дослідження впливу флуктуацій на перемикання з однієї траєкторії розвитку екосистеми на іншу.

Література

1. *Measuring globalization*, the A.T. Kearney / Foreign Policy Magazine Globalization Index. Foreign Policy. 2006. November/December. P. 52–61.
2. Esty D.C., Levy M., Srebotnjak T., de Sherbinin A. Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship. – New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2005. 186 p.
3. *Climate Change 2001 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. IPCC Third Assessment Report / J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, K.S. White (eds.). Cambridge: University Press, 2001. 98 p.
4. Van de Kerk G., Manue A.R. A comprehensive index for a sustainable society. The SSI – the Sustainable Society Index. Ecological Economics. 2008. 66. № 2–3. P. 228–242.
5. Харламова Е.В., Шмандий В.М., Ригас Т.Е. Фундаментальные аспекты управления экологической безопасностью в техногенно нагруженном регионе. Экологический Вестник Северного Кавказа, 2014, 10 (3). С. 53–63.
6. Шмандий В.М., Харламова О.В. Теоретичні та практичні аспекти управління екологічною безпекою на основі антропоцентричного підходу. Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. серія «Екологія». 2013, 9 (1070). С. 24–30.
7. Shmandiy, V.M., Kharlamova, E.V., Rigas, T.E. Control elements of environmental safety under the conditions of chemical and man-made factors. Gigiena i Sanitariya. 2018. № 9(97). Pp. 809–812.
8. Kharlamova O.V., Malovanyu M.S., Shmandiy V.M., Svyatenko A.I. Ways of increasing the efficiency of anaerobic-aerobic processes of biological wastewater treatment: «Water Supli and Wastewater Disposal»: Monografie. Lublin: Lublin Uniwersiti of Technology. Poland, 2018. P. 124–131.
9. Стійкість екосистем до радіаційних навантажень / І.В. Матвеева, С.І. Азаров, Ю.О. Кутлахмедов, О.В. Харламова. К.: НАУ, 2016. 396 с.
10. Азаров С.І. Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску / Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Збірник наукових праць «Екологічна безпека та природокористування» № 3–4 (24), 2017. С. 50–57.
11. Азаров С.І. Моделювання стійкості екосистеми / Азаров С.І., Задунай О.С. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». 2018. № 4/2018 (23). С. 5–9.
12. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: динамическая теория информации. М.: Наука, 2001. 244 с.
13. Эбелинг В., Энгель-Герберт Г. Экстремальные принципы и теория катастроф для стохастических моделей нелинейных необратимых процессов. Термодинамика и кинетика биологических процессов. М.: Наука, 1980. С. 153–169.
14. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса (Новый диалог человека с природой). М.: Изд-во «Едиториал УРСС», 2003. 310 с.
15. Снакин В.В. Глобальные экологические процессы и эволюция биосферы: Энциклопедический словарь. М.: Academia, 2014. 197 с.

ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СКЛАДОВІ ДОВКІЛЛЯ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Чугай А.В.

Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса
avchugai@ukr.net

Під час оцінки стану довкілля регіонів України найбільше приділяється увага оцінці якості окремих природних середовищ. Рівень техногенного навантаження на навколишнє середовище зазвичай визначається загалом для певної території (регіону). Одеська область характеризується унікальним природно-ресурсним потенціалом. Також у її межах розташована велика кількість населених пунктів, промислових, паливно-енергетичних, транспортних, рекреаційних та інших об'єктів. Це негативно відбивається на стані та якості довкілля, знижується рекреаційна цінність і погіршується загальна екологічна ситуація. Метою виконаного дослідження є оцінка техногенного навантаження на складники довкілля Одеської області. Для оцінки та аналізу рівня техногенного навантаження було застосовано принцип розрахунку модуля техногенного навантаження. У роботі запропоновано визначити модуль техногенного навантаження на повітряний басейн, модуль техногенного навантаження на водні об'єкти, модуль техногенного навантаження на геологічне середовище. Переважаючими джерелами забруднення атмосферного повітря є пересувні джерела. Загалом, навантаження на повітряний басейн регіону збільшилось на 30%. Навантаження на водні об'єкти збільшилось, що пов'язано з тим, що збільшилися обсяги скидів. Спостерігається тенденція до зменшення кількості утворених відходів. Кількість накопичених відходів на порядок перевищує дані про утворення. Зазначено суттєве збільшення техногенного навантаження на геологічне середовище за загальною кількістю відходів у регіоні. Найбільше навантаження Одеська область зазнає за показниками скидів стічних вод і утворення відходів. Отримані результати є основою для розроблення регіональних природоохоронних програм, а також порівняльної оцінки техногенного навантаження на регіони України. *Ключові слова*: модуль техногенного навантаження, довкілля, стан, якість.

Evaluation of technogenic load on the environmental components of the Odessa region. Chugai A.

In assessing the state of the environment of the regions of Ukraine, the greatest attention is paid to the assessment of the quality of individual natural environments. The level of technogenic load on the environment is usually determined as a whole for a specific territory (region). Odessa region is characterized by unique natural resource potential. It also has a large number of settlements, industrial, fuel and energy, transport, recreational and other facilities. This has a negative impact on the state and quality of the environment, decreases recreational value and worsens the overall environmental situation. The purpose of this study is to evaluate the technogenic load on environmental components of the Odessa region. The principle of calculation of the technogenic load module was applied for the estimation and analysis of the technogenic load level. In this paper we propose to determine the module of technogenic load on the air basin, the module of technogenic load on water objects, the module of technogenic load on geological environment. The predominant sources of air pollution are mobile sources. Overall, the region's air pool load has increased by 30%. Water loads have increased, due to the fact that the volume of discharges has increased. There is a tendency to decrease the amount of waste generated. The amount of waste accumulated exceeds the formation data by an order of magnitude. There is a significant increase in technogenic load on the geological environment by the total amount of waste in the region. The Odessa region has the highest load in terms of wastewater discharges and waste generation. The results obtained are the basis for the development of regional environmental programs, as well as for the comparative assessment of technogenic load in the regions of Ukraine. *Key words*: module of technogenic load, environment, condition, quality.

Постановка проблеми. Техногенного навантаження зазнають усі абіогенні та біогенні складники довкілля. Основними негативними наслідками техногенного навантаження можна вважати такі:

- забруднення атмосферного повітря і погіршення його якості;
- забруднення і виснаження поверхневих і підземних водних об'єктів;
- деградація родючих ґрунтів;
- забруднення геологічного середовища і розвиток несприятливих геологічних процесів;
- зміна ландшафтно-біологічного різноманіття;
- забруднення довкілля загалом унаслідок техногенних аварій і катастроф.

Актуальність дослідження. Через процеси урбанізації, розвиток промисловості, енергетики, тран-

спорту, аграрного сектору економіки тощо зростає антропогенний вплив на регіони України, зокрема на Одеську область. Ця територія характеризується унікальним природно-ресурсним потенціалом. Також у її межах розташована велика кількість населених пунктів, промислових, паливно-енергетичних, транспортних, рекреаційних та інших об'єктів, що негативно відбивається на стані та якості довкілля, знижується рекреаційна цінність і погіршується загальна екологічна ситуація в межах окремих територій [1].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження відповідає основним напрямкам екологічної політики України відповідно до Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної

політики України на період до 2030 року» [2]. Також тематика досліджень відповідає основним напрямкам наукової діяльності кафедри екології та охорони довкілля Одеського державного екологічного університету, зокрема НДР «Стан та якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я» і «Розроблення складових геоінформаційної системи оцінки рівня техногенного навантаження на довкілля».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час оцінки стану довкілля регіонів України найбільше приділяється уваги оцінці якості окремих природних середовищ. Такий підхід реалізований і автором разом зі співавторами в окремих роботах [3–5] щодо оцінки якості атмосферного повітря. Також увагу деяких авторів привертало питання якості поверхневих вод регіону [6; 7]. Оцінка рівня техногенного навантаження є більш складним питанням, оскільки будь-який універсальний підхід нині визначити складно. Більшість оцінок ґрунтується на застосуванні показників викидів і скидів забруднюючих речовин (далі – ЗР) у навколишнє середовище та подальшому ранжуванні за рівнем техногенного навантаження [8].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Рівень техногенного навантаження на навколишнє середовище зазвичай визначається загалом для певної території (регіону). При цьому відсутня диференціація за окремими складниками довкілля, тобто за окремими показниками впливу. Запропоновані показники можна застосовувати для порівняльного аналізу техногенного впливу на складники довкілля, наприклад на повітряний басейн [9] та інші природні середовища.

Метою виконаного дослідження є оцінка техногенного навантаження на складники довкілля Одеської області.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для оцінки та аналізу рівня техногенного навантаження було застосовано принцип розрахунку модуля техногенного навантаження (далі – *МТН*). Він визначається як сума вагових одиниць усіх видів відходів (твердих, рідких, газоподібних) промислових, сільськогосподарських і комунальних об'єктів за часовий проміжок – 1 рік, віднесена до площі адміністративного району або області, в межах якої розташовані ці об'єкти, що вимірюються в тис. т/км² на рік [10].

Нами запропоновано у роботі *МТН* розраховувати як окремі модулі навантаження на складники довкілля:

– модуль техногенного навантаження на повітряний басейн $M_{ПБ}$ за показниками обсягів викидів ЗР від стаціонарних і пересувних джерел. Цей показник передбачає суму двох значень;

– модуль техногенного навантаження на водні об'єкти $M_{ВО}$ за показниками скидів СВ і ЗР

у їхньому складі. Цей показник не передбачає сумування, оскільки кількість ЗР у стічних водах є їхнім складником;

– модуль техногенного навантаження на геологічне середовище $M_{ГС}$ за показниками відходів, що утворено і що накопичено в регіоні. Під час утворення і, особливо, під час накопичення відходів виробництва і споживання неминуче відбувається забруднення ґрунтового покриву, і ґрунти розглядаються як складник геологічного середовища. Цей показник також може передбачати суму двох значень.

Виклад основного матеріалу. В Одеській області переважаючими джерелами забруднення атмосферного повітря є пересувні джерела. Обсяги викидів від цих джерел за останні 10 років постійно зростають. Проте і вплив стаціонарних джерел є досить суттєвим на формування рівня техногенного навантаження на повітряний басейн регіону.

Слід зазначити, що обсяги викидів від стаціонарних джерел в останні роки зменшуються. Це є наслідком загальної кризової економічної ситуації у країні, яка призводить до зменшення кількості промислових підприємств. Аналіз Екологічних паспортів регіону показав, що щороку змінювалась загальна кількість підприємств, які здійснювали викиди ЗР в атмосферне повітря (рис. 1). Слід зазначити, що за загальної тенденції до збільшення кількості стаціонарних джерел викидів в області обсяги викидів з 2007 р. постійно зменшувались.

Нині найбільші обсяги викидів ЗР здійснюють підприємства, що виробляють і розподіляють електроенергію, газ і воду (54%), наземний і трубопровідний транспорт (8%), підприємства галузі виробництва харчових продуктів (8%).

Було виконано розрахунок показника $M_{ПБ}$ для Одеської області за даними Екологічних паспортів регіону про обсяги викидів ЗР за багаторічний період. Зазначимо, що з 2016 р. в офіційних статистичних даних України відсутня інформація про обсяги викидів ЗР від пересувних джерел забруднення. Враховуючи те, що у 2011–2015 рр. викиди від пересувних джерел становили в середньому 82% від загального обсягу викидів по області, приймемо ці дані як розрахункові надалі у 2016–2018 рр. Результати розрахунку наведено на рис. 2. Аналіз наведеного рисунку показує, що у 2003–2008 рр. спостерігалось збільшення рівня техногенного навантаження, а у 2010–2014 рр. – зменшення за рахунок змін насамперед обсягів викидів від пересувних джерел. Загалом за період дослідження навантаження на повітряний басейн регіону збільшилося більше, ніж на 30%.

Також було проаналізовано рівень техногенного навантаження від стаціонарних джерел на окремі міста Одеської області. Порівняльний аналіз обсягів викидів ЗР і показника $M_{ПБ}$ наведено на рис. 3. Видно, що максимальні обсяги викидів ЗР від стаціонарних



Рис. 1. Динаміка зміни кількості стаціонарних джерел і обсягів викидів ЗР в Одеській області [11–15]

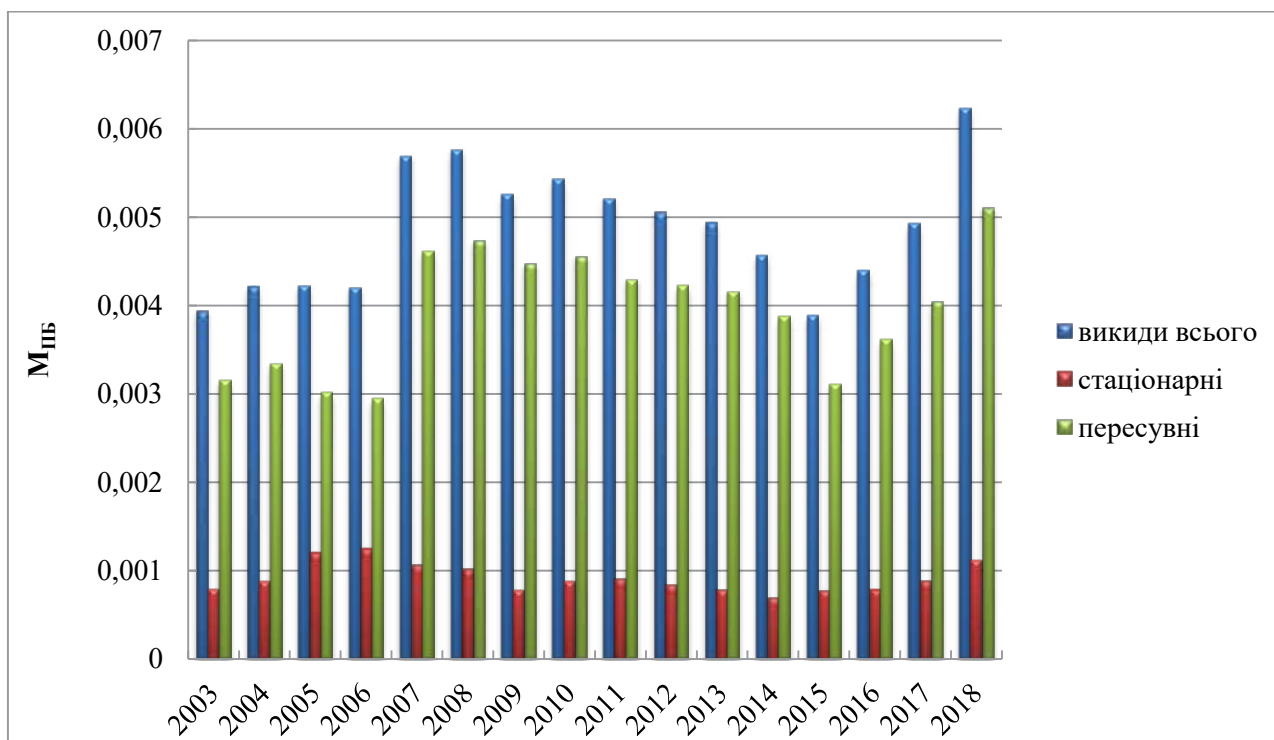
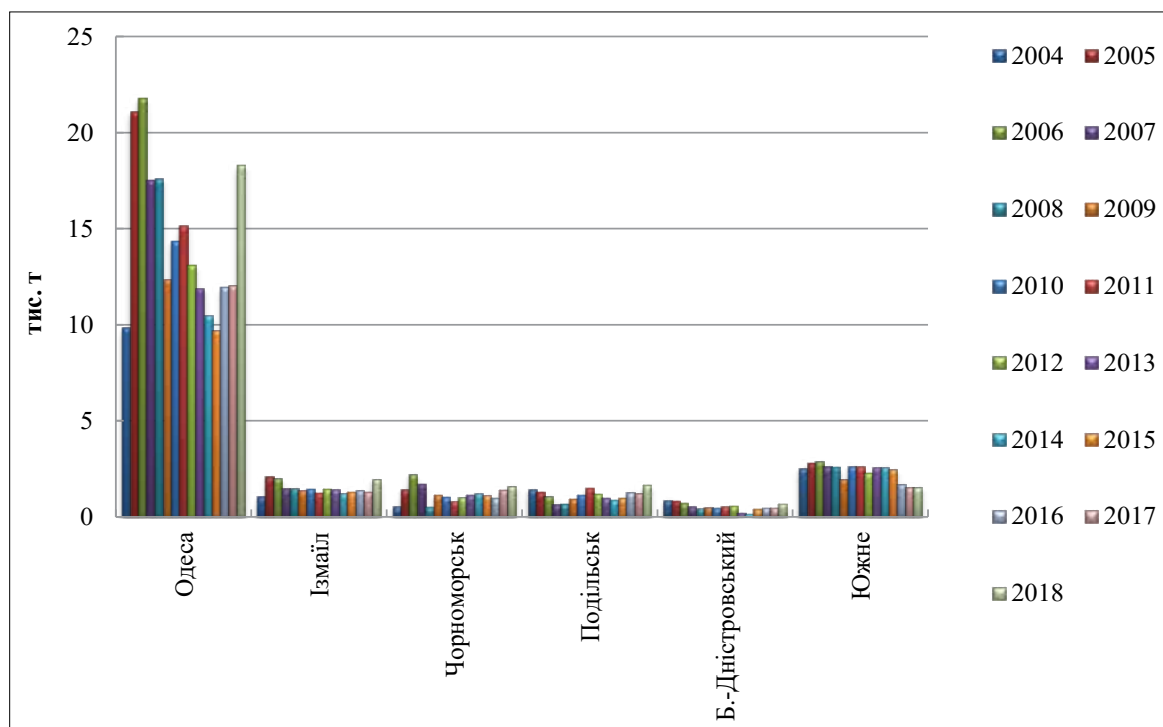


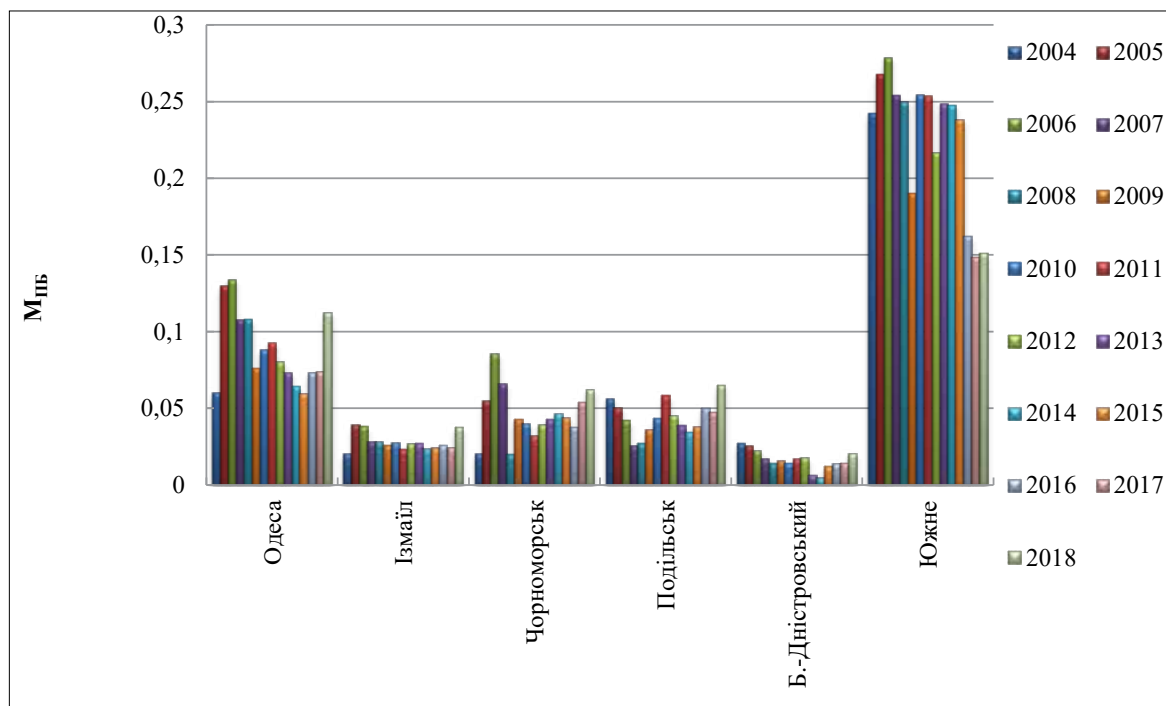
Рис. 2. Динаміка зміни показника $M_{ГПБ}$ для Одеської області у 2003–2018 рр.

джерел спостерігаються у м. Одеса. Вони на порядок перевищують відповідні значення в інших містах Одеської області. Мінімальні значення спостерігаються у м. Білгород-Дністровський. Що стосується показника $M_{ГПБ}$, то, на відміну від даних про викиди ЗР, максимальний рівень навантаження спостерігається у м. Южне. Це є цілком закономірним, оскільки

викиди ЗР у м. Южне в 4 рази менші, ніж у м. Одеса, проте його площа в 16 разів менша, що зумовлює високий рівень навантаження. Також за майже однакових значень викидів у мм. Ізмаїл, Чорноморськ і Подільськ значення показника $M_{ГПБ}$ у м. Ізмаїл дещо нижче, оскільки його площа майже вдвічі більша, ніж площа мм. Чорноморськ і Подільськ.



а)



б)

Рис. 3. Динаміка зміни обсягів викидів (а) і показника МПБ (б) від стаціонарних джерел в окремих містах Одеської області у 2004–2018 рр.

На території Одеської області станом на 2018 р. налічується 132 підприємства, які скидають стічні води в поверхневі водойми, зокрема 24 господарства, які здійснюють скид у канали зрошувальних систем. Основними забруднювачами є такі: ТОВ «Інфокс» філія «Інфоксводоканал», КП «Чорноморськводоканал»,

КП «Водоканал» м. Арциз, КВЕП «Подільськводоканал», КП «Білгород-Дністровськводоканал», ПАТ «Целюлозно-картонний комбінат», МКП «Теплодарводоканал» та інші [16].

Було проаналізовано динаміку водозабору, водоспоживання і скидів зворотних вод по Одеській області за багаторічний період. Наприклад, найбільші

обсяги водозабору здійснюються з поверхневих джерел. Їхні обсяги становлять майже 95 % від загального водозабору по області. З 2104 р. спостерігалось збільшення показників.

За використанням води на різні види потреб (рис. 4) на першому місці до 2012 р. було використання на господарсько-питні потреби, з 2013 р. перше місце посідає використання води на зрошення. Мінімальні показники водокористування спостерігаються в сільськогосподарській галузі.

Скид зворотних вод (рис. 5) здійснюється переважно в поверхневій водні об'єкти. У 2004–2012 р. води, що скидались, переважно характеризувались як забруднені (у різні роки від 40 до 75 % від загального обсягу скидів стічних вод (СВ)). З 2013 р. обсяг забруднених СВ суттєво зменшувався, і сьогодні близько 40–50 % зворотних вод, що скидаються, характеризуються як «нормативно очищені». У 2011–2016 рр. спостерігалось постійне зменшення обсягів скидів зворотних вод, у 2017–2018 рр. – різке збільшення, що може бути пов'язано із збільшенням показників водозабору в регіоні.

За видами економічної діяльності найбільший відсоток використання вод спостерігається в житлово-комунальному секторі.

За даними Екологічних паспортів регіону було розраховано показник M_{BO} за показниками скидів СВ і ЗР у їхньому складі (рис. 6). Отримані результати показують, що з 2009 по 2016 р. спостерігалось зменшення загального навантаження на поверхневій водні об'єкти регіону через зменшення скидів СВ. У 2017–2018 рр. цей показник суттєво збільшився, що, як зазначено вище, пов'язано з тим, що збільшилися обсяги скидів. При цьому за показниками скидів ЗР значення показника M_{BO} збільшувалось

до 2013 р., коли був зазначений характерний максимум. Тобто за загального зменшення обсягів скидів СВ кількість ЗР у їхньому складі збільшувалася. У 2014–2016 рр. спостерігається зменшення показника M_{BO} за обсягами скидів ЗР, що свідчить про зменшення їх у складі СВ і зменшення загального обсягу забруднення СВ.

За даними [16] в Одеській області створені та експлуатуються потужності з утилізації та знешкодження небезпечних відходів виробництва. Але наявних потужностей не досить. Система збору небезпечних відходів не розвинена в сільській місцевості. Також серйозною проблемою залишається проблема зберігання та безпечного поводження з пестицидами, які залишилися на території області з радянських часів.

Також на території Одеської області щорічно утворюється близько 6,1 млн м³ твердих побутових відходів (далі – ТПВ). Більша частина звалищ полігонів ТПВ вичерпала свій потенціал. Майже всі сміттєзвалища не відповідають нормам екологічної безпеки та потребують реконструкції.

Нами за даними Регіональних доповідей, Екологічних паспортів регіону, а також матеріалами Державної служби статистики України [19] було проаналізовано інформацію про обсяги утворення, а також накопичення відходів в Одеській області.

На рис. 7 наведено динаміку утворення і накопичення відходів у регіоні. Як видно, максимум утворення спостерігався у 2012 р. Проте загалом можна спостерігати тенденцію до зменшення кількості утворених відходів. Також майже 99 % відходів, що утворюються, становлять відходи IV класу небезпеки. Інформація щодо відходів, що накопичено на території Одеської області, була наявна з 2010 по 2015 р. У 2014–2015 рр. кількість утво-

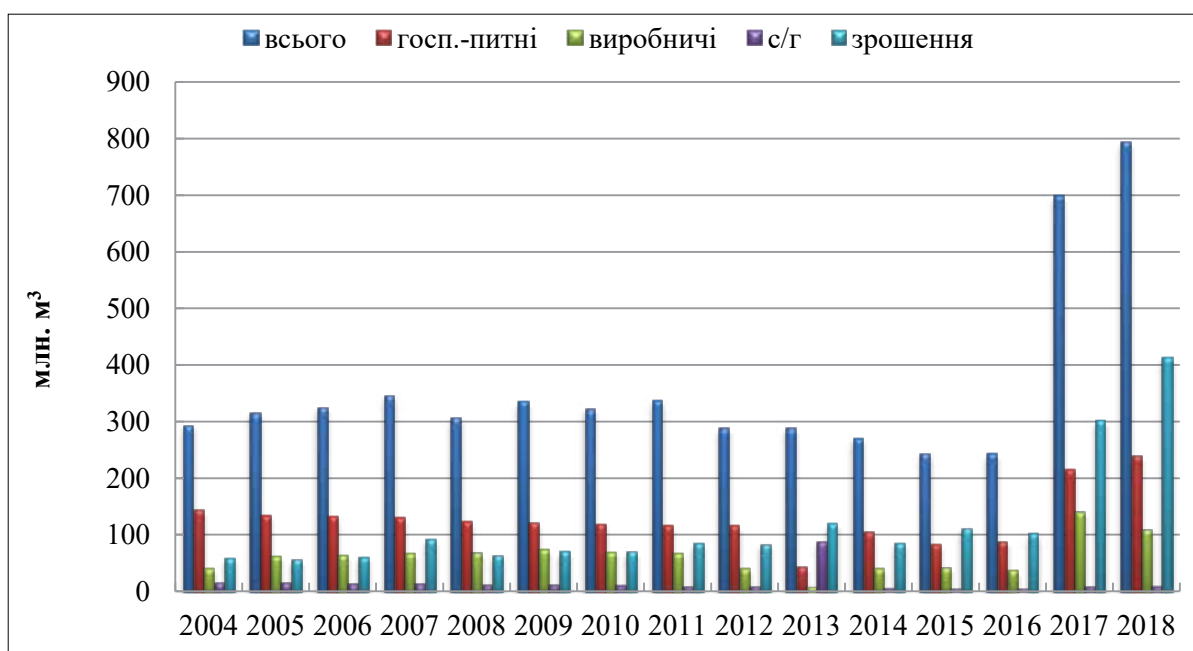


Рис. 4. Динаміка водокористування в Одеській області у 2004–2018 рр. [12; 13; 16–18]

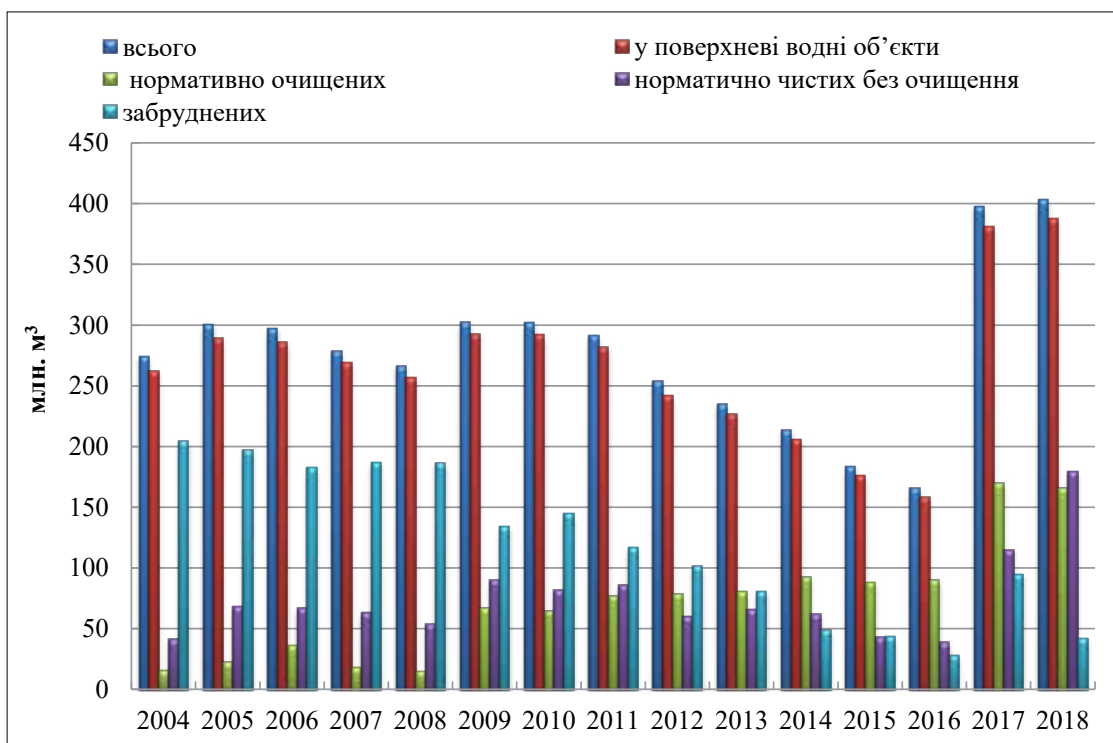
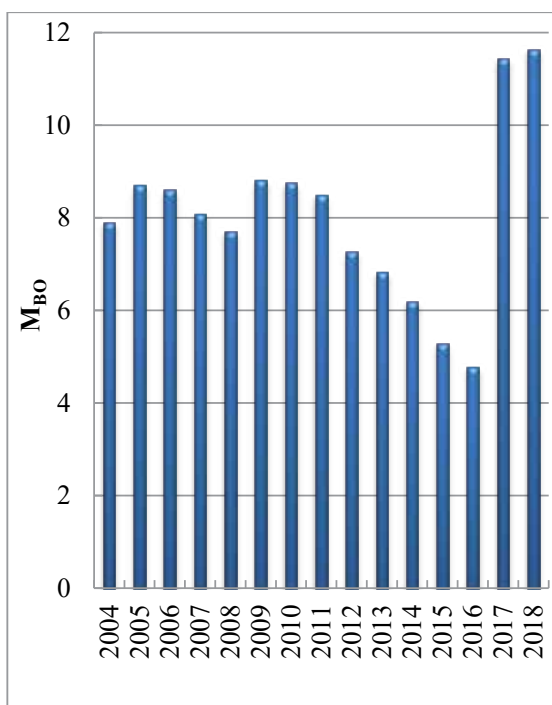
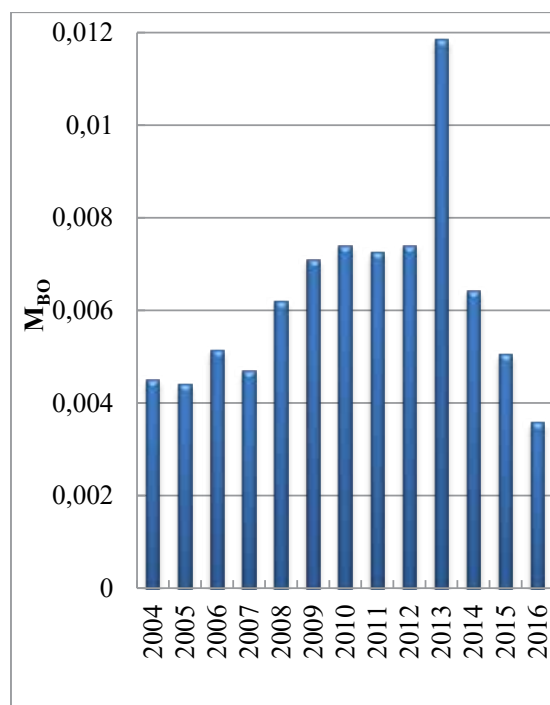


Рис. 5. Динаміка скиду зворотних вод в Одеській області у 2004–2018 рр. [12; 13; 16–18]



за обсягами скидів СВ



за обсягами скидів ЗР

Рис. 6. Значення показника $M_{во}$ Одеської області у 2004–2018 рр.

рених відходів становила не більше 10% від накопичених. Проте кількість накопичених відходів щороку може зростати або залишатися незмінною. У 2014–2015 рр. ця величина майже не змінювалась. Тому прийємо надалі як орієнтовне значення кількості накопичених відходів у 2016–2018 рр. дані 2015 р.,

а саме – 9 759,333 тис. т. Їх кількість на порядок перевищує дані про утворення відходів. Загалом спостерігається тенденція щодо збільшення на території Одеської області кількості накопичених відходів.

Результати розрахунку показника $M_{ГС}$ наведено на рис. 8. Аналіз показує, що значення показника

$M_{ГС}$ за кількістю накопичених відходів суттєво перевищує відповідне за кількістю утворених відходів. З 2011 р. зазначено суттєве збільшення техногенного навантаження на геологічне середовище за загальною кількістю відходів у регіоні.

Отримані результати розрахунків показників на окремі складники довідля дають змогу виконати комплексну оцінку техногенного навантаження. У табл. 1 наведено обсяги викидів, скидів ЗР та утворення відходів із

2007 по 2018 рр. (дані за цей період є повними за всіма природними середовищами), а також розраховані значення $M_{ГС}$ на складники довідля області. З таблиці видно, що найбільше навантаження Одеська область зазнає за показниками скидів СВ і утворення відходів. За класифікацією, наведеною авторами роботи [20].

Одеська область входить до переліку техногенно-напружених регіонів України з кількістю викидів (скидів, утворення відходів) 100–1 000 тис. т/км².

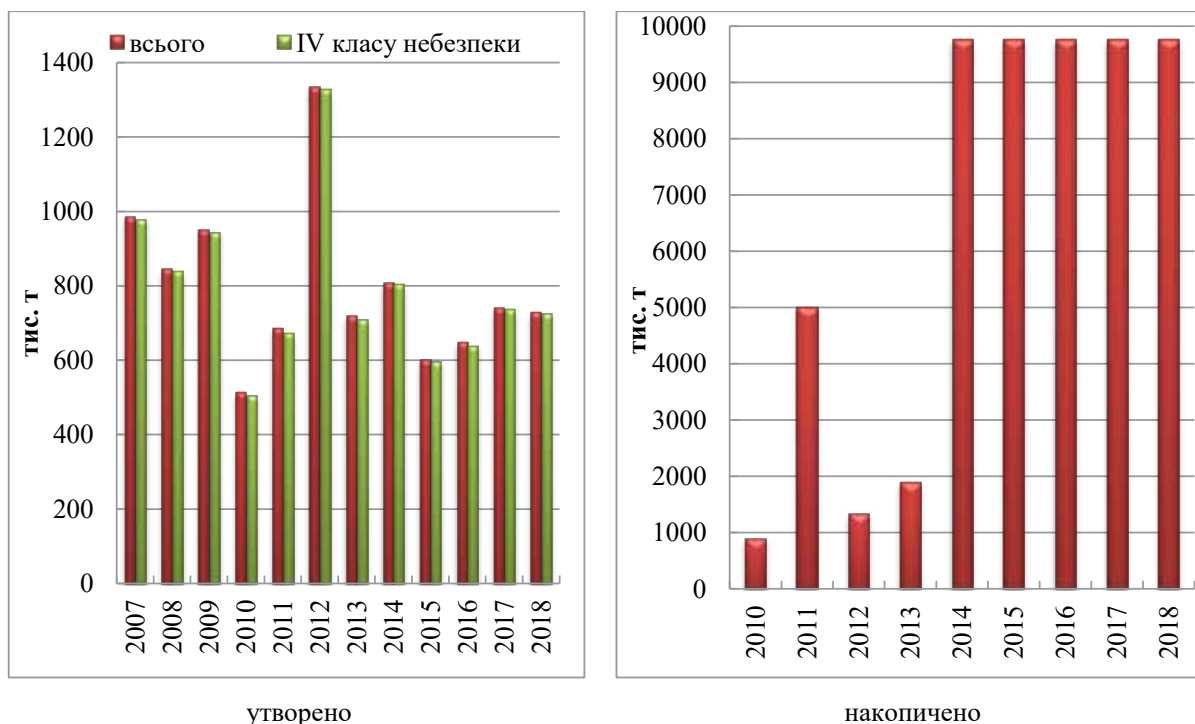


Рис. 7. Динаміка утворення і накопичення відходів в Одеській області у 2007–2018 рр.

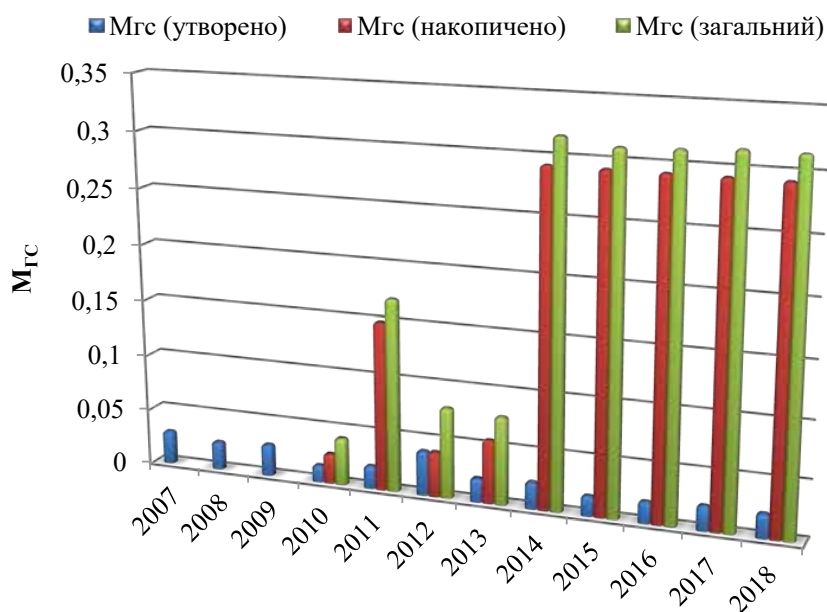


Рис. 8. Значення показника $M_{ГС}$ Одеської області у 2007–2018 рр.

Таблиця 1

Обсяги викидів, скидів ЗР та утворення відходів (тис. т) і значення МТН в Одеській області у 2007–2018 рр.

Рік	Викиди ЗР	Скиди СВ	Утворення і накопичення* відходів	Загальна кількість	МТН
2007	189,6	269500	987,682	270677	8,126
2008	192,2	257000	847,215	258039	7,7466
2009	175,1	293600	951,661	294727	8,848
2010	181,171	292200	1420,996	293802	8,8202
2011	173,804	282400	5684,236	288258	8,6538
2012	168,947	242500	2690,622	245360	7,3659
2013	164,796	227600	2612,331	230377	6,9162
2014	152,306	206400	10481,891	217034	6,5156
2015	129,674	176400	10361,933	186892	5,6107
2016	146,517**	159000	10406,833**	169407	5,0858
2017	164,33**	381500	10501,133**	392001	11,768
2018	207,84**	388000	10487,833**	398488	11,963

* накопичення з 2010 р.; ** з урахуванням інтерпольованих даних

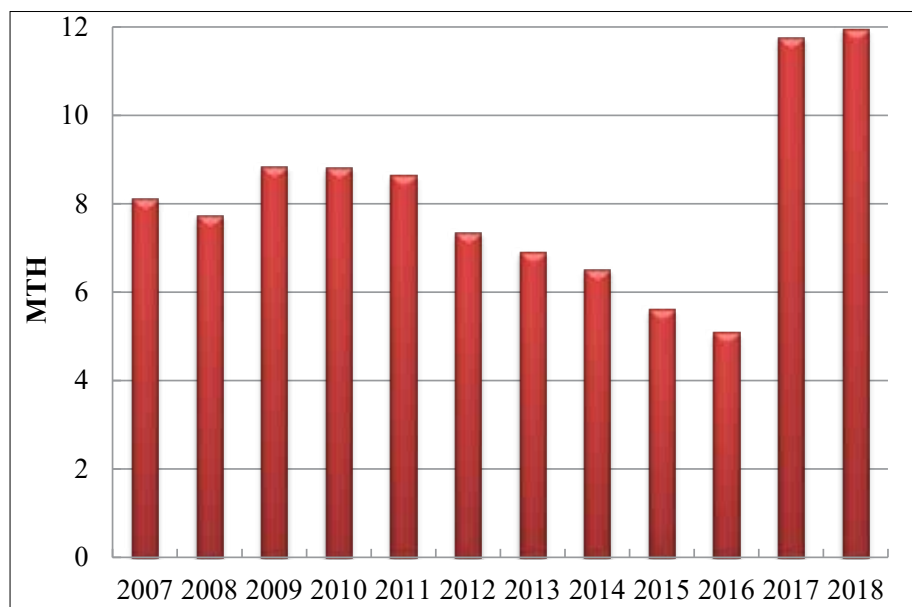


Рис. 9. Значення МТН на довкілля Одеської області у 2007–2018 рр.

На рис. 9 наведено графічне відображення динаміки зміни МТН для Одеської області у 2007–2018 рр. З рисунку видно, що з 2011 по 2016 р. спостерігалось зменшення рівня техногенного навантаження на довкілля Одеської області. У 2017–2018 рр. значення показника МТН суттєво збільшилось завдяки насамперед збільшенню обсягів скидів СВ у поверхневі водні об'єкти. Попри збільшення навантаження на геологічне середовище з 2010 р., у формуванні загального рівня на довкілля регіону цей показник не є головним фактором.

Головні висновки. У роботі виконано оцінку техногенного навантаження на складники довкілля Одеської області за багаторічний період. Отримані результати досліджень дають змогу зробити такі висновки:

1. Переважаючими джерелами забруднення атмосферного повітря є пересувні джерела. У 2003–2008 рр. спостерігалось збільшення рівня техногенного навантаження на повітряний басейн, у 2010–2014 рр. – зменшення завдяки змінам обсягів викидів від пересувних джерел. Загалом навантаження на повітряний басейн регіону збільшилось більш ніж на 30%. По окремих містах Одеської області максимальний рівень навантаження від стаціонарних джерел спостерігається у м. Южне.

2. СВ переважно характеризувались як забруднені. За видами економічної діяльності найбільший відсоток використання вод спостерігається в житлово-комунальному секторі. З 2009 по 2016 р. спостерігалось зменшення загального навантаження на

поверхневі водні об'єкти регіону через зменшення скидів СВ. У 2017–2018 рр. цей показник суттєво збільшився, що пов'язано з тим, що збільшилися обсяги скидів. За показниками скидів ЗР за загального зменшення обсягів скидів СВ кількість ЗР у їхньому складі збільшувалася.

3. Зазначається тенденція до зменшення кількості утворених відходів. Кількість накопичених відходів на порядок перевищує дані про утворення. З 2011 р. спостерігається суттєве збільшення техно-

генного навантаження на геологічне середовище за загальною кількістю відходів у регіоні.

4. Найбільше навантаження Одеська область зазнає за показниками скидів СВ і утворення відходів.

Перспективи використання результатів досліджень. Отримані результати є основою для розроблення регіональних природоохоронних програм, спрямованих на зменшення рівня антропогенного впливу на окремі природні середовища, а також порівняльної оцінки техногенного навантаження на регіони України.

Література

1. Стан і якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я : монографія / за ред. Сафранова Т.А., Чугай А.В. Харків : ФОП Панов А.М., 2017. 298 с.
2. Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> (дата звернення: 16.02.2020).
3. Чугай А.В., Гусєва К.Д., Кукуй Д.В. Забрудненість атмосферного повітря м. Одеса. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 1–2. С. 20–26.
4. Чугай А.В., Колісник А.В., Демяненко О.В., Романенко С.Е. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я. *Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Серія : Екологія*. 2015. Вип. 13. С. 91–97.
5. Чугай А.В. Стан та якість повітряного басейну Одеської промислово-міської агломерації. *Екологічна безпека*. 2019. Вип. 2 (28). С. 81–85. DOI: 10.30929/2073-5057.2019.2.81-85.
6. Деньга Ю.М., Мединец В.И. Гидрохимический режим и качество вод Придунайских озер. *Вісник ОНУ*. 2002. Т. 7. Вип. 2. С. 17–25.
7. Котова Т.В. Управління якістю вод Придунайських озер на прикладі озера Ялпуг – Кугурлуй. *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті*. 2014. № 2 (15). С. 37–42.
8. Балуєва О.В., Чинкуляк Н.М. Кластерний аналіз територій України за показниками антропогенних навантажень на навколишнє природне середовище. *Ефективна економіка*. 2013. № 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2574> (дата звернення: 14.12.2019).
9. Chugai A., Safranov T., Holik Yu. Analysis of the state of the air basin of industrial-urban agglomerations in the North-Western Black Sea. *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7. No. 4.8. P. 783–789.
10. Адаменко О.М., Рудько Г.І. Екологічна геологія. Київ : Манускрипт, 1998. 348 с.
11. Екологічний паспорт регіону. Одеська область. 2005 р. Одеса, 2006. 110 с.
12. Екологічний паспорт регіону. Одеська область. 2007 р. Одеса, 2008. 146 с.
13. Екологічний паспорт регіону. Одеська область. 2010 р. Одеса, 2011. 137 с.
14. Екологічний паспорт регіону. Одеська область. 2013 р. Одеса, 2004. 152 с.
15. Екологічний паспорт регіону. Одеська область. 2016 р. Одеса, 2017. 130 с.
16. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2018 році. Одеса, 2019. 241 с.
17. Екологічний паспорт регіону. Одеська область. 2006 р. Одеса, 2007. 142 с.
18. Екологічний паспорт регіону. Одеська область. 2015 р. Одеса, 2016. 163 с.
19. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 19.01.2020).
20. URL: <http://ecolog.at.ua> (дата звернення: 02.05.2017).

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

UDC 504.054:582.685.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.16>

PHYTOINDICATION RESEARCH IN THE SYSTEM OF ENVIRONMENTAL MONITORING

Glibovytska N., Mykhailiuk Yu.

National Technical University of Oil and Gas
st. Karpatska, 15, 76000, Ivano-Frankivsk
nataly.glibovytska@gmail.com, umiha23@gmail.com

The features of analytical and biological methods of environmental monitoring are analyzed. The resource consumption of using the physical and chemical methods of studying the abiotic environment contamination level and the expediency of using living organisms in environmental monitoring are evaluated. The use of biological methods in the environmental control system provides the possibility of the test material analyzing in both natural and laboratory conditions, which greatly expands the possibilities of practical environmental science. The most common and dangerous pollutants of anthropogenic origin that can be effectively metabolized by plant organisms are listed. The perspective of plant objects use as indicators of ecological state of the environment is considered. Advantages of plant organisms as effective indicators of environmental quality in comparison with other living systems are given. Indicators of plant vitality at different levels of the biosystem organization – from molecular to population and species level – are characterized. A comprehensive biomonitoring approach is proposed, which provides a systematic and comprehensive study of plant life processes, adaptive and destructive changes under the influence of adverse environmental factors. The cumulative features of plants are analyzed, three main groups of phyto objects are distinguished: batteries, eliminators and indicators. Possibilities of introducing indicator species for environmental quality assessment and remediant species for environmental quality improvement are described. The advantages of phytoindication comparing with other methods of environmental monitoring are presented. The most informative plant test parameters have been identified using a comprehensive approach to environmental quality assessment. The green areas of urban ecosystems creation, a competent combination of plants in different environmental conditions according to the level of environmental sustainability will effectively combat its contamination and prevent its anthropogenic transformation in the future. *Key words:* phytoindication, environment, test parameters, pollution, environmental monitoring, phytoremediation.

Фітоіндикаційні дослідження в системі екологічного моніторингу. Глібовицька Н.І., Михайлюк Ю.Д.

Проаналізовано особливості аналітичних та біологічних методів екологічного моніторингу стану довкілля. Оцінено ресурсозатратність фізико-хімічних методів дослідження рівня забруднення абіотичного середовища та доцільність використання живих організмів при проведенні екологічного моніторингу. Вживання біологічних методів у системі контролю за станом довкілля передбачає можливість здійснювати аналіз дослідного матеріалу як у природних, так і в лабораторних умовах, що значно розширює можливості практичної екологічної науки. Наведено найбільш поширені та небезпечні забруднювачі антропогенного походження, які можна ефективно метаболізувати рослинними організмами. Розглянуто перспективність використання рослинних об'єктів як індикаторів екологічного стану довкілля, наведено їх переваги порівняно з іншими живими системами. Охарактеризовано показники життєвості рослин на різних рівнях біосистемної організації – від молекулярного до популяційно-видового. Запропоновано комплексні рекомендації біомоніторингу, який передбачає системний підхід у вивченні процесів життєдіяльності рослинних об'єктів та дослідження адаптивних і деструктивних змін під впливом несприятливих чинників довкілля. Розглянуто кумулятивні особливості рослин, на основі чого виділено три основні групи фітооб'єктів: акумулятори, елімінатори та індикатори. Описано можливість впровадження видів-індикаторів для оцінки характеристик довкілля, а також ремедіантів для покращення якості навколишнього середовища. Наведено переваги фітоіндикації поряд з іншими методами екологічного моніторингу. Виділено найбільш інформативні тест-параметри рослин при використанні комплексного підходу до оцінки якості навколишнього середовища. При створенні зелених зон урбанізованих екосистем грамотне поєднання рослин з різними середовищевірними компонентами відповідно до рівня екологічної несприятливості довкілля дозволить ефективно боротися з його контамінацією та попередити його антропогенну трансформацію у майбутньому. *Ключові слова:* фітоіндикація, довкілля, тест-ознаки, забруднення, екологічний моніторинг, фіторемерація.

Formulation of the problem. Environmental anthropogenic transformation has necessitated the use of a comprehensive approach to the assessment of the ecological status of natural and urban ecosystems. Environmental monitoring involves two main groups of methods – biomonitoring and analytical, or physico-chemical. The first one involves the study of a particular territory ecosystems with the help of living organisms – insects, crustaceans, plants and microorganisms,

etc. Analytical methods are alternative and are used in the study of the quality of the abiotic environment – air, soil, water resources.

The quality analysis of inorganic samples is carried out under laboratory conditions using equipment and chemical reagents, which is resource-intensive. The main air pollutants include nitrogen, carbon and sulfur oxides, dust of inorganic origin, as well as hydrocarbons, which account for 90–98 % of the volume of all harmful

substances [1]. The dominant soil toxicants are heavy metals, the availability of which to plants increases with increasing the soil acidity [2]. Water resources are undergoing a major transformation in the nutritional chains, which is manifested in the death of aquatic organisms through pollution by petroleum products [3].

For the purpose of monitoring and forecasting the ecological situation in the environment, so-called species-bioindicators are used, which, by changing their vital parameters, reflect the state of their territory of existence. Biomonitoring studies can be carried out both in the natural environment and in the laboratory. In the first case, biological indication is carried out, in the second one – biological testing.

Relevance of research. Biomonitoring studies can be conducted at all levels of the biosystem organization from molecular to biogeocenotic. Plants are one of the most informative objects of study in the eco-monitoring system. They are easy to use, suitable for growing in natural and artificial conditions, fixed and most economically viable. Phytoindication today has the following priority areas of research – bryoidication, the objects of which are mosses, lichenindication – the objects of which are lichens, and the dendroindication – the objects of which are woody plants. Tree plantations are unique organisms in terms of bioindication as they have several advantages over other biological systems. In particular, the trees perform phytomeliorative function, a large area of photosynthetic organs allows woody plants to effectively absorb toxicants from the environment and to carry out an assimilation role.

Relation of copyright work with important scientific and practical tasks. The challenges facing modern environmental science include both the need to control the environmental changes caused by anthropogenic activity and the search for effective and cost-effective ways to overcome environmental pollution. In this regard, plants are not only the primary recipients of complex anthropogenic exposure, can be used as phytoindicators of the state of the environment, but also through unique metabolic processes detoxify toxicants and turn into bio-safe products. In this case, herbaceous and woody plants have a certain feature in the phytoindication and phytoremediation plan of their use. This is due to the structure of their vegetative sphere, features of reproduction and ontogeny, body size.

Analysis of recent research and publications. Trees and herbs are equally suitable for study at all levels of the biosystem hierarchy, but the population level of research is used mainly in natural biocenoses [4]. Woody plants that have a K-strategy, a long life cycle, accumulate a large above-ground mass, since they are not able to give full offspring in the urban conditions. This ensures the survival of the plants and enables them to act as the most effective air and water filters. That is why urban phytocenoses are created with the participation of trees and shrubs [5]. On the other hand, herbs have a short life cycle and direct

their energy resources to the formation of the generative sphere and the increase in the number of offspring. They can be used as indicators and remediants in both natural and artificial growth conditions [6].

Today special attention is paid to the study of the problem of environmental oil pollution and the prospects of plants as decomposers of oil products [7; 8]. There are some remarkable phytoremediation possibilities of some herbs and woody plants that metabolize oil toxicants and turn them into safe substances such as water and carbon dioxide [3; 9; 10].

Selection of previously unresolved parts of the general problem addressed by the article. Finding environmentally friendly, least costly, and most effective methods of combating environmental pollution is a pressing environmental concern. Plant organisms, due to their unique organization and vitality, are able to respond quickly to changes in the environmental state by the appearance of a number of processes aimed at neutralizing the relevant pollutants. Given the indicative or remedial capacity of a particular species, it is proposed to create green spaces according to the degree of contamination of certain territories.

Novelty. Thus, trees can be viewed from two positions – as promising bioindicators and as effective pollutant filters. In addition, it is possible to trace the dynamics of accumulation of pollutants by plants in space and time depending on their place of growth. Studies of plant vitality under the influence of stressors of different origin help to prevent the ecological crisis of a certain territory.

Outline of the main material. According to plants specificity to pollutants absorption, plants are divided into phyto-indicators, phyto-eliminators and phyto-accumulators. Phytoindicators are the most sensitive to environmental conditions changes, and phyto-accumulators are the most resistant. Eliminators occupy an intermediate position and are characterized by the fact that they selectively absorb toxicants from the environment. Some of the studied plant species are used as a remediants for the contaminated environment. These are the types of batteries that accumulate toxicants in large quantities without visible signs of impaired functioning. This is explained by the presence of powerful protective mechanisms of plant organisms against the negative effects of toxicants. In particular, metalothionein chelator proteins capture the metals absorbed by the plant and render them inaccessible to the plant. The ability of plants to absorb and detoxify the toxic components of petroleum is related to the specific metabolism of the remediant species. Such organisms, without sacrificing themselves, convert hydrocarbons to non-toxic compounds – water and carbon dioxide. Among the woody plants *Hippophae rhamnoides* L., *Juglans regia* L., *Salix* L. and *Betula* L. species have the valuable remedial potential [11; 12; 13; 14].

Phytoindication studies cover the processes of plants vitality that have the lowest manifestation

even at molecular level. Metabolic changes are the first invisible reactions of an organism to changing its existence conditions. Plants respond by adaptive or destructive changes depending on the exposure duration degree to the damaging factor. An example of an indication parameter used at the molecular level of the plant's biosystem hierarchy is the rate of biosynthetic processes and photosynthetic activity. Adaptive responses of some species testify to the broad individual potential and genetically driven resistance to adverse conditions and environmental plasticity. Protein synthesis is one of the major metabolic units because the proteins are enzymes that catalyze all biochemical reactions in the body. Suppression of protein synthesis is a classic destructive response of plants to a stress factor. The amino acid chains and protein molecules formation is a very energy-intensive process. In conditions of the organism's resources reduction, the processes of substances synthesis are suppressed and the processes of substances decay are intensified in order to conserve the energy. Under the conditions of environmental pollution, there is a decrease in the photosynthetic function of plants, a reduction of the green pigments concentration and an increase of the carotenoids content. This speeds up the aging of cells and the entire organism. It is also manifested in the gradual loss of plants phytomeliorative function. The processes of cell division are directly connected with protein synthesis. Exposure to environmental toxicants leads to the degradation of chlorophylls, the destruction of protein complexes, and the generation of free radicals. In particular, heavy metals replace metals in the enzymes active center, which blocks the activity of the latter [15; 16].

Enhanced synthesis of lipids and simple monosaccharides is adaptive response of plants to adverse environmental factors. The lipid cuticular layer thickening on the plants organs' surface creates additional protection against drying up and pollutants influx into the body. Increasing the concentration of monosaccharides in plant tissues under stress is an additional source of energy needed for survival. The adaptive reaction of plants to anthropogenic influence is the synthesis of protective substances – proline and abscisic acid. The activity of antioxidant enzymes – catalase, peroxidase, superoxide dismutase is also increased under unfavorable environmental conditions. The intensity of cell membranes' lipid peroxidation is another indicative parameter of the molecular level of organization [17].

The cellular level of plant life study suggests the presence of mitosis disorders and chromosomal mutations as a result of stressful influence. Damage of generative cells due to the action of negative factors is also a characteristic manifestation of destructive changes in the body. The integrity and normal functioning of cell organelles are regarded as indicative parameters for assessing the vitality of individuals in certain conditions of existence. It is known that under stressful conditions the generation of free radicals is more active, which

leads to an increase in the number of cellular structures damages and the membrane peroxidation process increase. At the tissue level of the biological systems organization the most promising in the indication plan are the following features – tissue thickness, xeromorphic index, respiration intensity [18].

At the organ level, the bio-indicative characteristics of a plant are quantitative and qualitative parameters of vegetative and generative organs. Most commonly used as test features are the area and linear features of the assimilation organs, the type and degree of necrosis, the asymmetry coefficient, the number and weight of individual vegetative and generative organs. The classic phytoindication feature is a decrease in the number of plant structures, inhibition of growth and development processes in order to reduce the contact area of the plant organism with the polluted environment [19].

Plant morphological responses are visible changes that occur as a result of invisible biochemical metabolic reactions. Leaf necrosis is a specific manifestation of the environmental factors influence on the body. In particular, marginal necrosis of plants leaves indicate the accumulation of heavy metal salts at the edges of the leaf, and interspatial and spotty leaf necrosis are the result of acid rain. Fish skeleton necrosis type occurs due to the entry of toxic compounds through the root system. The organisms level of the biosystem hierarchy involves the study of phenological phases – periods of individual plant development, as well as the presence of diseases and pests [20].

The vitality of each individual is determined by comparing it with the corresponding species representatives living in the background conditions. Based on these observations at the organismal level, the entire populations vitality of a particular plant species can be estimated. At the population level the type of the populations life strategy, its viability, dynamic and static parameters can be determined. As phyto-indicative parameters the age, number, density and species distribution can be investigated.

The main conclusions and perspectives of the research results use. The use of a comprehensive phytoindication approach to environmental quality assessment allows not only to determine the level of ecological hazard of a particular area, but also to identify perspective species in bioindication and bioremediation. Phyto-indicative research is a promising, informative and effective method of environmental monitoring. The study of life processes at different levels of plant organization gives a complete picture of their adaptive capacity to the existence conditions. Thus it is possible to introduce into the landscaping of territories the different plants according to their phytomeliorative characteristics. This will simultaneously fix the smallest changes in the ecological state of the environment with the help of indicator plants and restore the optimal functioning of ecosystems disturbed by anthropogenic activity.

References

1. Courchesne F., Turmel M., Cloutier-Hurteau B., Constantineau S., Munro L., Labrecque M. Phytoextraction of soil trace elements by willow during a phytoremediation trial in Southern Québec, Canada. *International Journal of Phytoremediation*. 2017. No. 19 (6). P. 545–554. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1267700>.
2. Cristaldi A., Conti G., Eun Heajho E., Zuccarello P., Grasso A., Copat C., Ferrante M. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs : a brief review. *Environmental Technology & Innovation*. 2017. No. 8. P. 309–326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>.
3. Shevchyk L., Romanyuk O. Analysis of biological methods of recovery of oil-contaminated soils. *Scientific Journal ScienceRise : Biological Science*. 2017. No. 1 (4). P. 31–39.
4. Panchenko L., Muratova A., Turkovskaya O. Comparison of the phytoremediation potentials of *Medicago falcata* L. and *Medicago sativa* L. in aged oil-sludge-contaminated soil. *Environ Sci Pollut Res*. 2017. No. 24 (3). P. 3117–3130. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8025-y>.
5. Li J., Zhang D., Zhou P., Liu Q. Assessment of Heavy Metal Pollution in Soil and Its Bioaccumulation by Dominant Plants in a Lead-Zinc Mining Area, Nanjing. *Huan Jing Ke Xue*. 2018. No. 39 (8). P. 3845–3853. DOI: 10.13227/j.hj.kx.201712086.
6. Marchand C., Hogland W., Kaczala F., Jani Y., Marchand L., Augustsson A., Hijri M. Effect of *Medicago sativa* L. and compost on organic and inorganic pollutant removal from a mixed contaminated soil and risk assessment using ecotoxicological tests. *International Journal of Phytoremediation*. 2016. No. 18 (11). P. 1136–1147. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1186594>.
7. Jahantab E., Jafari M., Motasharezadeh B., Ali T. Remediation of Petroleum-Contaminated Soils using *Stipagrostis plumosa*, *Calotropis procera* L., and *Medicago sativa* under Different Organic Amendment Treatments. 2018. No. 6 (2). P. 101–109.
8. Kaur N., Erickson T., Ball A., Ryan M. A review of germination and early growth as a proxy for plant fitness under petrogenic contamination : knowledge gaps and recommendations. *Science of The Total Environment*. 2017. No. 603–604. P. 728–744. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.179>.
9. Tran T., Mayzlish E., Eshel A., Winters G. Germination, physiological and biochemical responses of acacia seedlings (*Acacia raddiana* and *Acacia tortilis*) to petroleum contaminated soils. *Environmental Pollution*. 2018. No. 234. P. 642–655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.067>.
10. Yergeau E., Tremblay J., Joly S., Labrecque J., Maynard C., Pitre F., St-Arnaud J., Greer C. Soil contamination alters the willow root and rhizosphere metatranscriptome and the root–rhizosphere interactome. *The ISME Journal* volume. 2018. No. 12. P. 869–884.
11. Janssen J., Weyens N., Croe S., Beckers B., Meirens L., Van Peteghem P., Carlee R., Vangronsveld J. Phytoremediation of Metal Contaminated Soil Using Willow : Exploiting Plant-Associated Bacteria to Improve Biomass Production and Metal Uptake. *International Journal of Phytoremediation*. 2015. No. 17 (11), P. 1123–1136.
12. Lebrun M., Macri C., Miard F., Hattab-Hambli N., Motelica-Hein M., Domenico Morabito, Bourgerie S. Effect of biochar amendments on As and Pb mobility and phytoavailability in contaminated mine technosols phytoremediated by *Salix*. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. No. 182 (B). P. 149–156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.016>.
13. Pavlović D., Pavlović M., Marković M., Karadžić B., Kostić O., Jarić S., Mitrović M., Gržetić I., Pavlović P. Possibilities of assessing trace metal pollution using *Betula pendula* Roth. leaf and bark – Experience in Serbia. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2017. No. 82 (6). P. 272–276. DOI: <https://doi.org/10.2298/JSC170113024P>.
14. Sylvaina B., Mikael M., Florie M., Emmanuel J., Marilyne S., Sylvain B., Domenico M. Phytostabilization of As, Sb and Pb by two willow species (*S. viminalis* and *S. purpurea*) on former mine technosols. *CATENA*. 2016. No. 136. P. 44–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.008>.
15. Steindor K.A., Franiel I.J., Bierza W.M., Pawlak B., Palowski B.F. Assessment of heavy metal pollution in surface soils and plant material in the post-industrial city of Katowice, Poland, 2016. No. 51 (5). P. 371–379. DOI: 10.1080/10934529.2015.1120509.
16. Tózsér D., Magura T., Simon E. Heavy metal uptake by plant parts of willow species : a meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*. 2017. No. 336. P. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.03.068>.
17. Kuzmink E., Roberta Meschini R., Terzoli S., Pavani L., Silvestri C., Choury Z., Scarascia-Mugnozza G. Isolation of Mesophyll Protoplasts from Mediterranean Woody Plants for the Study of DNA Integrity under Abiotic Stress. *Front Plant Sci*. 2016. No. 7. P. 11–68. DOI: 10.3389/fpls.2016.01168.
18. Birke M., Rauch U., Hofmann F. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration*. 2018. No. 187. P. 97–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007>.
19. Alves-Silva E., Santos J.C., Cornelissen T.G. How many leaves are enough? The influence of sample size on estimates of plant developmental instability and leaf asymmetry. *Ecological Indicators*. 2018. No. 89. P. 912–924. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.060>.
20. Shadrina E.G., Vol'pert Ya.L. Experience of applying plant and animal fluctuating asymmetry in assessment of environmental quality in terrestrial ecosystems: Results of 20-year studies of wildlife and anthropogenically transformed territories. *Russian Journal of Developmental Biology*. 2018. No. 49 (1). P. 23–35.

ІННОВІНГ-ІНСТРУМЕНТАРІЙ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ-ПРОСТОРУ

Шевченко Р.Ю.

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

Довкілля-простір – це нова уніфікована дефініція сучасної реальності існування цивілізації в системі «суспільство-природа». Геософічна парадигма довкілля-простору ґрунтується на визначенні її континуальності та одночасної кінченості або реальної ойкумени сприйняття геопростору Землі як живої істоти. Моніторинг довкілля-простору є необхідним процесом дослідження швидкоплинності змін та трансформації геосфер щодо геонегативного чи геовітального впливу на подальший розвиток людства. Досліджено функціонування довкілля-простору, особливості його метризації за інструментарієм визначення його параметрів. Визначені краудосорсингові геотехнології як основні при автономному моніторингу особливостей навколишнього природного середовища, запроваджені Android-додатки, точність яких не поступається технічним показникам сучасних геодезичних приладів. Важливим технологічним напрямком в екологічному моніторингу довкілля-простору є апробація гібридних інструментаріїв високоточного визначення координат джерел забруднення. Нами досліджені і визначені за основні SMART-системи геокоординування: Geodezist, GPSStatusPro, AreaMeasure. Зручність відповідного софту підтверджений адаптивністю вихідних звітних файлів, які можна інтегрувати до всіх основних пакетів геоінформаційних систем та відкритих картографічних ресурсів Інтернету – геопорталів. Окрім того, розроблений інновіт-інструментарій ґрунтується на роботі також аналогових систем забезпечення польових (полігонних) моніторингових рекогносрувань. В саме, це системи орієнтування на місцевості, прийоми, способи та засоби маршрутного дешифрування матеріалів аерокосмічної зйомки під час реалізації програм моніторингу довкілля-простору. Представлена авторська світлина об'єкту інфраструктури еколого-природоохоронних обсервацій – ландшафтів. Це пункт роботизованої тахеометрії у парку Слави м. Києва. Це один із інновіт-ексклюзивів ситсем інструментарного дистанційного моніторингу довкілля-простору. Розроблена структурно-параметрична схема (алгоритм) процедури застосування інновіт-інструментарію візуалізації цифрової реальності довкілля-простору. *Ключові слова:* довкілля-простір, екологічний моніторинг, геософічна парадигма, геоматика, картографічна модель, інтерактивна карта, ГІС та ДЗЗ.

Innovating-tools for monitoring of Environment-Space. Shevchenko R.

Environment-Space is a new unified definition of the modern reality of the existence of civilization in the system of “society-nature”. The geophysical paradigm of the Environment-Space is based on the determination of its continuity and simultaneous finiteness or real oikumen perception of the Geospace of the Earth as a living being. Environmental-Space monitoring is a necessary process for investigating the rapidity of changes and the transformation of Geospheres with respect to geo-negative or geovital influence on the further development of mankind. The functioning of the Environment-Space, peculiarities of its metrization by the instrumentation of determining its parameters are investigated. Crowdsourcing geotechnologies have been identified as essential for autonomous monitoring of environmental features, and Android-applications have been introduced, the accuracy of which is not inferior to the technical characteristics of modern geodetic instruments. An important technological direction in ecological monitoring of the environment-space is the approbation of hybrid tools for high-precision determination of the coordinates of pollution sources. We researched and defined the main SMART-systems of geocoordination: Geodezist, GPSStatusPro, AreaMeasure. The convenience of the corresponding software is confirmed by the adaptability of the source reporting files, which can be integrated into all major packages of geographic information systems and open cartographic resources of the Internet – geoportals. In addition, the developed innovation tools are based on the work of analog systems for field (landfill) monitoring reconnaissance. Namely, these are terrain orientation systems, techniques, methods and means of route decoding of aerospace survey materials during the implementation of environmental-space monitoring programs. The author's photo of the object of infrastructure of ecological and nature protection observations – landmarks is presented. This is a robotic tacheometry point in the Park of Glory in Kyiv. This is one of the innovating exclusives for instrumental remote environmental-space monitoring systems. The structural-parametric scheme (algorithm) of the procedure of application of innovation-tools of visualization of digital reality of environment-space is developed. *Key words:* Environment-Space, environmental monitoring, Geosphical Paradigm, Geomatics, cartographic model, interactive map, GIS and Remote Sensing.

Постановка проблеми. У вивченні проблем екологічної безпеки, реалізації програм охорони навколишнього природного середовища та проведення екологічного моніторингу основними матеріалами візуалізації та інтерпретації необхідних даних є геоінформаційні моделі, такі як тематичні цифрові картографічні зображення проблемного простору-середовища. В Україні відсутня монополія на топографо-геодезичну та карто-

графічну діяльність у галузі екологічного моніторингу довкілля. У зв'язку із цим кожна людина геоінжинірингової спеціальності або володіюча ГІС-технологіями може створювати геопросторові моделі на замовлення державних, комерційних структур або за матеріалами власних пошукових досліджень.

Актуальність дослідження. Для забезпечення якісного ГІС-моделювання пропонується використання

інновінг-інструментарію високоточного геодезичного позиціонування, картографічної та фотограмметричної геоінформаційної візуалізації простору-довкілля.

Для цього необхідно придбання найбільш поширених на виробництві на сьогодні ГІС-пакетів: ArcGIS, програмні продукти ESRI із фотограмметричної, геодезичної обробки та геоінформаційного картографування. Для науковця-дослідника або підприємця можна застосовувати краудсорсингові картографічні та геоінформаційні ресурси координування та проектування ГІС-моделей, які не поступаються конкурентоздатністю на ринку відповідних послуг. Всеохоплююча гегемонія продуктів компанії ArcGIS, інсталяція та експлуатація із перманентним оновленням баз даних та софту на усіх рівнях наукового, навчального та виробничого циклів робіт із ГІС-картографування довкілля, нами вмотивовано обґрунтовується вузькокорпоративною метою – отримання надприбутків.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наукове дослідження виконується в рамках науково-дослідної роботи «Проект створення комплексного статистичного атласу м. Києва з оцінки впливу на довкілля:

районний та топонімічний зріз», одним із пріоритетним напрямком є запровадження інноваційних систем та технічних засобів картографування міських просторів відкритого та закритого типів в системі вивчення дефініції «довкілля-простір».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління такі методики використовуються в процесі викладання нормативних та вибіркового навчальних дисциплін для студентів магістратури спеціальності 101 – «Екологія»: «Геоінформаційні системи в екології», «Моделювання екологічних процесів», а також для слухачів курсів підвищення кваліфікації та перепідготовки. На сьогодні аналогічний Інновінг-інструментарій неодноразово застосовувався при реалізації ряду науково-дослідних робіт [3–5]. До такого плану можна віднести наукові праці працівників Академії: це навчальний посібник «Дистанційні методи моніторингу довкілля» [1] та «Моніторинг навколишнього середовища засобами ГІС» [2]. Наукові статті з проблем геоінформаційного картографування довкілля публікуються у фахових журналах «Геоматика» та «Геодезія, картографія та аерофотознімання».

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. На сучасному етапі проведення обсерваційного екологічного моніторингу ще не висвітлені питання організації картографо-геодезичної діяльності для прикладних задач екологічного моніторингу, освітньо-екологічної діяльності, запровадження даних дистанційного зондування Землі в зеленому (екологічному) туризмі, складання картографічних моделей загального користування.

Новизна. Наукове обґрунтування краудсорсингових картографічних пакетів та програм Android-забезпечення проведення польових обсерваційних рекогносциувальних експедицій у просторі-довкіллі є альтернативою класичним сучасним ГІС-пакетам в реалізації програм інших напрямів досліджень – педагогічних, освітньо-екологічних, природоохоронних та ресурсозберігаючих.

Методологічне або загальнонаукове значення. Вперше запроваджується термінологічна наукова дефініція «довкілля-простір», її геоінформаційна парадигма та технологія цифрової реальності, яка апробована в картографічному геоінформаційному моделюванні та прогнозуванні стану навколишнього середовища.

Викладення основного матеріалу. Дігіталізацією довкілля-простору як основної технології інтерпретації цифрової реальності навколишнього середовища є цифрові геодезичні прилади. Це сканери



Рис. 1. Статичний пункт роботизованої тахеометрії «Парк Слави», м. Київ

та роботизовані тахеометри. На рис. 1 представлений геодезичний обсерваційний ландшафт.

Дефініція «довкілля-простір» визначається як сукупність наземних, підземних, плавучих, повітряних, навколосемних та космічних сегментів живої та неживої природи для інструментарного визначення реального світу. Оптичний сегмент максимально обмежений роздільною здатністю та впливу плинних метеорологічних умов, хоча інфра- та ультра- технології також залежать від радіоелектромагнітних факторів або інших фізичних полів реальної дійсності просторових особливостей місцевості дослідження.

Геоматична парадигма – це сукупність фундаментальних наукових методологій, які акумулюють науки про Землю для формулювання концептуальних основ теорії екологічної безпеки мультимірного простору, що визначають його плинні параметри під дією космічних (космогонічних), земних та глобальних антропогенних факторів. Дію цих факторів вивчає *екологічна геоматика*, яка поєднує технічні, фізико-математичні, географічні та біологічні науки. Ці показники стану навколишнього середовища та значення компонентів геосфери використовуються для визначення оптимальних проектних показників розгортання територіальної системи в різних проєкційних площинах та різноманітних орієнтаційних даних на локалізованих ділянках природно-територіального комплексу, що зазнають патогенного промислово-антропогенного впливу.

Відомо, що концепція екологічної безпеки урбанізованого ландшафту практично є сформульованою та апробованою, але питання трансформованого природного ландшафту постійно виникають на забудованих та природно-заповідних територіях, де атрактивно реалізуються програми екологічного туризму з розпланування комплексу спеціалізованих споруд санаторно-рекреаційних комплексів. Екологічно проблемними є розробка методів біолокаційного моніторингу з виявлення географо-еніологічних гепатогенних та геовітальних зони. Вони потребують методологічних обґрунтувань щодо запобігання або зниження впливу відповідних новітніх екологічних викликів у системі природно-техногенної безпеки. Заслуговує на увагу досвід Карпатського туристичного регіону України, де до розробки геоматичного забезпечення територіальної організації туристичних комплексів та прокладання на карті еколого-туристичних стежок залучаються матеріали експедиційних даних еніологічних експедицій, стародавні та сучасні картографічні матеріали, які висвітлюють деякі екологічні та геофізичні особливості цієї місцевості.

Теорія екологічної безпеки довкілля-простору та інструментарій його цифрової реальності знаходяться на зародковому стані формулювання і є новим методологічним напрямком сучасної прикладної екології, хоча вже запроваджуються технології хмарового проєктування просторів за технологією сканування

та роботизованої тахеометрії. Але вони в сукупності не дають глобального уявлення про плинність панглобального довкілля-простору. Отже, цей інструментарій є дискретним, а наша задача – визначити континуальність простору-довкілля, його розміри, геодезичні параметри, трансформаційні особливості тощо.

В основу концепції інновітінг-інструментарію цифрової реальності довкілля-простору покладаються вже апробовані теоретичні обґрунтування еколого-ландшафтної трансформації природно-територіального комплексу масштабного ряду 1 : 50 000 – 1 : 100 000. Вибір параметрів моніторингової територіальної «екобезпеки» еколого-територіального ландшафту підтверджується матеріалами аерокосмічної зйомки та дистанційного зондування Землі. Також відомо, що геосистемне ландшафтне картографування при визначенні геофізичних джерел збудовачів латерарності (стабільності) ландшафту проводиться у пріоритетному масштабі 1 : 64 000.

Відповідно до Першої аксіоми ландшафтоутворення «...перетворення ландшафтних територіальних комплексів до самотрансформованих є наслідком антропогенного впливу, який зазначається у температурних та синоптичних показниках...», атрактивність (привабливість) ландшафту та перетворення його на дестинаційну безпечну екозону відбувається найповільніше. Не зважаючи на це, екологічна безпека довкілля-простору за директивами Світової туристичної організації не є пріоритетною і навіть не зазначена у її регламентах, внаслідок чого статистика постраждалих туристичних груп в усьому світі визначається геометричною прогресією.

Відповідний недолік складової безпеки при організації туристичних подорожей, особливо не групових, частково компенсується неурядовими інтерактивними картографічними сервісами Інтернету. На картах порталів туристи-аматори наносять потенційні природно-техногенні небезпеки територій, біологічні та санітарно-епідеміологічні небезпеки. Це потребує формулювання концептуальних засад алгоритму впровадження (апробації) інновітінг-інструментарію цифрової реальності довкілля-простору, подальшої розробки теорії екологічної безпеки довкілля-простору та обґрунтування її наукових законів, які апробовані в системі екологічного моніторингу м. Києва.

Апробаційний алгоритм інновітінг-інструментарію цифрової реальності довкілля-простору за краудосорсинговими програмами просторової візуалізації показано на рис. 2.

Інформаційно-аналітичною основою функціонування геоінтелектуальних систем прийняття рішення є технології формування баз даних ГІС, яка акумулює дані спеціалізованого обсерваційного рекогносцювання за складовими інфраструктури еколого-географічних обсервацій (ландмарків) [1]. Польові рекогносцювальні журнали складаються з бази даних координат географічних (астрономічних) у системі (XX°XX'XX"). XXXX), прямих прямокутних координат у конформній

(рівнокутній) проекції Гауса-Крюгера зі зміщенням ординати $H + 500000$ метрів та геоцентричних координат X, Y, Z . У польових рекогносциувальних журналах зазначаються дата, час, середня швидкість у км/год та система координат. В обсерваційному журналі географічних (астрономічних) координат у змісті зазначаються номер об'єкта місцевості, інтерпретація об'єкту місцевості (назва), точність визначення, азимут (напрямок) та координати об'єкта місцевості (широта – φ , довгота – λ , висота – H). В обсерваційному журналі геодезичних координат Гауса-Крюгера в змістовному наповненні окрім перших трьох, які у попередньому журналі, ще зазначаються зближення меридіанів, магнітне схилення, дирекційний кут Сонця, координати x, y, h . У польовому журналі геоцентричних координат зазначають окрім номера об'єкту місцевості та інтерпретації об'єкту (назви), такі особливості: азимут Сонця, кут місця Сонця та координати X, Y, Z .

Пропонується два варіанти інструментарного забезпечення геодезичних знімачів. Є. На кафедрі екологічного моніторингу, геоінформаційних та аерокосмічних технологій Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління в базі матеріально-технічного забезпечення містяться: графічна станція-геосервер для централізованої геообробки даних F2D64AV HPz640+HP Z27n (K7C09A4); робоча станція адміністратора ГІС кадастру ПЗФ F5G73AV Z440+z24n K7B99A4; комплект для аерофотогеодезичних робіт; квадрокоптер Inspire 2, відеокамера ZENMUSE X4S, акумулятор для квадрокоптера Inspire 2 Part 17TB50 Intelligent Flight Battery, планшет Lenovo. Але ця апаратура є надзвичайно високоартісною і для самостійного екологічного моніторингу вимагатиме значних коштів орендної плати, якщо це не науково-дослідна робота Академії.

Нами пропонується інша, безкоштовна, але не менш високоточна технологія визначення координат при винесення в природу точки місцевості. Це Android-додатки для смартфонів із відкритим доступом до супутникових сигналів (гаджети із виключно А-GPS-сигналом не бажано застосовувати). Це саме програми Geodezist, Fields Area Measure, Compass, Компас, які визначають відповідні категорії координат в режимі офлайн. Іноді, коли не спрацьовує механізм реалізації їх роботи для визначення широти та довготи, використовують програми астрономо-геодезичної навігації Star Walk 2, StarLight, а для систем на базі iOS SkyMap-StarLight. Основною програмою для роботи рекомендовано програму Geodezist.

Для роботи в програмі Geodezist необхідно провести деякі налаштування: у додатку до форматів виділяють кути в системі ($XX^{\circ}XX'XX''$.XXXX), швидкість у км/год. та місцевий часовий пояс. Для фону карти необхідно обрати гібрид космічного знімку із семантичним навантаженням. За цим шаром зручно додавати точки обсерваційного моніторингу або в іншому режимі автоматично визначати та записувати у пам'ять пристрою координати точок

стояння. Також є можливість залучати дані в програмне середовище ГІС у форматі *.gpx, яке імпортується до краудсорсингових картографічних сервісів Інтернету – GoogleMap та GoogleEarth. Додатковими геоматичними даними, якими може оперувати софт є розрахунок прямої та оберненої геодезичної задачі, зближення меридіанів, астрономічних показників азимуту Сонця.

Щодо точності метричного забезпечення обсерваційних досліджень, то існує або діє Android-додаток Fields Area Measure, за допомогою якого чітко і точно обраховуються відстані та площі, Також можливо додати власні точки POI, імпортувати та експортувати геодані з інших гаджетів та інші портативні пристрої. Для забезпечення роботи в єдиній метричній системі у налаштуваннях необхідно зазначити всі показники, які ідентичні до роботи програми Geodezist.

Астрономо-геодезичні програми мають технологічну можливість визначати магнітне схилення, точність до шести знаків після коми, дійсний азимут тощо. Відповідні програми дають можливість визначити місцезнаходження навігаційних зірок на небесній сфері, що надає зручності при орієнтуванні на місцевості в автономному режимі у форс-мажорних обставинах. Для потреб екологічного туризму Android-додаток «Компас» передає дані Сонця та Місяця у просторовому режимі для перцепційного уявлення про їх знаходження при щільній хмарності та інших небезпечних метеорологічних явищах.

Камерально відповідні польові роботи, але із меншою точністю, можна виконувати при використанні координатних систем геопорталів. Найживішим для цих цілей є Google Earth, що робить можливим зняття координат та зазначення моніторингової точки на відповідній карті із додатковим обранням умовного позначення із запропонованих або зазначенням авторського умовного знаку. За відповідним комплексом полігональних точок будується профіль місцевості, знімати будь-які метричні показники, накладати на базовий шар тематичні карти або графічні зображення на місцевість різної часової характеристики.

Комплекс зібраних і сформованих геопросторових даних є основою складання еколого-моніторингових карт, атласів та планів, насамперед інтерактивних. Статичні карти цифрової моделі рельєфу укладаються у ГІС Golden SoftWare Surfer 11, але при залученні даних необхідно враховувати послідовність введення координат відповідно до топології орт проекції Гауса-Крюгера: Y, X, Z . Програма дозволяє візуалізувати цифрову модель місцевості за технологією відмивання рельєфу й ротацію моделі по всіх координатних вісях, визначати головні та другорядні ізолінії (ізогіпси). У програмі зручно відображати графічний масштаб, реперні точки, додавати додаткові написи. При створенні топографічного плану виникає необхідність залучати роботу програми визначення номенклатури відповідної карти «Номенклатура».

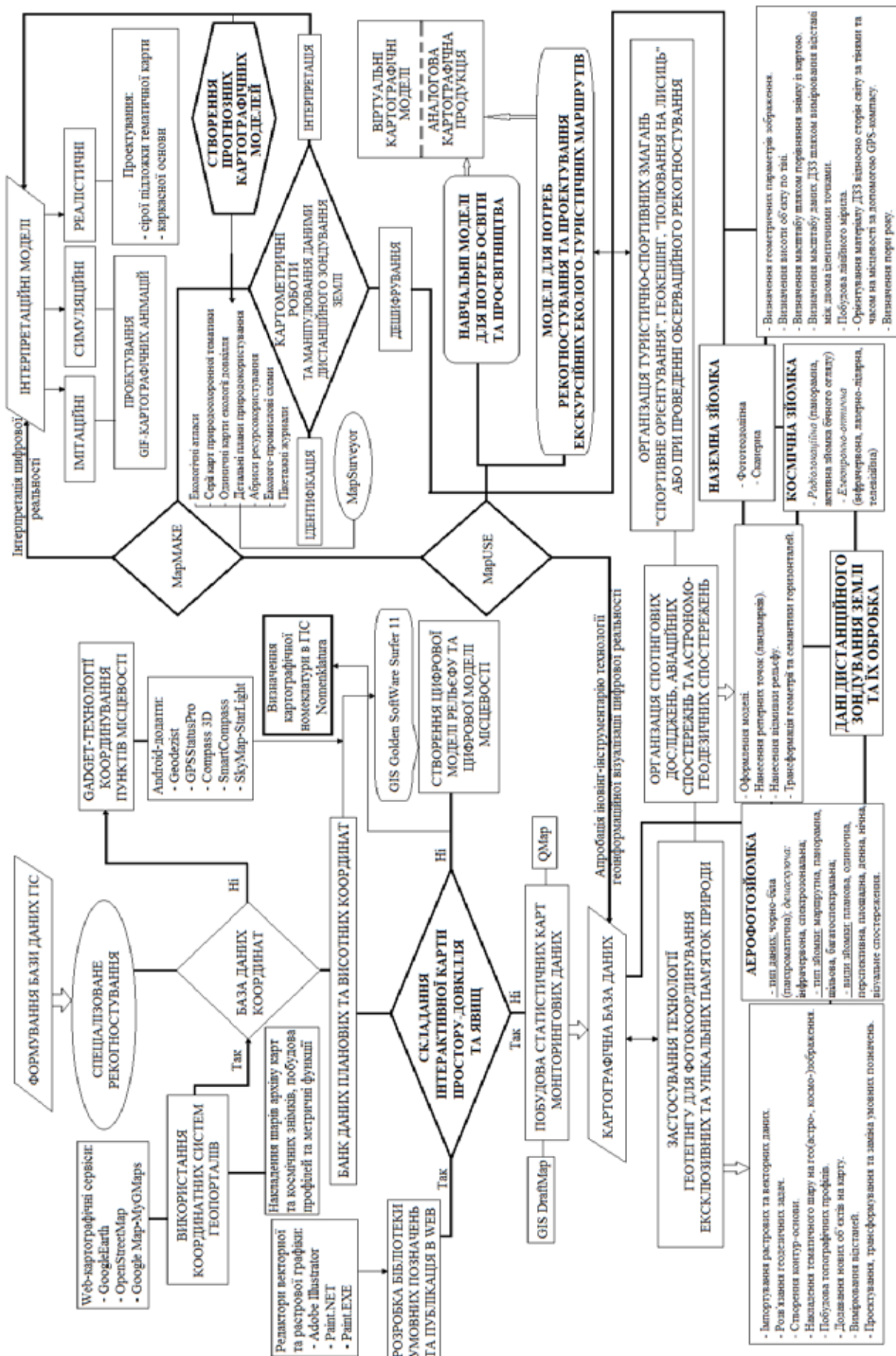


Рис. 2. Алгоритм інновіс-інструментарію цифрової реальності довкілля-простору

У середовищі ГІС Golden SoftWare Surfer 11 створюються моделі полів, які не пов'язані з топографічною поверхнею (відображення геостатичного розподілу метеорологічних умов, геологічних даних, еколого-економічних показників, дискретні та континуальні масиви статистичних даних доквілля-простору) через ізолінії та псевдоізолінії.

Просторове уявлення географічного розподілу статичних даних можна демонструвати у картографічному редакторі геоінформаційного моделювання QuickMap (QMap), коли способом картограми за визначеними замкненими полігонами можна побудувати візуалізовані карти якісного та кількісного фонів, представляти різні діапазони, працювати з даними зарамкового оформлення та приведення дизайну карти до демонстраційного та товарного вигляду. Ця програма цінна тим, що дає змогу проводити дигіталізацію при створенні цифрової основи будь-якої екологічної карти. Але пропонуємо застосовувати програму векторної графіки Paint.EXE для створення контурної карти-основи і подальшого її перетворення у Digital QuickMap у повноцінну базу карту.

Важливими в проектуванні екологічної карти є дизайн та ескізування макету картографічної моделі. Зручними і перевіреними програмами для цих робіт є софт Adobe Illustrator або найпростіший Windows Paint, графічні можливості якого забезпечують якість картографічних та геоінформаційних творів та моделей. Робота графічних редакторів у цьому напрямі є основою для проектування імітаційних інтерпретаційних GIF-моделей. Їх можна робити у будь-якому онлайн-сервісі в мережі Інтернет і надаватимуть реальні уявлення щодо симуляції та імітації доквілля-простору за часом в прогнозуванні або ретроспективному аналізі.

Найсучаснішим трендом картографічного виробництва геоінформаційних моделей екологічного, природоохоронного та ресурсозбережувального тематичного змісту є проектування інтерактивних краудосорсингових карт у середовищі загальнодоступних геопорталів GoogleMap, OpenStreetMap та GoogleEarth. Для створення інтерактивної карти GoogleMap необхідно імпортувати дані по результатах роботи програми Geodezist, обирати для них необхідну бібліотеку умовних позначень та формувати тематику у легенді карти. Картографічну модель можна робити відкритою або вузькокорпоративною чи використовувати відповідний *.kmz файл для архівування та зберігання. За умови активної функції геотегінгу на смартфоні виникає можливість автоматично фотографувати візуалізацію об'єкта місцевості та передавати на інтерактивну модель простору-довкілля.

Створення відповідних атласних сценаріїв на їх основі дає можливість проводити картометричні роботи та маніпулювати даними географічного змісту, матеріалами дистанційного зондування Землі

та створювати моделі для екологічного моніторингу та організації еколого-туристичних подорожей. Але бувають випадки, коли не працює система доступу до світової мережі, швидко розряджаються акумулятори портативного геодезичного Smart-обладнання, постає проблема подальшої навігації експедиційної групи. У таких випадках експедиція обладнена аналоговим девіаційно перевіреним компасом, паперовими картами та даними аерокосмічної зйомки. Отже необхідно, навіть в період дигіталізації простору-довкілля, звертатися до життєнеобхідних питань щодо орієнтації аерокосмічних знімків відносно сторін світу на топографічній карті, а також за тіннями та часом одержання аналогових даних ДЗЗ.

Відповідні завдання стосуються сучасних прийомів спортивно-туристичних змагань на зразок «Спортивне орієнтування», геокешинг, «полювання на лисиць» та організації екскурсійної діяльності за методикою інтерпретації природи.

Передумовою використання відповідних методів роботи є наявність топографічних карт районів, які зображені на аерофотознімках. Фотодокументи накладають на відповідну топографічну карту та орієнтують за ландмарками, які однозначно розпізнаються на аерокосмічному знімку та на карті. Найкраще використовувати для орієнтування повздовжні контури (мережа шляхів сполучення) та об'єкти великих розмірів (архітектурно-техногенні доміанти та природні комплекси). Потім на фотознімок, який так орієнтований, можна візуально перенести з карти напрямок лінії координатної сітки Північ-Південь.

Ця технологія може виконуватися в цифровому режимі, коли є космофотознімок із невідомими орієнтаційними показниками. Цей спосіб орієнтування надзвичайно простий, отже не вимагає ні карти, ні компасу. На будь-якому аерофотознімку можна бачити тіні, що виникають в результаті сонячного освітлення. Виключенням є лише нічні знімки, знімки місцевості, де відсутні будівлі, рослинність або можливі шуми чи десятибальна хмарність. При орієнтуванні за базу беруть емпіричну формулу, за якою Сонце в 6^h перебуває на Сході, о 12^h – на Півдні та о 18^h – на Заході, а за 12^h робить півколо зі Сходу на Захід через Південь. За цей же час тень долає шлях у протилежному напрямку – на Схід через Північ. Отже, о 12^h тень буде чітко вказувати на Північ, а якщо півколо (180°) поділити на кількість годин (12^h), то отримуємо швидкість переміщення тіні 15°/год і процедура визначення Півночі на знімку стає зрозумілою. Пори роки визначаються відповідно до вегетаційних показників педосфери та флори.

Аналогічні прийоми є надзвичайно рідкісними, але знання щодо відповідної їх реалізації при забезпеченні обсерваційних екологічних досліджень не є досить актуальними і можуть іноді застосовуватися за наявності високоточного інженерно-геодезичного обладнання.

Головні висновки. Інновінг-інструментарій технологій цифрової реальності на базі краудосорсингових програм та відкритих ГІС є бюджетним варіантом проведення та реалізації екологічного обсерваційного моніторингу. Довкілля-простір є континуальним через неосязність глобальності його вимірювання, але в дискретній модальності його просторова реальність зрозуміла, є такою, що високоточно представляється у бі- та полікоординатних системах ГІС.

Застосування Android-програм дає змогу знизити вартість проведення досліджень, а картограми статистичних моделей довкілля-простору дають

однозначну інтерпретацію плинності показників навколишнього середовища. Важливою є неможливість відмови від традиційних прийомів аналогової геодезії, картографії та фотограмметрії при реалізації програм інтерпретації цифрової реальності довкілля-простору.

Перспективи використання результатів дослідження. У перспективі інновінг-інструментарій буде запроваджений при виконанні обсерваційного екологічного моніторингу довкілля-простору м. Києва, реалізації програм генерального планування столичної території при створенні відповідних еколого-географічних карт природно-територіальних систем.

Література

1. Бондар О.І., Машков О.А., Шевченко Р.Ю. Моніторинг стану навколишнього середовища засобами ГІС: навч.-метод. та практ. рекомендації. Київ, ДЕА, 2018. 52 с.
2. Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. та ін. Дистанційні методи моніторингу довкілля: навч. посібн. Херсон. ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. 298 с.
3. Звіт про науково-дослідну роботу «Моніторинг виконання природоохоронних робіт та екологічного стану природного довкілля діючих та ліквідованих вугільних підприємств, розроблення пропозицій щодо його поліпшення. Збір та аналіз виробничих показників вугільних шахт для формування і оновлення бази даних еколого-технічних показників вугільних підприємств» (№ ДР 0116U005852): проміжний звіт за І-ІІІ кв. 2017 р. Київ, ДЕА, 2017. 42 с.
4. Звіт про науково-дослідну роботу «Оцінка та вивчення еколого-техногенного стану Донецької та Луганської областей з метою розробки рекомендацій щодо природно-ресурсного відновлення на екологічних засадах» (№ ДР 0117 U006967): заключний звіт за 2017 р. Київ, ДЕА, 2017. 150 с.
5. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка нормативно-методичного документа рубрикатора завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою космічних систем ДЗЗ та ГІС» (№ ДР 0118U005461): заключний звіт за 2018 р. Київ, ДЕА, 2018. 170 с.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ БОРИСЛАВСЬКОГО ОЗОКЕРИТОВОГО РОДОВИЩА

Шевчик-Костюк Л.З.¹, Романюк О.І.¹,
Жак Т.В.¹, Жак О.В.², Рикмас Я.В.²

¹Відділення фізико-хімії горючих копалин
Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка
Національної академії наук України
вул. Наукова, 3А, 79053, м. Львів
lesyashevchik@gmail.com;

²Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005, м. Львів

Наведено результати екологічного моніторингу ґрунтового покриття Бориславського озокеритового родовища. Створено сітку спостережень (25×25 м), яка охоплює значну частину відвалів і включає 50 контрольних точок, з точно визначеними координатами за системою GPS, з яких відбирали проби ґрунту та аналізували на вміст важких металів (Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, Mn, Co, Fe) і нафтопродуктів, а також визначали фітотоксичність, рН і температуру поверхні ґрунту. Для візуалізації результатів дослідження побудовано карти забруднення ґрунтів. Встановлено, що ці ґрунти є слабо- та середньозабруднені, вміст нафти в них < 6 %, проте трапляються і більш забруднені ділянки, з видимими слідами нафти чи озокериту, вміст нафти в ґрунті яких > 12 %. Досліджувані ґрунти є слабоболужними, рН їхніх водної та сольової витяжок перебуває в межах 7,3–7,9 та 7,2–7,7 відповідно. Температура їхнього поверхневого шару (3 см) становить 30–36 °С за температури повітря 28 °С. Визначено рівень забруднення ґрунтів важкими металами: коефіцієнт забруднення ґрунтів щодо фону Кадмієм становить 2–2,5; Цинком – 1,5–7; коефіцієнт забруднення щодо ГДК Міддю – 2–6; Нікелем – 2–4. Проведено фітотоксичну оцінку відвальних ґрунтів озокеритової шахти методами біотестування з використанням чутливих рослинних тест-об'єктів: льону, соняшника, гречки. Значення фітотоксичності перебуває в межах від 0,6–1,5 до 1,5–3,0, що свідчить про загрозовий і передкризовий рівні забруднення. Отже, відвали озокеритової шахти м. Борислава забруднені нафтопродуктами, важкими металами і є постійним джерелом надходження в довкілля шкідливих речовин, а тому потребують тривалого екологічного моніторингу та рекультиваци. Враховуючи те, що озокеритова шахта розташована в центральній частині міста, найбільш прийнятним шляхом є фіторекультиваци відвалів. Проведені дослідження дали змогу підтвердити важливість проблеми забруднення ґрунтового покриття нафтопродуктами на території нафтогазопромислу та необхідність її вирішення. *Ключові слова:* екологічний моніторинг, забруднення ґрунту, нафта, важкі метали, фітотоксичність.

Environmental monitoring of the soil cover of the Borislav Ozokerite Mine. Shevchyk-Kostiuk L., Romaniuk O., Zhak T., Zhak O., Rykmas Ya.

The results of environmental monitoring of the soil cover of the Borislav Ozokerite Mine are presented. An observation grid (25 × 25 m) covering a large part of the dumps and including 50 control points was created, with well-defined GPS coordinates, from which soil samples were taken and analyzed for the content of heavy metals (Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, Mn, Co, Fe), petroleum products, and the phytotoxicity, pH, and soil surface temperature were determined. Soil contamination maps have been constructed. It was established that these soils are lightly- and moderately contaminated, the oil content in them is less 6%, however, more polluted areas are also found, with visible traces of oil or ozokerite, the oil content of which is over 12%. The studied soils are slightly alkaline: the pH values of their water and salt extracts are in the range of 7.3–7.9 and 7.2–7.7, respectively. The temperature of surface soil layer (3 cm) is 30–36 °C at an air temperature of 28 °C. Soil pollution by heavy metals was established: the soil contamination coefficient relative to the background: by cadmium is 2–2.5; zinc 1.5–7; contamination coefficient relative to MPC: copper 2–6; nickel 2–4. Phytotoxicity assessment of the soil dumps of the ozokerite mine was carried out by biotesting method using sensitive plant test objects: *Linum usitatissimum* L., *Helianthus annuus* L., *Fagopyrum vulgare* St. The value of phytotoxicity ranges from 0.6–1.5 to 1.5–3.0, which indicates a threatening and pre-crisis level of contamination. Thus, the dumps of the Borislav Ozokerite Mine are contaminated with petroleum products, heavy metals and are a source of harmful substances entering the environment. Therefore, these territories require long-term environmental monitoring and reclamation. Considering the fact that the ozokerite mine is located in the central part of the city, the most appropriate way is the phytoremediation of the dumps. The conducted researches made it possible to confirm the importance of the problem of contamination of the soil cover with oil products in the territory of the oil and gas field and the need for its solution. *Key words:* environmental monitoring, soil pollution, oil, heavy metals, phytotoxicity.

Постановка проблеми. Розвинена нафтовидобувна інфраструктура в Україні спричинила істотне забруднення значних територій. Однією з найбільш уражених місцевостей є м. Борислав – єдиний в Європі населений пункт, розташований на промисловому нафто-озокеритовому та газовому родовищі. Негативний вплив розроблення і експлуатації Бориславського нафтового родовища позначився на всіх ланках довкілля – атмосфер-

ному повітрі, ґрунтах, водних ресурсах, рослинному та тваринному світі.

Здебільшого активне забруднення відбувається під час порушення геологічного середовища в процесі видобування, яке залишає після себе значні нафтозабруднені площі, які, своєю чергою, є джерелом вторинного забруднення повітря, поверхневих і підземних вод на тривалий час. Тому забруднення ґрунтового покриття залишається акту-

альною проблемою навіть із зменшенням видобувного навантаження.

Одним з основних методів вирішення проблеми забруднення довкілля є моніторинг, який надає своєчасну та достовірну інформацію про стан довкілля, на підставі чого приймаються оперативні рішення з недопущення розвитку надзвичайних ситуацій. Моніторинг ґрунтового покриву виснажених нафтогазових родовищ є важливим питанням рівня екологічної безпеки. Відділенням фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка Національної академії наук України протягом тривалого часу проводиться екологічний моніторинг м. Борислава. Тому метою статті було представлення частини результатів проведення екологічного моніторингу, а саме – території відвалів озокеритовидобутку м. Борислава, яка має неабиякий негативний вплив на екологічну ситуацію у місті.

Матеріали і методи досліджень. Моніторинг проводили на нафтозабруднених техногенних відвальних ґрунтах озокеритовидобутку м. Борислава. Під час моніторингових досліджень відібрано 50 проб ґрунту. Середня щільність контрольних точок відбору – 25×25 м. Для кожної точки визначено точні координати системою GPS. Проби відбирали за ГОСТом 17.4.4.02.84 методом квадрата, на глибині 0–10 см [1].

Вміст нафтопродуктів у ґрунтах визначали згідно з модифікованою методикою [2; 3] шляхом екстракції нафтопродуктів із проб ґрунту тетрахлоридом вуглецю з наступним ІЧ-спектрофотометричним визначенням.

Визначення рН водної та сольової витяжки ґрунту здійснювали потенціометричним методом [4]. Пробу ґрунту масою 20,0 г поміщали в колбу на 250–300 мл,

доливали 50 мл дистильованої води чи 1 М розчину КСl і збовтували. В одержаному фільтраті рН-метром вимірювали значення рН.

Вміст рухомих сполук важких металів (Zn (II), Cd (II), Pb (II), Ni (II), Cu (II), Mn (II), Co (II), Fe (III)) визначали за методикою ДСТУ 4770.1-9:2007 [5].

Фітотоксичність ґрунту та води визначали за допомогою тест-об'єктів льону звичайного (*Linum usitatissimum* L.), соняшника однорічного (*Helianthus annuus* L.), гречки посівної (*Fagopyrum vulgare* St.) [6].

Результати досліджень опрацьовували статистично з використанням критерію Стьюдента та програми MS Excel. Екологічні карти будували, використовуючи програму Surfer компанії Golden Software.

Виклад основного матеріалу. Довготривале інтенсивне видобування надр у м. Бориславі призвело до істотних змін геологічного середовища та виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Головними чинниками негативного впливу є наявність на території міста 2 000 нафтових свердловин, значна кількість дегазаційних шурфів, 20 000 закинутих криниць-копанок, високий рівень виробленості шахт. Недостатній рівень проведення ліквідаційних заходів у минулому та неналежне виявлення і облаштування старих об'єктів нафтовидобутку сьогодні ускладнюють і без того катастрофічну ситуацію в місті.

Одним із головних чинників екологічних проблем міста є відвали озокеритовидобутку – техногенні пагорби (місцева назва – Висипи), утворені з відходів видобування й збагачення сировини та відсипані поряд із проммайданчиками озокеритових копалень, у центральній частині міста, на площі понад 20 га (рис. 1). Відвали різняться між собою за способом

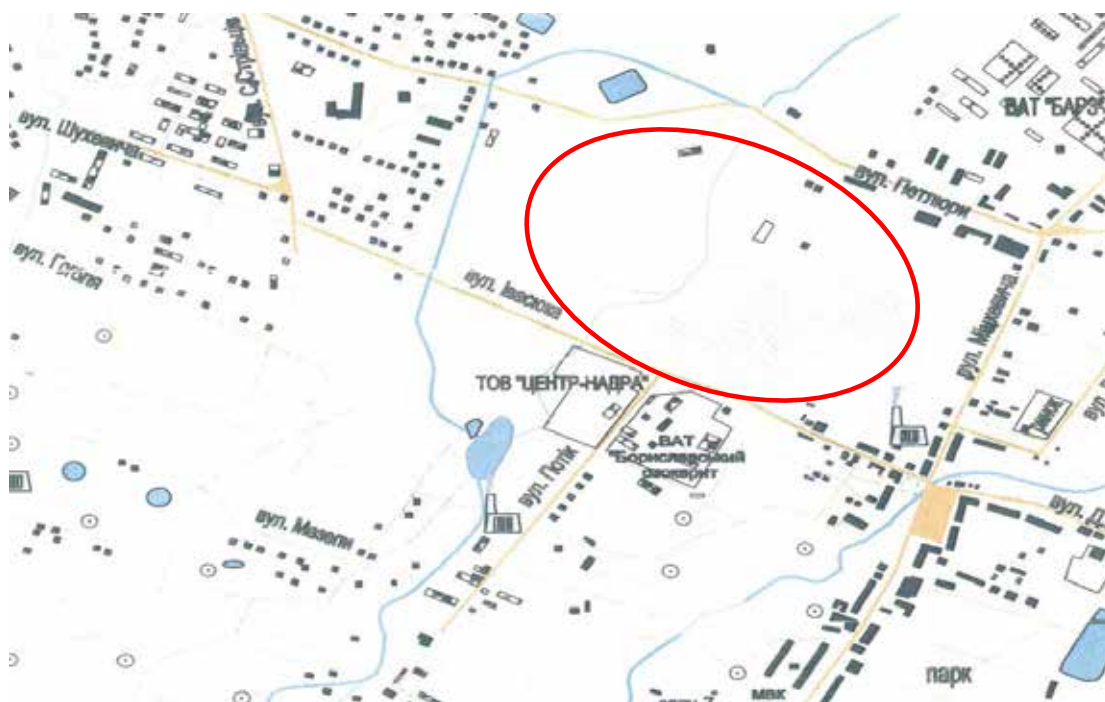


Рис. 1. Карта-схема розташування відвалів озокеритовидобутку м. Борислава

і часом добування озокериту: старі відвали, з породи яких вилучали озокерит шляхом випаровування, та нові відвали, з породи яких озокерит екстрагували бензиновими фракціями [7]. На старих відвалах відбулось поступове заростання рослинністю.

Нові відвали чітко виділяються як оголені ділянки горбистого рельєфу, позбавлені рослинного покриву (рис. 2), що сприяє поширенню забруднення в повітря, поверхневі та підземні води, внаслідок випаровування, вивітрювання та вимивання шкідливих речовин. Крім того, на поверхню відвалів час від часу виходить нафта, яка повторно забруднює ґрунти. Отже, відвали озокеритовидобутку є постійним джерелом надходження в довкілля шкідливих речовин [7]. Для контролю за ситуацією і, відповідно, прийняття науково обґрунтованих ефективних управлінських рішень необхідним є проведення екологічного моніторингу.

Проводився екологічний моніторинг забруднення ґрунтів на території озокеритовидобутку м. Борислава. Створено сітку спостережень, яка охоплює значну частину відвалів і включає 50 контрольних точок, з точно визначеними координатами за системою GPS, з яких відбирали проби ґрунту та аналізували на вміст важких металів (Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, Mn, Co, Fe) і нафтопродуктів, а також визначали фітотоксичність, рН і температуру поверхні ґрунту. Для візуалізації результатів дослідження побудовано карти забруднення ґрунтів.

Встановлено, що ґрунти на території озокеритовидобутку переважно слабо- або середньозабруднені, вміст нафти в них < 6 % (рис. 3), хоча трапляються ділянки, здебільшого голі, з видимими слідами нафти чи озокериту, вміст нафти у ґрунті яких сягає 12 % і більше (рис. 4).

Кислотність водної та сольової витяжок досліджуваних ґрунтів становить 7,3–7,9 та 7,2–7,7 одиниць,

рН, відповідно, тобто ґрунти є слаболужні (рис. 5, 6). Це узгоджується з літературними даними про те, що внаслідок забруднення ґрунту нафтою, особливо сировою, з високим вмістом мінеральних солей, відбувається зміщення лужно-кислотних умов у бік підлужнення [8; 9].

Додаткову інформацію про забруднення ґрунту нафтою отримали з результатів вимірювання температури на його поверхні. Дослідження показали, що температура досліджуваних ґрунтів на глибині до 3 см коливається в межах 30–36 °С за температури повітря 28 °С (рис. 7). Простежено кореляцію між температурою на поверхні ґрунту та ступенем забруднення ґрунтів нафтою. В місцях більшого забруднення ґрунту нафтою – вища температура поверхні ґрунту (рис. 3, 7).

Визначено вміст рухомих сполук важких металів – Zn (II), Cd (II), Pb (II), Ni (II), Cu (II), Mn (II), Co (II), Fe (III) – у досліджуваних ґрунтах. Виявлено, що концентрації Ni та Cu значно перевищують гранично допустимі норми, зокрема вміст Cu на деяких контрольних ділянках сягає 2–6 ГДК, а Ni – 2–4 ГДК (рис. 8, 9).

Щодо інших металів, то вміст Zn (II) та Cd (II) є близьким або на рівні ГДК, а вміст Pb (II), Mn (II) та Co (II) не перевищує ГДК. Перевищення концентрації Ni, Cu в ґрунтах щодо ГДК можна пояснити нафтовим забрудненням ґрунтів, оскільки в нафті Бориславського родовища Ni та Cu за вмістом перевищують кларкові величини. Ділянки, на яких простежено підвищений вміст цих металів, мають найвищий рівень забруднення нафтопродуктами.

Також визначено коефіцієнт забруднення ґрунтів важкими металами щодо фону і встановлено, що має місце антропогенне забруднення ґрунтів кадмієм і цинком, коефіцієнт забруднення становить для Cd – 2–2,5, а для Zn – 1,5–7 відповідно (рис. 10, 11).



а)



б)

Рис. 2. «Нові» відвали озокеритовидобутку різного рельєфу (м. Борислав): а – рівнинного; б – горбистого зі слідами ерозії

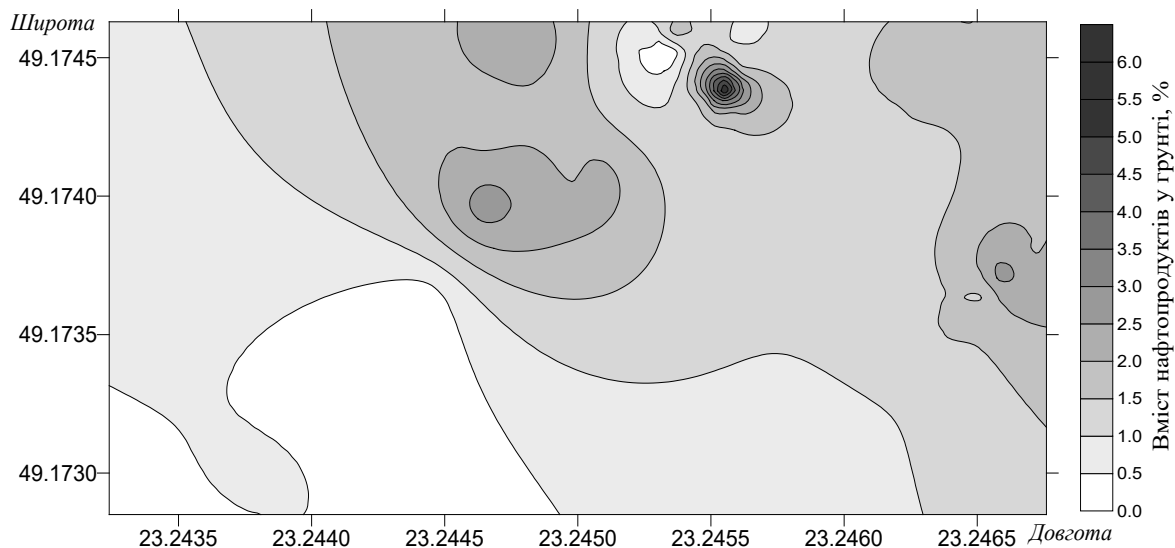


Рис. 3. Карта забруднення відвальних ґрунтів нафтопродуктами, озокеритова шахта м. Борислава



Рис. 4. Просочування нафти та озокериту на поверхню відвальних ґрунтів озокеритової шахти м. Борислава

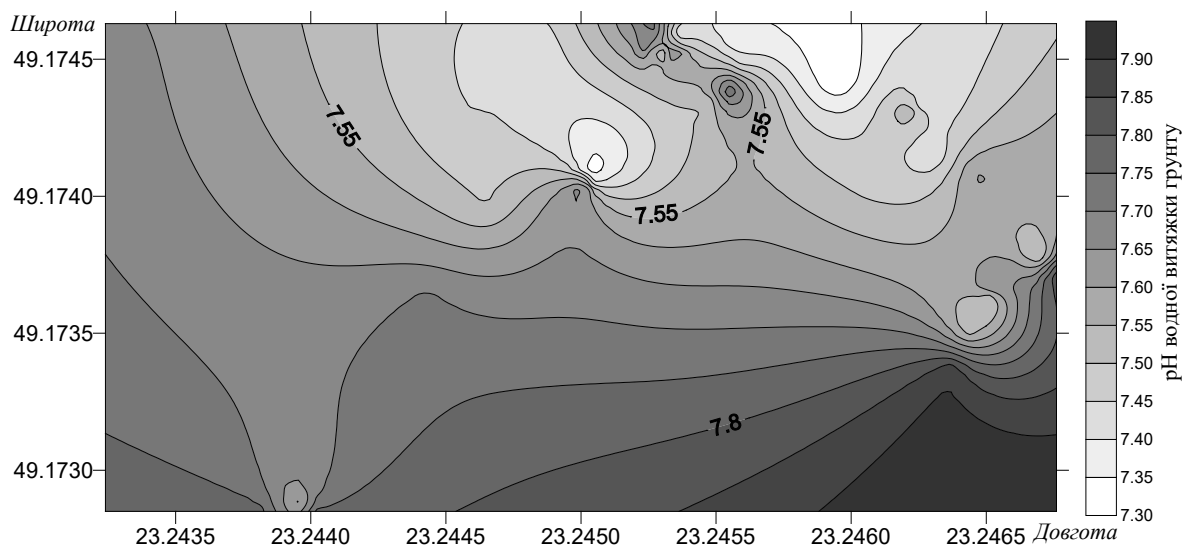


Рис. 5. рН водної витяжки нафтозабруднених ґрунтів озокеритової шахти м. Борислава

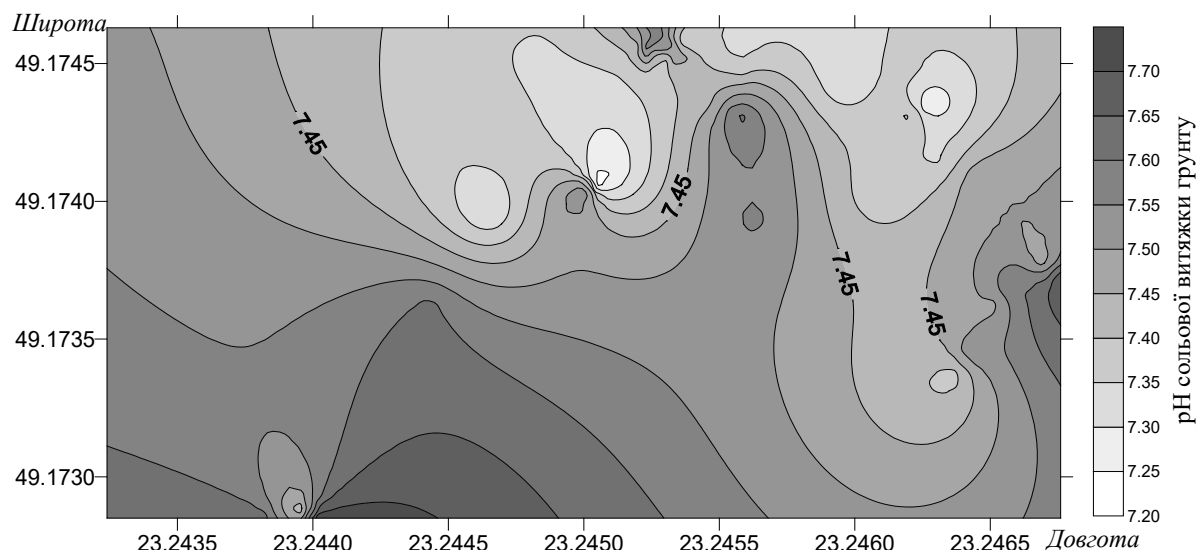


Рис. 6. рН сольової витяжки нафтозабруднених ґрунтів озокеритової шахти м. Борислава

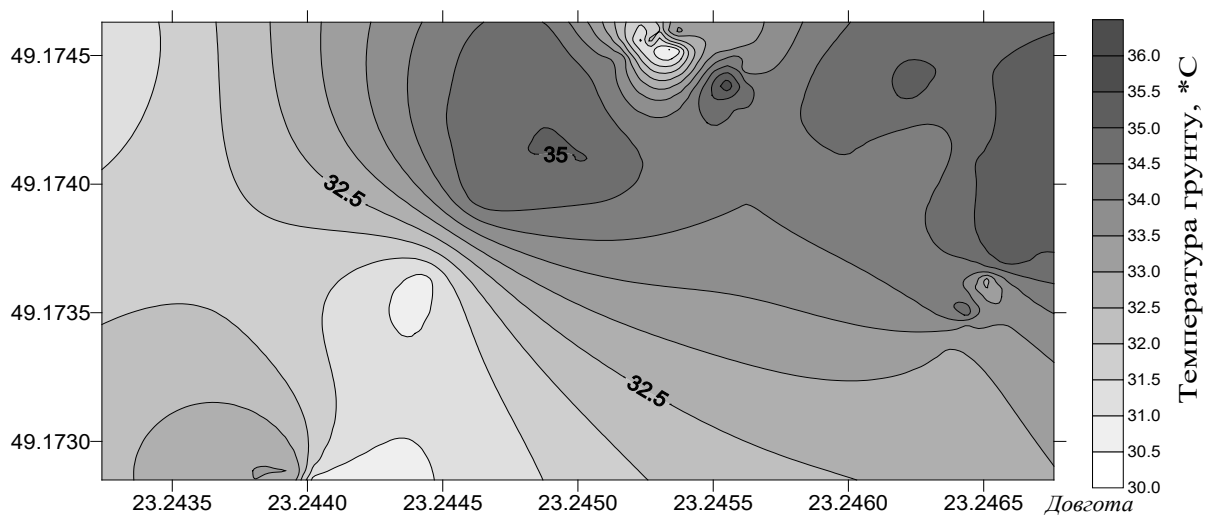


Рис. 7. Температурна карта нафтозабруднених ґрунтів озокеритової шахти м. Борислава (температура повітря 28 °С на висоті 80 см, 1500 година)

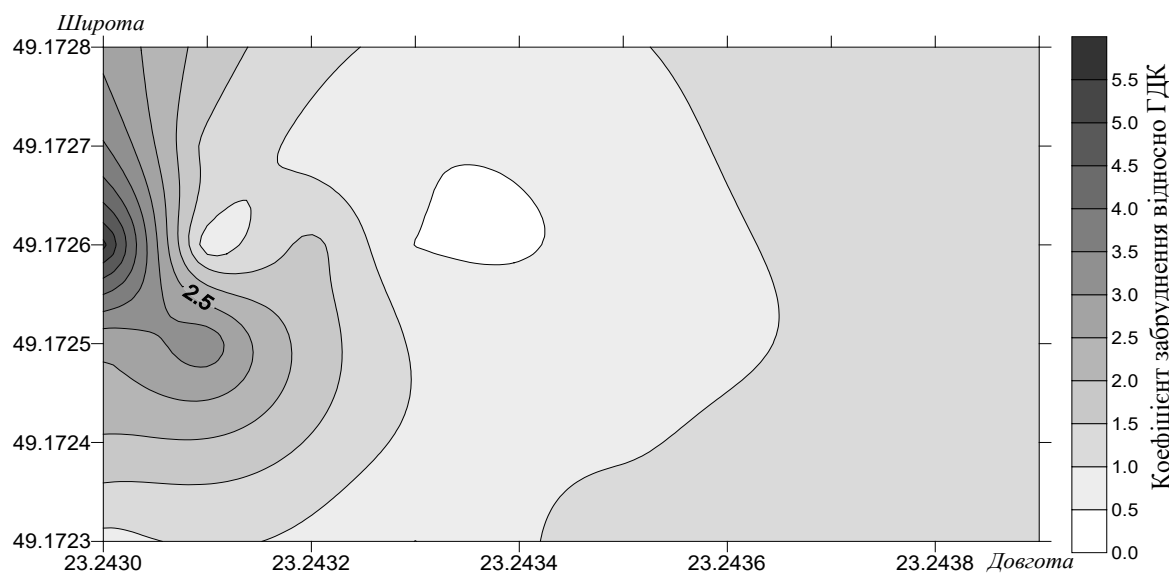


Рис. 8. Екологічні карти забруднення ґрунтів купрумом (коефіцієнт забруднення щодо ГДК)

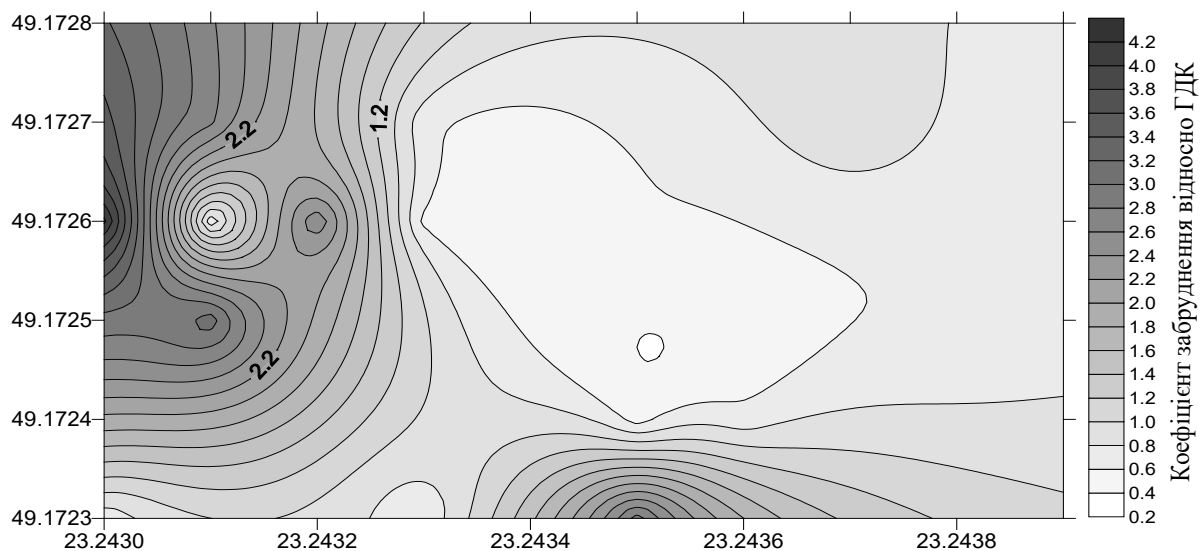


Рис. 9. Екологічні карти забруднення ґрунтів нікелем (коефіцієнт забруднення щодо ГДК)

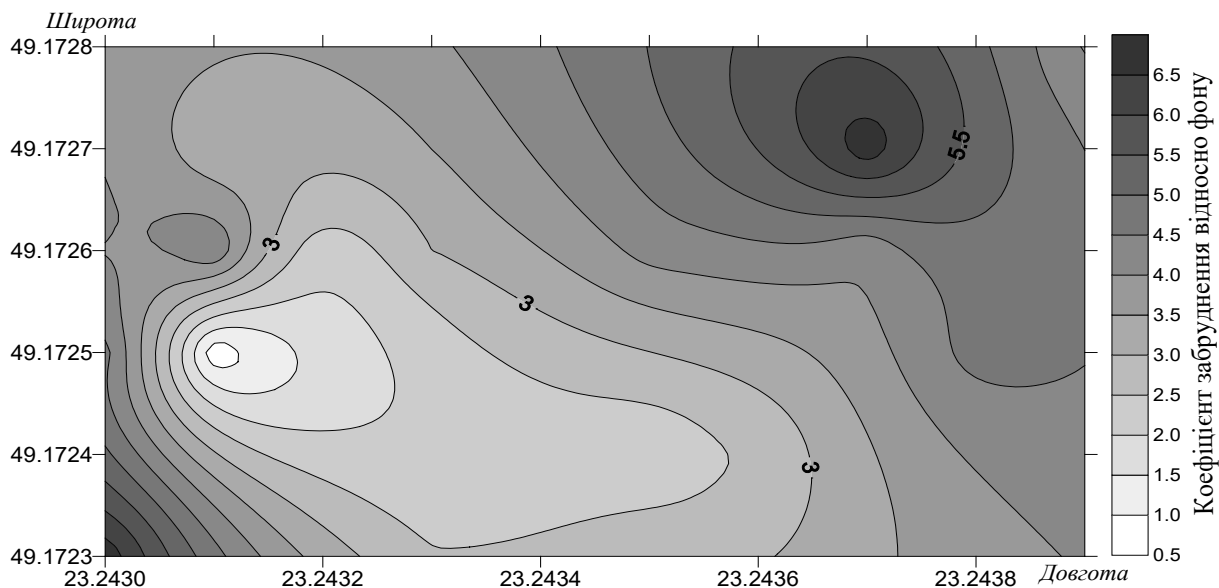


Рис. 10. Екологічні карти забруднення ґрунтів цинком (коефіцієнт забруднення щодо фону)

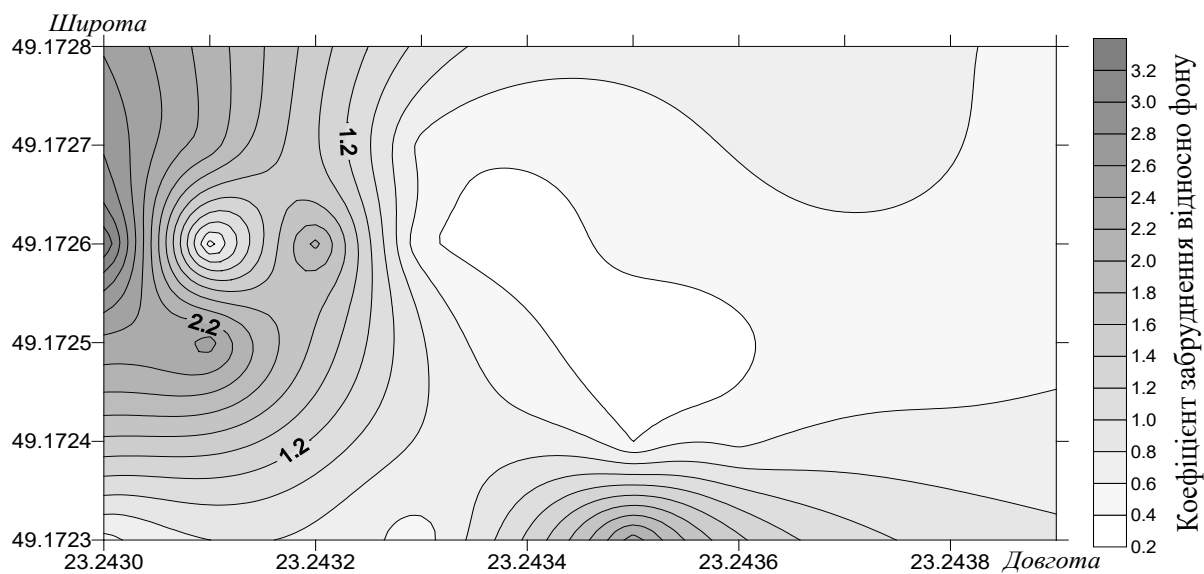


Рис. 11. Екологічні карти забруднення ґрунтів кадмієм (коефіцієнт забруднення щодо фону)

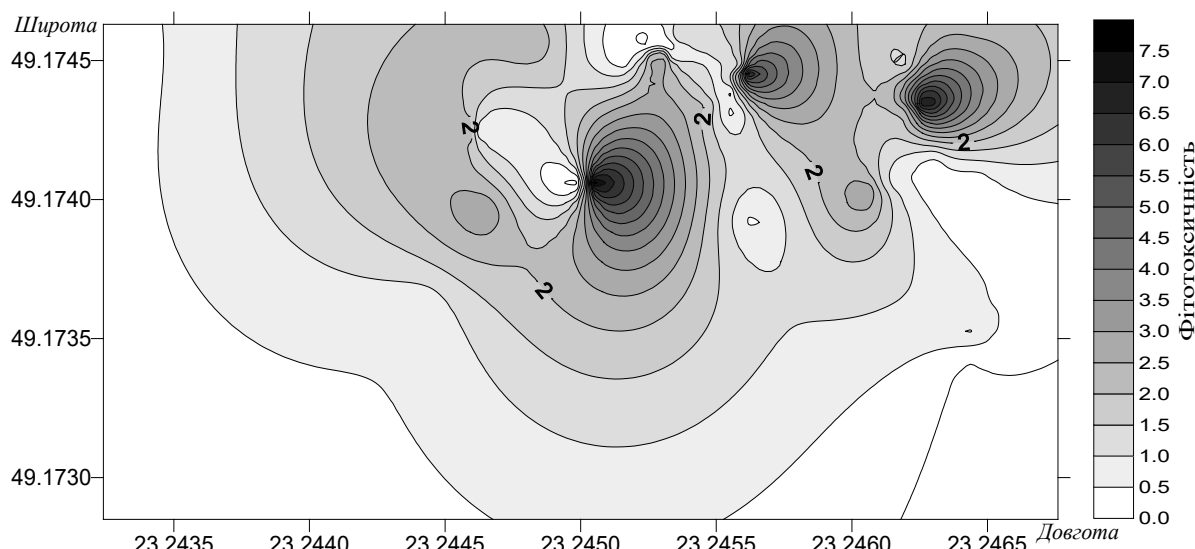


Рис. 12. Екологічна карта фітотоксичності нафтозабруднених ґрунтів озокеритової шахти м. Борислава

Проведено фітотоксичну оцінку відвальних ґрунтів озокеритової шахти методами біотестування з використанням чутливих рослинних тест-об'єктів: льону, соняшника, гречки. За отриманими даними побудовано екологічні карти фітотоксичності ґрунтів (рис. 12). За шкалою фітотоксичності [6] встановлено, що для досліджуваних ґрунтів характерні здебільшого загрозливий і передкризовий рівні забруднення, яким відповідають значення токсичності 0,6–1,5 та 1,5–3,0 відповідно (рис. 12) і вмісту нафтопродуктів 0,4–2,5 % та 2,5–10 %, відповідно.

Результати біотестування з використанням чутливих рослинних тест-об'єктів – льону, соняшника та гречки – корелюють з аналітичними даними кількісного вмісту нафти у ґрунті (див. рис. 3, 12): ізолнії слабого та середнього ступенів забруднення ґрунту нафтою, оцінені аналітично та за допомогою біотестування, розміщені в одних і тих же межах системи координат. Проте за допомогою методу оцінки токсичності нафтозабруднених ґрунтів виявлено окремі ділянки із сильним і катастрофічним рівнем забруднення, які не були помічені аналітичними методами. Це можна пояснити тим, що досліджувані ґрунти забруднені не лише нафтою та важкими металами, але й засолені, мають змінені

фізико-хімічні та біологічні властивості, набули гідрофобність тощо.

Головні висновки. Відвальні ґрунти озокеритовидобутку, розташовані в центральній частині м. Борислава, забруднені нафтопродуктами < 6%, хоча трапляються ділянки, в яких забруднення ґрунту нафтою сягає понад 12%. Виявлено антропогенне забруднення ґрунтів важкими металами. Коефіцієнт забруднення кадмієм щодо фону становить 2–2,5, цинком – 1,5–7; коефіцієнт забруднення щодо ГДК міддю – 2–6, нікелем 2–4. Значення фітотоксичності становить від 0,6–1,5 до 1,5–3,0; що свідчить про загрозливий і передкризовий рівні забруднення.

Отже, відвали озокеритової шахти м. Борислава забруднені нафтопродуктами, важкими металами і є постійним джерелом надходження в довкілля шкідливих речовин, а тому потребують тривалого екологічного моніторингу та рекультивативі. Враховуючи те, що озокеритова шахта розташована в центральній частині міста, найбільш прийнятним шляхом є фіторекультивативація відвалів.

Проведені дослідження дали змогу підтвердити важливість проблеми забруднення ґрунтового покриву нафтопродуктами на території нафтогазо-промислу та необхідність її вирішення.

Література

- ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, биологического, гельминтологического анализа. *Охрана природы. Почвы*. Москва : Издательство стандартов, 1993. С. 54–64.
- Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Пиннигина И.А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде : справ. изд. Москва : Химия, 1989. 368 с.
- Бетелев Н.П. Методы определения загрязнения грунтов углеводородами. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 1998. №1. С. 120–124.
- Якість ґрунту. Визначення рН (ISO10390:2005, IDT): ДСТУ ISO 10390:2007. Чинний від 01.10.2009. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 12 с.
- Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук важких елементів в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.1-9:2007. Чинний від 2009-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.

6. Методика екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів / О.І. Романюк та ін. *Вісник Дніпропетровського університету*. Біологія, екологія. 2016. № 24(2). С. 264–269.
7. Проведення екологічного моніторингу підземних вод, загазованості та забруднення ґрунтів на території м. Борислава / звіт про науково-дослідну роботу Д1-09 / О.І. Романюк та ін. Львів : Відділення ФХГК ІнФохВ імені Л.М. Литвиненка НАН України, 2009. 33 с.
8. Физико-химические характеристики загрязнения окружающей среды при техногенных катастрофах (разлив нефти) / Г.П. Лапина, Н.М. Чернавская, М.Е. Литвиновский, С.В. Сазанова. *Химическая и биологическая безопасность*. 2007. № 1(31). С. 24–32.
9. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. Москва : Изд-во МГУ, 1998. 376 с.

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 631.67:502.175](477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.19>

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СПОСОБІВ ЗРОШЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Алексєєва А.О.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, 54003, м. Миколаїв

Проаналізовано різноманітні способи зрошення, які використовуються в світі, на предмет екологічних характеристик і переваг. Показано, що спосіб дощування має ряд переваг над поверхневими способами поливу як за технічними характеристиками (створення оптимального водно-повітряного режиму ґрунту через регулювання поливної норми в широких межах (від 30...50 до 300...600 м³/га і більше); можливість зрошення ділянок з великим нахилом і складним мікрорельєфом; менш ретельне розпланування зрошуваних полів; можливість забору води із земляних каналів та із закритої мережі), так і за екологічними перевагами (менші витрати води, регулювання глибини зволоження ґрунту; поліпшення мікроклімату й розвиток кореневої системи). Краплинне зрошення є більш точним і ресурсоекономним, однак поки дорогим і не масово поширеним способом, хоча впроваджується частіше. Розглянуто, що окремі способи зрошення мають доповнювати один одного, а його вибір вирішується залежно від природно-господарських умов. Досліджено, що норми зрошення впливають на інтенсивність переходу екологічних поллютантів зі зрошувальної води у зрошувані сільськогосподарські культури. Водночас розмах коливань норм зрошення для краплинного способу визначається фазами розвитку культури (посів – початок цвітіння – зв'язування плодів – масове плодіння), але навіть за максимальними значеннями норми зрошення при краплинному засобі є на порядок меншими за аналогічні норми зрошення дощуванням. Тому можна очікувати суттєву відмінність величин допустимих рівнів радіоактивних речовин у зрошувальній воді при краплинному зрошенні порівняно зі зрошенням способом дощування. Вважаємо, що норми зрошення є обов'язковим фактором, який необхідно враховувати при визначенні допустимих рівнів вмісту радіоактивних речовин у воді, що подається на зрошення сільськогосподарських культур. *Ключові слова:* способи зрошення, норми поливу, дощування, краплинне зрошення.

Environmental impact assessment of methods of agricultural cultures irrigation. Aleksieieva A.

The various irrigation methods used in the world are analyzed for environmental characteristics and benefits. Thus, it is shown that the method of sprinkler irrigation has several advantages over surface irrigation methods, as for the technical characteristics (creation of optimum water-air regime of the soil through regulation of irrigation rate within wide limits (from 30... 50 to 300... 600 m³/ha and more); possibility of areas irrigation with a large inclination and difficult microrelief; less careful planning of irrigated fields; possibility of abstraction of water from earth channels and from closed network) and environmental benefits (lower water consumption, regulation of soil moisture; improvement of microclimate and development of root system). Although drip irrigation is a more accurate and economical way of irrigation, it is still expensive and not widespread, but it is more commonly implemented. It is shown that individual irrigation methods should complement each other, and the choice of irrigation method is decided depending on natural and economic conditions. Irrigation norms have been shown to influence on the intensity of the environmental pollutants transfer from irrigation water to irrigated crops. In this case, the magnitude of fluctuations in irrigation rates for the drip method is determined by the stages of crop development (sowing – the beginning of flowering – fruit binding – mass fertility), but even by the maximum values of irrigation rate in drip irrigation is much smaller than the same rates in sprinkler irrigation. Therefore, we can expect a significant difference in the values of the allowable levels of radioactive substances in irrigation water in drip irrigation compared with sprinkler irrigation. We believe that irrigation rates are a mandatory factor that must be taken into account when determining the permissible levels of radioactive substances in water supplied to irrigated crops. *Key words:* irrigation methods, irrigation rates, sprinkler irrigation, drip irrigation.

Постановка проблеми. В Україні, значна територія якої виступає зонами нестійкого й недостатнього зволоження, продовольче та ресурсне забезпечення також значною мірою залежить від наявності, стану та ефективного використання зрошуваних земель. Зрошувані землі розміщені в Україні переважно у степовій та лісостеповій природно-кліматичних зонах. Сьогодні державою визнано, що зрошення є необхідним фактором, від якого сільськогосподарське виробництво ускладнюється та дорожчає, але підвищується його ефективність та сталість.

Мета дослідження – розглянути екологічну оцінку способів зрошення сільськогосподарських культур.

Виклад основного матеріалу. За типом подачі води для зрошення сільськогосподарських культур розрізняють поверхнєве й точне дощування (краплинне, внутрішньогрунтове, мікродощування).

За допомогою поверхневого способу поливу вода розподіляється полем самопливом спеціально побудованою регульовальною мережею трьох видів: поливні борозни, поливні смуги, окремі ділянки (чеки). Відповідно полив називають за борознами,

напуском за смугами, затопленням. Але якщо похили поверхні поливних ділянок більше 3%, то такий спосіб не застосовують.

Полив за борознами. Такий полив застосовують для зрошення овочевих, технічних, баштанних культур і картоплі, а також садів і виноградників. Вода по полю розподіляється за допомогою спеціально нарізаних борозн (рис. 1). Коренемісткий шар ґрунту зволожується за рахунок всмоктування води під час руху за борознами. Найкращі умови для поливу по борознах на ґрунтах зі слабкою та середньою водопроникністю (важких) і за незначних похилів поля.

Полив за смугами. Напуском по смугах поливають культури суцільної сівби – трави, зернові, зернобобові. Застосовують на полях з глибоким заляганням ґрунтових вод на важких ґрунтах (рис. 2).

Зрошуване поле поділяють земляними валиками висотою 15–25 см на смуги. Ширина смуги повинна дорівнювати ширині захвату сівалки (3,6 метрів) або бути кратною їй. Поливна вода, надходячи на смугу, розтікається по ній суцільним шаром від 3 до 12 см висотою. Водночас істотне значення має вирівнювання поверхні.

Екологічні недоліки способів поливу за борознами і смугами:

- сильне затоплення поверхні поля;
- значні втрати води через нерегульовану її подачу.

Полив затопленням. Застосовують при вирощуванні рису. Зрошуване поле поперечними і повздовжніми земляними валиками розбивають на окремі ділянки – чеки, які заповнюють водою (рис. 3). Ділянки, виділені під затоплення, повинні мати дуже малі похили, низьку водопроникність ґрунту. На легких ґрунтах з високим рівнем ґрунтових вод за відсутності водотоку не можна застосовувати цей спосіб поливу, це може призвести до заболочування.

Оскільки при затопленні у ґрунті відбуваються низхідні токи води, що вимивають солі з коренемісного шару, рис можна



Рис. 1. Полив за борознами



Рис. 2. Полив за смугами



Рис. 3. Полив затопленням

виросувати на засоленних ґрунтах, він є меліоруючою культурою. Поле розбивається на карти довжиною 40–1500 м, шириною 150–250 м. Карти поділяють валиками на чеки, кількість і розміри яких залежать від рельєфу і похилу поля. Площа чека повинна бути не менша 2 га, а довжина однієї з сторін не менше 200 м. Найчастіше при сприятливому рельєфі вся карта може являти собою єдиний чек, тоді її називають картою-чеком.

Дощування. Це спосіб поливу, за якого вода спеціальними апаратами викидається в повітря, подрібнюється на краплини і у вигляді штучного дощу падає на ґрунт і рослини (рис. 4).

Дощування має ряд переваг над поверхневими способами поливу по борознах чи смугах. За технічними характеристиками виділяють такі переваги:

- поливна норма регулюється більш точно і в широких межах (від 30...50 до 300...600 м³/га і більше), що дає змогу створити водно-повітряний режим ґрунту, близький до оптимального;
- можна поливати як гладкі ділянки, так і ділянки з великим похилом і складним мікрорельєфом;
- потрібне менш ретельне розпланування полів;
- забір води можливий із земляних каналів, а також із закритої мережі.

Екологічні переваги:

- менші витрати води;
- регулювання глибини зволоження ґрунту;
- поліпшення мікроклімату і розвиток кореневої системи тощо.

Системи зрошення дощуванням постійно удосконалюються відповідно до потреб землекористувачів. На сьогодні застосовують як пересувні, так і стаціонарні системи, сезонні або постійні, що використовуються для надкранового або підкранового поливу при різних витратах і тисках води. Більшість культур у світовій практиці зрошують дощувальними

машинами типу СІДАД, Шеффер, Netap, Шеврон, Intersigma, СІД, ДДН, Росинка, Дніпро, КДУ, Фрегат, Волжанка та інші [3].

Переваги зазначених систем полягають у наступному:

- 1) простота використання;
- 2) можливість застосування на ділянках різної площі та топографії;
- 3) висока ефективність зрошення;
- 4) зміна інтенсивності зрошення в широкому діапазоні залежно від інфільтраційної здатності ґрунту;
- 5) зрошення будь-яких типів ґрунтів;
- 6) економічна та екологічна доцільність застосування;
- 7) рівномірний розподіл вологи в ґрунті на зрошуваних полях;
- 8) створення мікроклімату над рослинами з метою захисту від сонячної радіації та інших небезпечних факторів.

Екологічними недоліками систем дощування є:

- а) значні енерговитрати для роботи дощувальних систем;
- б) втрати води на випаровування (до 30 %);
- в) значні втрати води на великих ділянках або на ділянках, які мають неправильну форму.

У різних країнах застосовуються різні дощувальні машини. Наприклад, у США для реалізації великомасштабних іригаційних проектів насамперед використовуються шарнірно-кругові та лінійно-пересувні поливні системи фірми «Валлер». У світі зрошується понад 4 млн га земель. Вартість урожаїв, що отримують на полях, де застосовуються такі системи, перевищує 3 млрд доларів США [3].

Точне зрошення. Такий тип поливу полягає в автоматичному керуванні зрошенням (тривалість роботи системи, норма виливу тощо) на основі різномісних даних (вологість ґрунту, густина зростання рослин, прогноз погоди тощо). Точне зрошення впроваджується й в Україні. Одним з найперших подібний проект реалізувало торік акціонерне товариство «Фрідом Фарм Інтернешнл»: вони мають 26 тис. га на зрошенні і дуже добрі показники по сої. В аграрній компанії минулого року на площі майже 1000 га було встановлено 14 поливних машин, в яких присутня система точного зрошення. Вони не тільки обладнані комп'ютерами і керуються через смартфон, а ще й отримують дані з метеостанцій у радіусі 30 км. На їх основі комп'ютери дощувальних машин роблять прогнози погоди і з урахуванням їх, а також складу і вологості ґрунту, культури, виконаних агротехнологічних операцій



Рис. 4. Спосіб дощування

виробляють програму поливу, яку отримують агрономи та гідротехніки. Крім того, система постійно записує низку ключових показників (вологість ґрунту, кількість вилитої води тощо), доступ до яких мають керівники і власники агрофірми і таким чином можуть перевірити роботу своїх працівників. У 2017-му «Фрідом Фарм Інтернешнл» удвічі збільшила обсяги придбання таких систем [5].

Краплинне зрошення. Поки польові культури зрошували дощувальними машинами, більш інтенсивні – овочеві, ягідні, плодові – активно переходили на краплинні системи. Вони вимагають значних інвестицій – 1000–2000 \$/га, однак і віддачу приносять дуже відчутну. Овочівники пересвідчилися, що краплинне зрошення, завдяки тому, що подає воду безпосередньо до кореневої системи, дозволяє знизити витрати води на 40% порівняно з дощуванням. Ще одна перевага краплинних систем – можливість розташування на схилах, що неможливо для систем дощування.

На Півдні України вже не уявляють ефективного овочівництва без краплинного зрошення. Ще кілька років тому у Каховському районі, овочевій столиці України, 95% поливних земель зрошувалося саме краплинними системами [4].

Переваги краплинного зрошення починають відкривати для себе й виробники польових культур [4].

В Україні останнім часом проводилися експерименти з вирощування в промисловому обсязі на краплинному зрошенні кормової кукурудзи, сої, цукрового буряка і навіть рису. Замість того, щоб повністю заливати поле водою, прокладається краплинна стрічка рядами через 80 см, і через них підтримується максимальна вологість ґрунту. Щоб вилити необхідну кількість води, система працює до 22 год на добу. Це дає змогу обходитися розходом води в 10–11 тис. м³/га за сезон, зменшити витрати добрив і водночас поліпшити екологічну ситуацію, уникнувши заболочування ґрунту і змивання значної частини добрив у чеки. За даними компанії «Нетафім Україна» (український підрозділ ізраїльської компанії Netafim, яка й винайшла 50 років тому краплинне зрошення) врожайність рису складала 10,5–12,6 т/га, водночас у ньому не накопичувався миш'як, що трапляється під час заболочування ґрунту, тобто продукцію можна було використовувати навіть для дитячого харчування.

Найбільшого поширення серед усіх польових культур краплинне зрошення отримало на кукурудзі. За даними компанії «Нетафім Україна», врожайність кормової кукурудзи на краплинному зрошенні в сезоні 2015–2016 рр. становила 14–16 т/га, що дало змогу окупити затрати навіть на цю недешеву систему [5].

На сої у сільськогосподарського товариства з обмеженою відповідальністю «Дніпро» на Черкащині вдалося отримати 4,2–4,5 т/га, тоді як на дощуванні врожаї становили зазвичай 2–3,5 т/га і лише в найкращі роки – 4 т/га, а на богарі – 1–1,5,

в кращому разі 1,8 т/га. Цукрового буряка на краплинному зрошенні в товаристві з обмеженою відповідальністю «Астарт-Київ» зібрали по 80–85 т/га, а в приватному підприємстві «Сенатор-Агро-Плюс» на окремих ділянках вона досягала 138 т/га [5].

Найновіші технології зрошення. В Ізраїлі зараз ті, у кого дощувальні машини відслужили свій вік, не купують натомість нових. Замість них встановлюють краплинні системи, зазвичай підземні і довговічні, які служать по 10–20 років, а не знімаються щосезону, як більшість наземних. Так вирішуються проблеми, характерні для дощування. По-перше, сильна нерівномірність поливу. Рослина під час дощування хоча й отримує рекомендовану дозу води, однак сприймає цей процес як чергування короткочасних злив з тривалими періодами посухи. Відповідно переживає стрес, на відміну від періоду, коли полив рівномірний. По-друге, крупні краплини, характерні для дощувальних машин, можуть і прибити маленькі ростки. По-третє, під час дощування утворюється поверхнева кірка, що порушує аерацію ґрунту [5].

Ще однією тенденцією зрошувальної галузі є **мікродощування**. Це те саме дощування, тільки виконується воно не зрошувальними машинами, а спринклерами, що розставляються по полю вручну через кожні 10–12 м. До них поліетиленовою трубою подається вода, а потім розбризкується краплями розміром 4–4,5 мм – меншими, ніж дають дощувальні машини. В Ізраїлі в такий спосіб поливається низка овочевих культур, які у нас зазвичай зрошуються дощуванням: картопля, морква, капуста, редиска, салат, а також часник. На цибулі такі системи застосовуються в перші 3–4 тижні вегетації одночасно з краплинним зрошенням. Після цього спринклери переносять, залишаючи тільки краплинну систему.

Мікродощування застосовується не тільки на овочевих, а й на деяких ягідних (наприклад, на суниці) та плодових культурах. У садах, за словами О. Матвійця, вони використовуються не тільки для поливу, а й для туманоутворення при загрозі заморозків. Такі проекти теж уже працюють в Україні.

Однак при наявності різноманітних типів систем зрошення (звичайного, точного зрошення, краплинного зрошення, мікродощування) всі вони повинні мати джерело водного забезпечення, від якості води якого залежить насамперед якість зрошувальної води.

За вмістом в ній радіаційних полунтантів (Q_r) якість зрошувальної води буде визначатися кількісним показником переходу радіонуклідів (r) з води у рослину k_r ($\frac{B_k/k_2}{B_k/l}$):

$$Q_r = Q_r(k_r)$$

На перехід радіонуклідів зі зрошувальної води в зрошувані сільськогосподарські культури буде впливати кількість води, яка потрапляє до рослини, що визначається нормами зрошення N_{ir} .

Норми зрошення сільськогосподарських культур, м³/га

Сільськогосподарська культура	*) Збірник норм водопотреби видання, 1984 р.	**) Інститут зрошувального землеробства, 1986 р.	*) Інститут водних проблем і меліорації, 2014 р.	Різниця м ³ /га
Кукурудза на зерно (середньостиглі гібриди)	2300	1900	2500	100–600
Люцерна 2-го року	3600	3500	3700	100–200
Кормовий буряк	2800	3300	3600	300–800
Томати	2700	2600	3000	300–400
Кукурудза стерньова	1900	1900	2000	100
Соя рання	-	2500	2700	200

Таблиця 2

Норми зрошення для крапельного способу

Сільськогосподарська культура	Норма зрошення, м ³ /га (границі меж норм для всіх фаз розвитку)
Томати	40–100
Огірок	30–50
Капуста білоголова	45–80
Перець солодкий	65–100
Цибуля ріпчаста	25–80
Морква	65–180
Буряк столовий	75–200
Кабачок	55–120
Баклажани	75–110
Часник	25–60

Проаналізуємо норми зрошення для різних способів зрошення.

Для способу дощування норми зрошення (розраховані як норми водопотреби) наведено за різними джерелами [2].

Порівняння норм водопотреби, розрахованих у різні роки протягом останніх трьох десятиріч, свідчать, що у наведених сільськогосподарських культур спостерігається зростання норм водопотреби в зрошенні при порівнянні з існуючими раніше нормативами на 10–15%. В екстремально посушливі роки ця різниця по окремих сільськогосподарських культурах досягає 20% [2].

Для крапельного способу норми зрошення наведено за Стандартом [1] (табл. 2).

Розмах коливань норм зрошення для крапельного способу визначається фазами розвитку культури (посів – початок звітіння – зв'язування плодів – масове плодіння). Однак, навіть за максимальними значеннями норми поливу при крапельному зрошенні на порядок менші за аналогічні норми зрошення дощуванням.

Це має бути враховано при визначенні допустимих рівнів вмісту радіоактивних речовин у воді, що подається на зрошення сільськогосподарських культур.

Висновки. Вибір способу зрошення зумовлюється конкретними природно-господарськими умовами (кліматичні, геоморфологічні, ґрунтово-геологічні, агробіологічні, господарські). Визначено екологічні переваги та недоліки від застосування відомих способів зрошення. Однак окремі способи зрошення мають доповнювати один одне, а вибір способу зрошення вирішується залежно від природно-господарських умов.

На перехід екологічних поллютантів, в тому числі радіоактивних, зі зрошувальної води у зрошувані сільськогосподарські культури впливає кількість води, яка потрапляє до рослини, що визначається нормами зрошення. Норми поливу при крапельному зрошенні на порядок менші за аналогічні норми зрошення дощуванням. Це має бути враховано при визначенні допустимих рівнів вмісту радіоактивних речовин у воді, що подається на зрошення сільськогосподарських культур.

Література

1. ДСТУ 7596 : 2014. Мікрозрошення. Краплинне зрошення овочевих культур. Загальні вимоги та способи контролювання. Київ, 2015. 12 с.
2. Жовтоног О.І. та ін. Нормування водопотреби у зрошенні сільськогосподарських культур з урахуванням сучасних умов водоземлекористування. *Меліорація і водне господарство* : збірник. Київ, 2015. Вип. 102. С. 49–53.
3. Клепиков О.Д. Вплив гідромеліораційних заходів на продуктивність сільгоспугідь [Електронний ресурс]: nbuv.gov.ua › j-pdf › Rav_2017_29_9].
4. Крапельне зрошення на польових культурах може окупитися за 1-2 сезони. *Пропозиція : Головний журнал з питань агробізнесу* : веб-сайт. URL: <https://propozitsiya.com/ua/krapelne-zroshennya-na-polovyyh-kulturah-mozhe-okupytytsya-za-1-2-sezony>.
5. Крапельне зрошення як нагальна потреба українського АПК. *Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу* : веб-сайт. URL: <https://propozitsiya.com/ua/krapelne-zroshennya-yak-nagalna-potreba-ukrayinskogo-apk>.

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ ПІД ЧАС ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Барабаш О.В.

Національний транспортний університет
вул. Омеляновича-Павленка, 1, 01010, м. Київ
el_barabash@ukr.net

У статті розглянуто особливості застосування структурного підходу для визначення організації діяльності системи «Суб'єкт господарювання» під час впровадження режиму екологічного управління відповідно до вимог ДСТУ ISO 14001:2015. Встановлено, що організація екологічної діяльності системи «Суб'єкт господарювання» полягає в упорядкуванні відносин та взаємозв'язків трьох підсистем та їх елементів – «Внутрішнє середовище», «Зовнішні стейкхолдери» та «Довкілля» в часовому та просторовому аспектах. На основі структурного підходу визначено три аспекти функціональної організації діяльності системи «Суб'єкт господарювання»: організацію екологічно результативного функціонування підсистем системи «Суб'єкт господарювання»; організацію ефективного управління підсистемами системи «Суб'єкт господарювання»; організацію екологічно дієвого функціонування підсистем системи «Суб'єкт господарювання». Виявлено, що організація екологічної діяльності підсистем системи «Суб'єкт господарювання» може розглядатись як певна виробнича одиниця зі всіма необхідними ознаками підприємницького устрою, направленіми на досягнення функціонування ефективного розпорядку екологічного управління. Встановлено, що під час впровадження процедури екологічного управління для «Суб'єкту господарювання» виникає необхідність у зміні принципів організації структури та процесів системи «Суб'єкт господарювання», що надасть можливості для її ефективного функціонування в умовах організаційних змін. Розгляд контексту системи «Суб'єкт господарювання» як структури з вбудованими підсистемами дозволить провести необхідні зміни в організації діяльності системи «Суб'єкт господарювання» та екологічного управління на підприємстві, пристосувати параметри функціонування організації до вимог діючого законодавства та створити ефективно функціонуючий режим екологічного управління. *Ключові слова:* суб'єкт господарювання, системний підхід, екологічна дієвість, ефективність управління, екологічна результативність, ефективність функціонування, система екологічного управління.

Improvement in the organization of economic entities activity during the implementation of environmental management system. Barabash O.

The article considers the features of applying a systematic approach for determining the organization of activity in the Business Entity system during the implementation of the environmental management system in accordance with the requirements of DSTU ISO 14001: 2015. It was established that the organization of environmental activity in the Business Entity system is the ordering of relations and interconnections between the three subsystems and their elements – “internal environment”, “external stakeholders”, “environment” in temporal and spatial aspects. Based on the systematic approach, three aspects of the functional organization of the activity in the Business Entity system are identified: the organization of environmentally efficient functioning of the subsystems in the Business Entity system; organization of effective management for the subsystems in the Business Entity system; organization of environmentally efficient functioning of the subsystems in the Business Entity system. It was found that the organization of the environmental activity of the subsystems in the Business Entity system may be considered as a specific production unit with all the necessary features of the production system aimed at achieving the functioning of an effective environmental management system. It was established that during the implementation of the environmental management system for Business Entity, there is a need to change the principles of organization for the structure and processes of the Business Entity system, which will provide opportunities for its efficient functioning in the context of organizational changes. Considering the context of the Business Entity system with embedded subsystems will make necessary changes in the organization of the activity for Business Entity and environmental management systems at the enterprise, adjust the parameters of the organization's functioning to the requirements of the current legislation and create an effective environmental management system. *Key words:* business entity, systematic approach, environmental performance, effective management, environmental effectiveness, efficient functioning, environmental management system.

Постановка проблеми. За даними Фонду державного майна в Україні станом на 01 жовтня 2019 року налічується 3475 суб'єктів господарювання урядового сектору економіки (державних підприємств, їх об'єднань, дочірніх підприємств та господарських товариств), владна частка у статутному капіталі яких перевищує 50 відсотків. Виходячи з вимоги техногенної безпеки, що базується на відповідному господарсько-екологічному ризику діяльності, суб'єкти господарювання згідно з законодав-

ством України поділяються на три основні групи за ступенем ризику: високий, середній та незначний. Не зважаючи на це, організація діяльності суб'єктів господарювання розглядається лише як процес забезпечення функціонування та взаємодії її різних підрозділів для досягнення поставлених цілей. Таким чином, підприємства та організації розглядаються лише як суб'єкти економічно-правових відносин, які не взаємодіють із навколишнім природним середовищем. Якщо організація діяльності впорядковує

технічну, економічну, соціально-психологічну та правову сторони функціонування сучасного «Суб'єкту господарювання» (далі – СГ), то під час впровадження процедури екологічного управління вона налагоджує роботу підсистем та елементів системи «Суб'єкт господарювання», розкриває їх контекст, життєздатність і взаємозв'язки та застосовує необхідні зміни і їх реорганізацію.

Актуальність дослідження. Основні концептуальні положення системного підходу доцільно застосовувати для пізнання та пояснення явищ і процесів матеріального виробництва. Оскільки основний зміст організації та функціонування екологічної діяльності СГ під час впровадження режиму екологічного управління полягає в упорядкуванні відносин та взаємозв'язків трьох підсистем «Внутрішнє середовище», «Зовнішні стейкхолдери», «Довкілля» та їх елементів в часовому та просторовому аспектах, то СГ в цьому випадку має всі необхідні ознаки системи.

Таким чином, визначення організації екологічної діяльності системи СГ відбувається в межах певного утворення, наповненого окремими елементами та відносинами, які відповідають управлінській одиниці, функція якої направлена на досягнення ефективної роботи структури екологічного управління. Тому питання взаємодії елементів, їх функцій для удосконалення устрою діяльності СГ під час впровадження системи екологічного управління є актуальним і затребуваним керівництвом підприємств та організацій для досягнення відповідності вимогам ДСТУ ISO14001:2015.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема відповідає актуальним напрямкам в сфері забезпечення збалансованого рівня екологічної безпеки України, які визначають курс розвитку держави на найближче майбутнє та прискорюють рух в напрямку збалансованого виробництва і споживання для соціо-еколого-економічного розвитку в межах можливої ємності екосистем [1].

Дослідження виконані в межах держбюджетної науково-дослідної роботи на кафедрі екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету «Удосконалення та розробка методів екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальні питання щодо поняття та видів СГ об'єктивно розкриті у наукових працях в галузі господарського права О.А. Беяновичем [2], О.М. Вінником [3], С.М. Грудницькою [4], Г.Л. Знаменським [5]. Автори А.Г. Бобкова [6], І.Ф. Коваль [7] розглядали особливості організації СГ відповідно до виду їх економічної діяльності. Маркетингові процеси та механізми розробки заходів з підвищення ефективної діяльності підприємств були проаналізовані С.М. Creveling [8], Н.В. Банніковою [9], А.Д. Виварцем [10] та М.А. Санович [11]. Питання розробки заходів

з підвищення рівня екологічної діяльності підприємств були висвітлені В.І. Савкіним [12]. В працях І.М. Жолобчук [13] та О.А. Табекіна [14] розглянуто процеси екологізації діяльності підприємств та формування механізмів екологічного управління.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В науковій літературі, яка здебільшого має економічний напрямок досліджень, не розкрито механізм організації діяльності системи СГ під час розробки, впровадження та функціонування режиму екологічного управління. Під час визначення елементів організації діяльності СГ недостатньо уваги приділяється виявленню ознак системи. Особливістю системи СГ є як встановлення меж для відокремлення одного підприємства від іншого, так і забезпечення її постійної взаємодії з навколишнім природним середовищем. Подальшого вирішення потребують питання визначення контексту системи СГ, її підсистем, взаємозв'язкам та особливостям функціонування їх елементів.

Метою даної роботи є розвиток наукових основ застосування структурного підходу для визначення організації діяльності системи СГ та її підсистем під час впровадження режиму екологічного управління.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати наукової роботи дозволять визначити структуру, форми, процеси та механізми організації системи екологічного управління під час її впровадження, які відіграють вирішальну роль у її ефективному функціонуванні.

Викладення основного матеріалу. СГ під час розробки та впровадження устрою екологічного управління повинні розглядатись класифіковано, тобто у вигляді системи, яка складається з підсистем, ознаки яких різняться від властивостей елементів, що входять до їх складу. Підсистеми структури СГ об'єднують три важливі для функціонування системи екологічного управління (далі – СЕУ) аспекти: кадровий склад організації чи підприємства, який має набір необхідних компетентностей та є вмотивованим на впровадження ефективно функціонуючої СЕУ; перспективи щодо отримання ресурсів з навколишнього середовища для свого існування та зменшення впливу на стан природних компонентів довкілля під час діяльності, направленої на створення продукту або послуги; постійний контроль, який здійснюється працівниками підприємства чи організації та у відповідності до рекомендацій та вимог зовнішніх стейкхолдерів. Тому для організації діяльності під час розробки та впровадження ефективно функціонуючої СЕУ пропонуємо представляти структуру СГ у єдності трьох підсистем – «Внутрішнє середовище», «Зовнішні стейкхолдери» та «Довкілля».

Підсистеми «Зовнішні стейкхолдери» та «Довкілля», які, здавалося б, знаходяться поза межами структури СГ, є надзвичайно важливими під час впровадження СЕУ,

оскільки впливають на її діяльність і функціональний стан. Налагоджена робота і взаємодія цих підсистем та їх елементів дозволяє досягнути стратегічних цілей та завдань підприємства, виконати зобов'язання, викладені в екологічній політиці та програмі СЕУ. Процеси, які відбуваються у системі «Внутрішнє середовище», дозволяють шляхом мотивування та навчання персоналу не лише зменшити вплив діяльності, продукції та послуг на стан природних компонентів довкілля, але й призводять до створення готового продукту або послуги кваліфікованим і досвідченим персоналом із застосуванням ефективних технологій, які направлені на екологізацію виробництва.

Організацію діяльності устрою СГ та його підсистем під час впровадження СЕУ можна подати у вигляді взаємодії певних елементів – структура, форма, процес, механізм (рис. 1).

Структура організації діяльності структури СГ залежить від логічних взаємовідносин між усіма підсистемами для забезпечення ефективного управління, досягнення екологічної результативності та дієвості як основних показників ефективно функціонуючої СЕУ. В основі структури організації діяльності устрою СГ під час розробки та впровадження СЕУ знаходяться підсистеми «Внутрішнє середовище» та «Зовнішні стейкхолдери», які дозволяють притримуватись зобов'язань, викладених СГ в екологічній політиці та стратегії; модернізувати виробництво; створити сприятливі взаємовідносини із зовнішніми зацікавленими сторонами; забезпечити підприємство чи організацію відповідним кадровим складом; визначити фінансові ресурси та правові вимоги, необхідні для функціонування СЕУ.

Форма організації діяльності пов'язана з інтеграцією основних і допоміжних елементів підсистем структури «СГ» на кожному етапі розробки СЕУ в один інтегрований процес з лінійно-просторо-

вою класифікацією при паралельно-послідовному постійному поліпшуванні всіх видів діяльності СГ для зменшення техногенного тиску на стан природних компонентів довкілля. Така форма організації дозволить поєднати всі етапи розробки, впровадження та функціонування СЕУ – від визначення контексту СГ до сертифікаційного екологічного аудиту для виявлення відповідності взятих керівництвом СГ на себе зобов'язань вимогам ДСТУ ISO 14001:2015.

Процес організації діяльності – це заздалегідь сплановане поєднання великої кількості ходів, що здійснюються у трьох підсистемах устрою СГ та містять цілеспрямовані дії, направлені на визначення контексту і встановлення взаємозв'язків між підсистемами, аналізування екологічних аспектів, формування екологічної політики та програми, а також коригування невідповідностей для забезпечення постійного поліпшування показників СЕУ і досягнення її ефективного функціонування.

Механізм організації діяльності полягає в проведенні моніторингу всіх підсистем та їх елементів, який полягає в контролі та спостереженні за: життєздатністю середовища та розвитком комунікацій в системі СГ, можливостями та ризиками, пов'язаними з його екологічною діяльністю; вибором та застосуванням управлінських підходів, які враховують специфіку підсистем структури СГ; ідентифікацією екологічних аспектів діяльності, продукції та послуг СГ, що суттєво впливають на стан природних компонентів довкілля; переглядом та оновленням екологічної політики; досягненням цілей та завдань екологічної програми СЕУ; оптимальним поєднанням централізації та децентралізації СЕУ; рівномірним розподілом робіт, направлених на постійне поліпшення СЕУ; обліком нових ідей, які з'являються на практиці та в теорії; розвитком механізмів

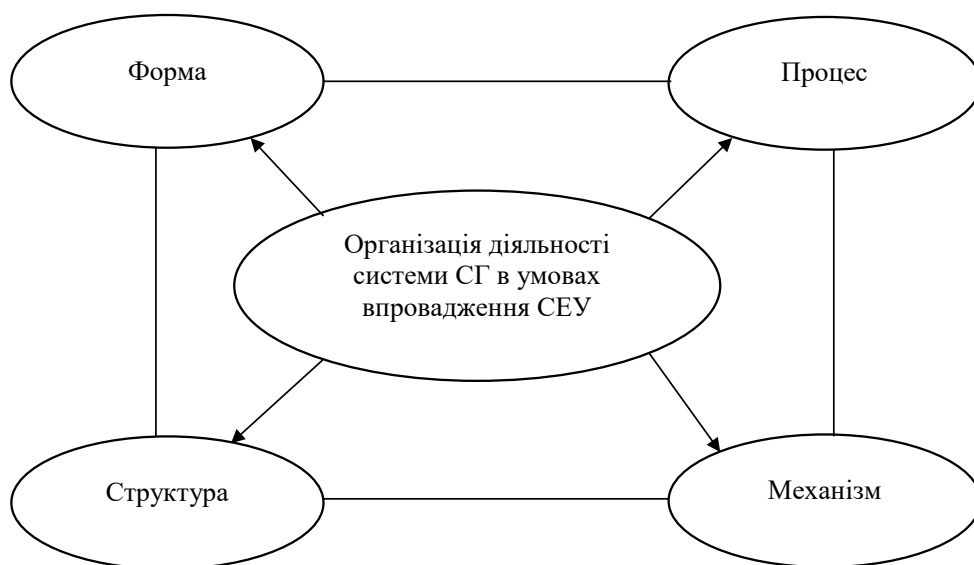


Рис. 1. Схема організації діяльності системи СГ

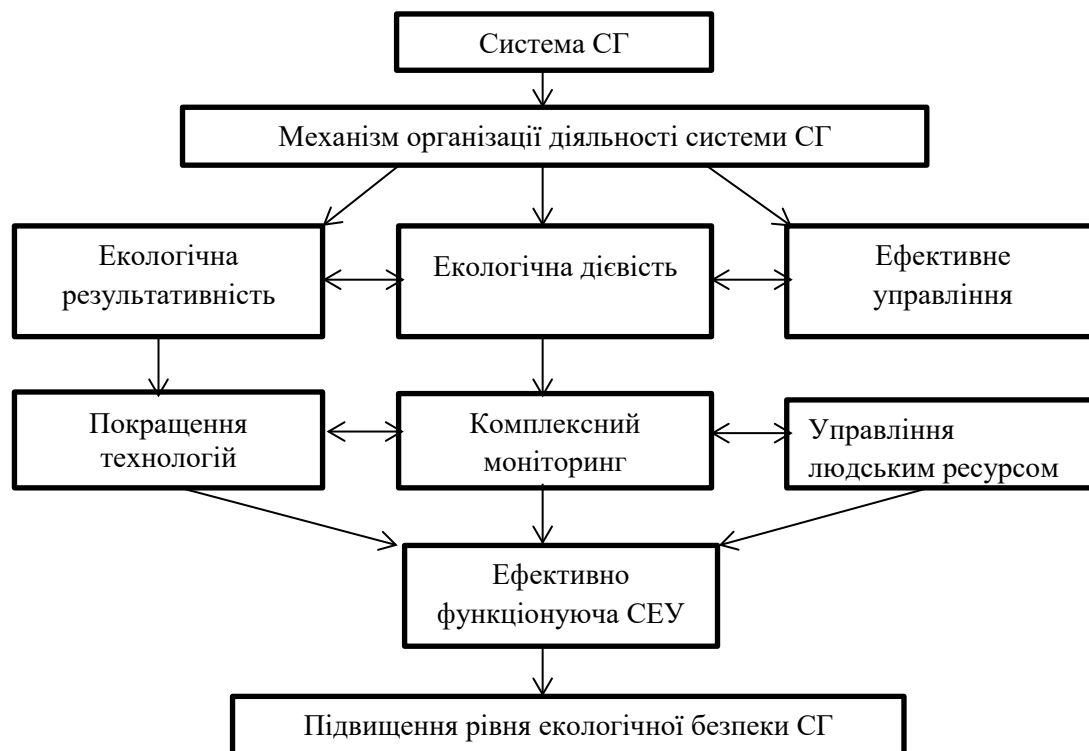


Рис. 2. Механізм організації діяльності системи СГ в умовах впровадження та функціонування СЕУ

корпоративної культури; контролем за кадровим складом підприємства; отриманням комплексної інформації щодо впливу діяльності СГ на стан природних компонентів довкілля; відповідністю даних моніторингу до встановлених стратегічних цілей та зобов'язань щодо постійного покращення СЕУ (рис. 2).

Таким чином, механізм організації діяльності СГ під час розробки та впровадження СЕУ є основою для забезпечення її ефективного функціонування шляхом покращення підсистем структури СГ за такими показниками:

- екологічна результативність;
- ефективне управління;
- екологічна дієвість.

Кожен з цих показників має свій зміст.

Перший із них – організація екологічно результативного функціонування підсистем системи СГ включає:

- організацію умов для покращення екологічних характеристик сировини;
- організацію умов для покращення екологічних характеристик продукції;
- організацію переходу до екологічності у процесах постачання;
- організацію функціонування технологічного обладнання.

Другий показник – організація ефективного управління підсистемами структури СГ включає:

- організацію усіх виробничих процесів;
- організацію функціонування чинного нормативно-правового забезпечення;

- організацію фінансування екологічних заходів;
- організацію управління документацією;
- організацію функціонального стану СЕУ;
- організацію управління персоналом;
- організацію управління зовнішніми стейкхолдерами.

Третій показник – організація екологічно дієвого функціонування підсистем структури СГ включає:

- організацію контролю якісних показників стану природних компонентів довкілля;
- організацію контролю кількісних параметрів викидів, скидів забруднюючих речовин та кількості відходів.

- організацію коригувальних заходів для покращення ступеня збереження та відновлення стану природних компонентів довкілля.

Висновки. Встановлено, що під час впровадження СЕУ для підприємств чи організацій виникає необхідність змін в організації діяльності СГ. Центром таких змін буде виступати організація діяльності не виробництва, а системи СГ, направлена на створення нового формату функціонування трьох підсистем – «Внутрішнє середовище», «Зовнішні стейкхолдери» та «Довкілля». Основою механізму організації діяльності СГ під час розробки та впровадження СЕУ є покращення роботи підсистем СГ за показниками екологічної результативності, ефективного управління та екологічної дієвості, постійне поліпшування яких є ознакою добре функціонуючої СЕУ.

Література

1. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17> (дата звернення: 27.07.2019).
2. Беляневич О.А. Господарське договірне право України : теоретичні аспекти. Київ : Юрінком Інтер, 2006. 592 с.
3. Вінник О.М. Господарське право : курс лекцій. Київ : Атіка, 2005. 624 с.
4. Грудницькая С.Н. Хозяйственная правосубъектность государственных предприятий : проблемы теории и практики. Донецк : Юго-Восток, ЛТД, 2011. 428 с.
5. Знаменський Г. Л. Коментар до глави 6 ГК України. *Науково-практичний коментар Господарського кодексу України*. Київ : Юрінком Інтер, 2004. 441 с.
6. Бобкова А.Г. Правовое обеспечение рекреационной деятельности. Донецк : Юго-Восток, ЛТД, 2000. 308 с.
7. Коваль І.Ф. Господарсько-правове регулювання відносин у сфері промислової власності. Донецьк : Юго-Восток, ЛТД, 2013. 639 с.
8. Creveling C.M. Six Sigma for Marketing Processes : An Overview for Marketing Executives, Leaders, and Managers. Prentice Hall, 2006. 304 p.
9. Банникова Н.В. Нематериальное стимулирование эффективной природоохранной деятельности предприятий. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2016. № 4. С. 4–15.
10. Выварец А.Д. Экономика предприятия : учебник. Москва : ЮНИТИДана, 2012. 543 с.
11. Санович М.А. Разработка мероприятий по повышению эффективности деятельности компании. *Nauka-rastudent.ru*. 2015. N 13. URL: <http://naukarastudent.ru/13/2336/> (дата звернення: 20.01.2020).
12. Савкин В.И. Формирование информационной базы устойчивого экологоэкономического развития как основы для анализа и принятия стратегических управленческих решений. *Экономический анализ : теория и практика*. 2010. № 16. С. 36–41.
13. Жолобчук І.М. Концептуальні основи формування механізмів екологічного управління в сучасних умовах. *Ефективність державного управління*. 2017. Вип. 1 (50). Ч. 2. С. 233–240.
14. Табекина О.А., Федотова О.В. Особенности процесса экологизации российских предприятий. *Вопросы современной экономики*. 2013. № 2. С. 297–310.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Качановський О.І.

ВСП «Рівненський коледж
Національного університету біоресурсів
і природокористування України»
вул. Коперника, 44, 33001, м. Рівне
Myzvk2014@gmail.com

Україна є державою з унікальною мінерально-сировинною базою, багатства надр якої зумовлені особливостями геологічної будови її території. Одна з особливостей полягає в тому, що в межах країни поширені найголовніші складники геоструктурної зони земної кори: платформні, геосинклінальні та перехідні між ними області (крайові прогини). Ці зони характеризуються специфічними рисами геологічної будови і поширенням у їх межах певних видів корисних копалин. В геологічній будові території беруть участь різноманітні за своїм складом і походженням гірські породи, які за геологічним віком належать до всіх періодів від найбільш давньої архейської ери до сучасного четвертинного періоду. У статті проведено комплексний аналіз істотного виснаження природних ресурсів внаслідок інтенсивного видобутку корисних копалин, вплив видобувної промисловості на стан земельних ресурсів країни. Проаналізовано кількісні характеристики об'єктів обліку видобутку корисних копалин. Надано економічну оцінку природно-ресурсного потенціалу та досліджено економічну політику держави в контексті ефективного управління природними ресурсами. Підкреслено актуальність здійснення видобутку корисних копалин із застосуванням екологічно орієнтованих технологій з метою мінімізації використання земельних ресурсів і збереження їх природних функцій. Описано можливі результати рекультивції порушених земель для національної економіки. Натепер ситуація у видобувній промисловості складна і вимагає комплексного підходу. Одним із головних шляхів виходу з кризи є підвищення інвестиційної привабливості підприємств видобувної промисловості. У перспективі необхідно підвищувати зацікавленість до участі в процесі інвестування підприємств з боку національних і закордонних інвесторів. Однак не можна обмежуватись тільки чисто економічними мотиваціями, ігноруючи екологічний аспект. *Ключові слова:* природні ресурси, корисні копалини, рекультивация, земельні ресурси, еколого-економічне використання земель.

Environmental problems of use of land resources in conditions of intensive extraction of useful copals. Kachanovskyi O.

Ukraine is a state with a unique mineral base, the richness of resources of which is due to the geological structure of its territory. One of the features is that the main components of the geo-structural zones of the Earth's crust are distributed within the country: platform, geosynclinal and transitional areas between them (edge deflections). These zones are characterized by specific features of the geological structure and distribution of certain minerals types within them. The geological structure of the territory is composed of a number of rocks of different composition and origin, which by their geological age cover all the periods, starting from the oldest Archean era to the modern Quaternary period. The article provides a comprehensive analysis of significant depletion of natural resources as a result of intensive mining as well as influence of extractive industry on the state of land resources of the country. The quantitative characteristics of mining accounting objects are being analyzed. The economic assessment of natural resource potential is given and the economic policy of the state in the context of effective management of natural resources is studied. The relevance of mining using environmentally oriented technologies to minimize the use of land resources and preserve their natural functions are highlighted. The main possible results of reclamation of disturbed lands for the national economy are described. Nowadays, the situation within the extractive industry is quite complex and requires a comprehensive approach. One of the main ways to be followed in order to solve the crisis is to increase the investment attractiveness of enterprises in the extractive industry. In the future, it is necessary to increase the interest of domestic and foreign investors in the process of investment of enterprises. However, it is deemed inappropriate to be limited only by economic motivations, while ignoring the environmental aspect of the crisis. *Key words:* natural resources, minerals, recultivation, land resources, environmental and economic use.

Постановка проблеми. Інтенсивне видобування корисних копалин зумовило істотне виснаження природних ресурсів, зокрема у гірничодобувних регіонах протягом останніх десятиліть техногенно-екологічні проблеми набули масштабного характеру. Серед них необхідно виділити високий ступінь техногенних навантажень і забруднення довкілля, активізацію і розвиток небезпечних геологічних процесів, порушення гідрогеологічних умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні виникає потреба в розв'язанні низки

питань щодо формування та ефективного використання земельних ресурсів в умовах інтенсивного видобутку корисних копалин як на загальнодержавному, так і на регіональному рівнях. Ситуація у видобувній промисловості складна і вимагає комплексного підходу для забезпечення високого рівня економічної безпеки і збалансованого розвитку країни. Економічні та екологічні проблеми використання природних ресурсів, вдосконалення технології розробки покладів корисних копалин, можливості рекультивации земель в умовах інтенсивного

видобутку корисних копалин досліджували свої праці українські науковці: Л.В. Дейнеко, А.Я. Сохнич, В.В. Горлачук, А.М. Третяк, В.М. Трегобчук.

Слід зазначити, що окремі аспекти проблеми відтворення порушених земель і повернення їх у господарський обіг із забезпеченням при цьому мінімального негативного впливу на довкілля залишаються недостатньо вивченими.

Виклад основного матеріалу. Натепер у надрах країни виявлено понад 20 тис. родовищ і проявів із 117 видів мінеральної сировини, з яких 8172 родовища (в. тому числі 1687 ділянок вод підземних питних і технічних, мінеральних) по 94 видах мінеральної сировини мають промислове значення і враховуються Державним балансом запасів корисних копалин [6]. Загальна кількість об'єктів обліку видобутку корисних копалин постійно зростає (табл. 1).

Балансові (видобувні) запаси станом на 2018 рік становлять: газ природний – 905 623 млн куб. м, нафта – 121 124 тис. т, вугілля кам'яне – 41 637 301 тис. т, руди заліза – 19 725 903.3 тис. т, руди алюмінію – 6403,00 тис. т., руди нікелю – 29 345.42 тис. т., руди свинцю та цинку – 21 719.4 тис. т. Промисловістю освоєно понад 3456 (в тому числі 847 ділянок вод підземних питних і технічних, мінеральних) родовищ із 100 видів корисних копалин,

що містять від 40 до 75% розвіданих запасів різноманітних корисних копалин. За оцінкою зарубіжних експертів запаси корисних копалин України оцінюються у 8 балів за 10-бальною шкалою. Це означає, що Україна належить до головних мінерально-сировинних держав Європи та світу.

На добування і переробку мінеральних ресурсів припадає близько однієї третини виробничих фондів, 20% зайнятості і 25% ВВП країни. Видобувні галузі промисловості домінують у структурі ВВП України, в той час як у США вони становлять 2,6% ВВП, Німеччині – 1,1%, Франції – 0,8%, Японії – 0,6% [7].

Екологічні проблеми, пов'язані з інтенсивним видобутком корисних копалин, в Україні не обмежуються низьким рівнем безпеки життєдіяльності, а також пов'язані із застарілим обладнанням, застосуванням екологічно небезпечних технологій, недотриманням технологічних вимог і стандартів, нагромадженням відходів промислової діяльності, ігноруванням вимог щодо необхідності відтворення порушених земель. На багатьох підприємствах не проводиться екологічна експертиза і не оцінюються впливи на довкілля. Ці типові порушення є характерними для видобувної промисловості, що зумовлює значні втрати невідновних природних ресурсів,

Таблиця 1

Кількість об'єктів обліку видобутку корисних копалин

№	Групи корисних копалин	Кількість об'єктів обліку		Кількість об'єктів обліку		Кількість об'єктів обліку	
		Всього	в розробці	Всього	в розробці	Всього	в розробці
		2016 рік		2017 рік		2018 рік	
1.	ГАЗОПОДІБНІ ГОРЮЧІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ	601	364	600	365	605	367
2.	РІДКІ ГОРЮЧІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ	409	307	409	311	421	315
3.	ТВЕРДІ ГОРЮЧІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ	1849	535	1833	518	1817	517
4.	РУДИ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ	68	33	68	31	68	30
5.	РУДИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ	39	4	39	2	40	5
6.	РУДИ РІДКІСНИХ МЕТАЛІВ	238	91	236	88	236	87
7.	РУДИ ДОРОГОЦІННИХ МЕТАЛІВ	2	2	2	2	2	2
8.	ГІРНИЧОХІМІЧНІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ	442	42	447	39	451	39
9.	ГІРНИЧОТЕХНІЧНІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ	131	65	132	64	132	63
10.	НЕРУДНІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ ДЛЯ МЕТАЛУРГІЇ	103	67	102	62	103	64
11.	НЕРУДНІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА	4319	1409	4324	1366	4351	1362
12.	КАМІННЯ КОШТОВНЕ ТА КОЛЕКЦІЙНЕ	6	2	6	2	12	2
13.	ВОДИ ПІДЗЕМНІ, ЛІКУВАЛЬНІ ГРЯЗІ ТА РОПА ЛІКУВАЛЬНА	1584	800	1653	780	1705	852

хімічне забруднення повітря і водних ресурсів, зміну природного гідрологічного балансу поверхневих і ґрунтових вод, руйнування біотопів, кількісне зменшення і якісне погіршення земельних ресурсів.

Під час інтенсивного видобутку корисних копалин дедалі більше почали відчуватися негативні регіональні зміни стану довкілля. В Україні показники обсягів утворення відходів перевищують у 4-5 разів відповідні показники такого роду на підприємствах розвинутих країн світу.

Натепер обсяги відходів займають площу понад 160 тис. га. Державна політика у сфері забезпечення екологічної безпеки на підприємствах добувної галузі не відповідає вимогам часу. Мінімізація негативних явищ можлива шляхом приведення законодавчих і економічних механізмів у відповідність із міжнародними і європейськими вимогами екологічного права, посиленням контрольних функцій органів влади, високим рівнем наукової обґрунтованості заходів щодо екологізації виробничої діяльності, ширшого залучення громадськості у процес формування екологічної політики.

У результаті видобутку корисних копалин відбуваються фізичні, хімічні та механічні порушення ґрунтового покриву. Фізичні порушення пов'язані з перетворенням ландшафту, деформацією поверхні, зміною структури, розвитком ерозійних процесів. Зміна структури та розвиток ерозійних процесів призводить до зміни структури ґрунту, вмісту гумусу, здатності утримувати воду, газообмінної здатності, щільності та здатності утримувати навантаження. Хімічні порушення ґрунту пов'язані з забрудненням технологічними відходами і викидами, які впливають на значення рН (кислотність ґрунтів), здатність до катіонного обміну та вміст поживних елементів. Механічні порушення обумовлені процесами транспортування порід, ерозії відвалів, а також пиловими викидами при виконанні технологічних процесів [5].

Результат рекультивації із захисту середовища прирівнюється до відшкодованого збитку, завданого довкіллю внаслідок порушення земель, та визначається природно-технічними умовами порушених земель, їх розміщенням у різних природних зонах, організацією та засвоєністю території, ускладненням конфігурації ділянок земельних угідь тощо.

З позицій екологічної економіки нинішня економічна система базується на експлуатації навколишнього середовища. Видобуток корисних копалин – класичний приклад цього явища. Жоден із видобувних ресурсів не знаходить реальної економічної оцінки, а оцінюється насамперед за вироб-

ничими витратами (тобто витратами безпосередньо на видобування, транспортування). На противагу «добувній» економіці, господарська діяльність, що побудована на засадах екологічної економіки, базується на понятті природного капіталу.

Одним з економічних питань, яке впливає на прийняття рішення про інвестування, є створення резервних фондів для рекультивації земель. Відповідно до статті 166 Земельного кодексу України від 25.10.2001 № 2768-III [1] рекультивація порушених земель – це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності порушених земель. Рекультивація земель після закінчення використання родовища є обов'язком користувача надр, який впливає із правил користування.

Згідно статті 34 Гірничого закону України від 06.10.1999 № 1127-XIV [2] до числа основних екологічних вимог у сфері проведення гірничих робіт належить своєчасне проведення рекультивації земель, а відповідно до статті 50 Закону України «Про надра» від 27.07.1994 № 132/94-ВР [3] у проектах будівництва гірничодобувних об'єктів повинна передбачатися рекультивація порушених земель, максимальне збереження ґрунтового покриву. Рекультивація має розглядатися як завершальна частина виробничого процесу, а витрати на створення резервних фондів для рекультивації повинні зменшувати суму, що оподатковується, тобто має належати до собівартості.

Еколого-економічні проблеми добувної галузі необхідно розглядати у контексті екологічної безпеки та євроінтеграційних інтересів України, тобто орієнтуватися на нові, перспективні еколого-економічні механізми, які нині формуються в ЄС у рамках його стратегії сталого розвитку та моделі екосоціальної ринкової економіки [6].

Головні висновки. Державна політика у сфері забезпечення екологічної безпеки на підприємствах добувної галузі не відповідає вимогам часу. Мінімізація негативних явищ і поліпшення екологічної ситуації можлива шляхом обов'язкової рекультивації та екологічної реабілітації територій, порушених внаслідок провадження виробничої діяльності добувної промисловості; забезпечення максимально повного використання видобутих корисних копалин, мінімізації відходів при їх видобутку та переробці; приведення законодавчих і економічних механізмів у відповідність із міжнародними і європейськими вимогами екологічного права, посиленням контрольних функцій органів влади, високим рівнем наукової обґрунтованості заходів щодо екологізації виробничої діяльності.

Література

1. Земельний кодекс України: 25.10.2001 № 2768-III // Відомості Верховної Ради України від 25.01.2002 № 3, ст. 2.
2. Гірничий Закон України від 06.10.1999 № 1127-XIV // Відомості Верховної Ради України від 17.12.1999 № 50, ст. 433.
3. Закон України «Про надра» від 27.07.1994 № 132/94-ВР // Відомості Верховної Ради України від 06.09.1994 № 36, ст. 340.
4. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В.С. Білецького. Донецьк : Донбас, 2004. URL: http://bookdn.com/book_274.html.
5. Бардась А.В. Вплив гірничих робіт на техногенне руйнування ґрунтового покриву та екологічне використання земельних ресурсів / А.В. Бардась, К.С. Богач // Економічний простір. 2013. № 71. С. 277–286. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/esrgos_2013_71_31.
6. Мандрик В.О. Еколого-економічні проблеми відтворення порушених земель у контексті вимог екологічної політики // Науковий вісник: Екологізація економіки як інструмент сталого розвитку в умовах конкурентного середовища. Львів : НЛТУ України. 2005, вип. 15.6. С. 482–488.
7. Public evaluation of the environmental policy in Ukraine. Kiev, 2003. <http://urn.iatp.org.ua>.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ ШЛЯХОМ СЕПАРАЦІЇ

Пустовіт С.В.¹, Котков В.І.²

¹Ладижинський коледж

Вінницького національного аграрного університету
вул. Петра Кравченка, 5, 24321, м. Ладижин, Вінницька область
pustovits1976@ukr.net;

²Житомирський національний агроекологічний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
kotkov_mmests@ukr.net

Описано проблему підвищення якості посівного матеріалу, що нині гостро стоїть для дрібнонасінневих культур (трав'яних, овочевих, лікарських, олійних), а також її вирішення, що пов'язане із створенням нових високоєфективних засобів його очищення та сортування. До таких засобів належать вібраційні перфоровані насіннеочисні машини, застосування яких відкриває можливості вдосконалення технологічних процесів очищення та сортування зерна. Наведено основні регульовальні параметри сепараторів із перфорованими робочими поверхнями, якими є подача вихідного матеріалу; амплітуда та частота коливань решітних станів; кут між напрямком коливань і робочою площиною (кут спрямованості коливань) та кут нахилу підвісів до основи рами машини. Робочий процес розділення насінневих сумішей і насіння олійних культур на рухомих решітних поверхнях передбачає послідовне виконання трьох взаємопов'язаних етапів: відносно переміщення вихідної суміші по сепаруючій поверхні, сегрегацію (самосортування) суміші і просіювання компонентів через отвори решета. Викладено процес сепарації сипких матеріалів на решетах шляхом забезпечення оптимального режиму коливань для кожного решета решітного стану. Встановлено рух насіння по решетах зерноочисних машин, що залежить від ознаки розділення. Під час розділення довгастих насінин по товщині, що здійснюється на решетах із прямокутними отворами, матеріал рухається без надмірного підкидання (сепарація матеріалу при цьому є помірною), а частки прохідної фракції, повертаючись навколо своєї поздовжньої осі, просіваються через отвори решіт. Відривання матеріалу в цьому випадку суттєво зменшує продуктивність решіт. Для переміщення округлих часток оптимальним буде більш помірний режим порівняно з плоскими частками. Для просіювання компонентів прохідної фракції через круглі отвори решіт режим коливань повинен бути більш інтенсивним, щоб забезпечити додаткову сепарацію матеріалу. *Ключові слова:* процес сепарації, режим коливань, зерноочисна машина, процес розділення.

Increasing the quality of the sowing material separations. Pustovit S., Kotkov V.

The problem of improving the quality of seed material, which is currently acute for smallseed crops (herbs, vegetables, medicinal, oilseeds), is described, as well as its solution related to the creation of new highly efficient means of its cleaning and sorting. Such tools include vibrating perforated seed cleaning machines, the use of which opens the possibility of improving the technological processes of cleaning and sorting of grain. The basic adjusting parameters of separators with perforated working surfaces, which are the feed of the starting material; amplitude and frequency of oscillations of lattice states; the angle between the direction of oscillation and the working plane (the angle of oscillation) and the angle of the suspensions to the base of the frame of the machine. The working process of separating seed mixtures and oilseeds on movable grate surfaces involves the sequential execution of three interrelated steps: relative movement of the initial mixture along the separating surface, segregation (self-sorting) of the mixture and sifting of the components through the holes of the sieve. The process of separation of bulk materials on the sieves is presented by ensuring the optimal oscillation mode for each sieve of the lattice state. The movement of seeds along the sieves of grain cleaning machines, depending on the sign of separation, is established. When dividing the oblong seeds by the thickness carried out on the sieve with rectangular openings, the material moves without excessive tossing (separation of the material is moderate), and the particles of the passage fraction, rotating around its longitudinal axis, sift through the openings of the sieves. The detachment of the material in this case significantly reduces the performance of the sieves. For moving rounded particles, a more moderate mode than flat particles is optimal. To sift the components of the passage fraction through the circular holes, the sieve mode should be more intense to provide additional material separation. *Key words:* separation process, oscillation mode, grain cleaning machine, separation process.

Постановка проблеми. В системі заходів із забезпечення високих врожаїв велике значення мають очищення, сортування та відбір для сівби найбільш повноцінного насіння. Проблема підвищення якості посівного матеріалу нині особливо гостро стоїть для дрібнонасінневих культур (трав'яних, овочевих, лікарських, олійних та інших).

Вирішення проблеми покращення посівних якостей насіння пов'язане зі створенням нових високоєфективних засобів його очищення та сортування.

До таких засобів варто віднести вібраційні перфоровані насіннеочисні машини, застосування яких відкриває можливості вдосконалення технологічних процесів очищення та сортування зерна.

Актуальність дослідження. Технологічний процес розділення сумішей на похилій робочій площині залежить від великої кількості чинників.

Основними регульовальними параметрами сепараторів із перфорованими робочими поверхнями є подача вихідного матеріалу; амплітуда та частота

коливань решітних станів; кут між напрямком коливань і робочою площиною (кут спрямованості коливань) та кут нахилу підвісів до основи рами машини.

З метою отримання дружних сходів насіння та надалі збільшення врожайності виникає необхідність проведення досліджень з обґрунтування процесу сепарації насінневих матеріалів на решетах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У роботах П.М. Василенка та М.Н. Летошнева [2; 3] закладено основи статистичного методу вибору розмірів отворів поверхонь, що сепарують, і розрахунку технологічних процесів поділу насінневих матеріалів, заснованого на всебічному вивченні фізико-механічних властивостей об'єкта сепарації.

Використання варіаційних рядів (для однієї ознаки), кореляційних таблиць (для двох ознак) і просторових кореляційних решіток (для виявлення кореляційної залежності між трьома ознаками) значною мірою полегшує раціональний підбір решіт і комірчастих поверхонь.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Обов'язковою умовою сепарації за розмірами є рух насінневого шару по решету.

Вирішення цього завдання пов'язане зі значними ускладненнями фізико-механічних процесів, що протікають у шарі під дією вібрації, тому більшість дослідників рух насінневого шару по коливній площині моделює рухом матеріальної точки.

Новизна. Науковою новизною є обґрунтування параметрів процесу їх сепарації на решетах, що підвищить якість посівного матеріалу дрібнонасінневих сумішей і насіння олійних культур.

Результати досліджень. Робочий процес розділення насінневих сумішей і насіння олійних культур на рухомих решітних поверхнях включає послідовне виконання трьох взаємопов'язаних етапів: відносного переміщення вихідної суміші по сепаруючій поверхні, сегрегацію (самосортування) суміші і просіювання компонентів через отвори решета.

Багато в чому ефективність процесу розділення визначається саме характером руху і швидкістю переміщення матеріалу по поверхні решета. Слід зазначити, що швидкість руху матеріалу з однієї сторони визначає продуктивність процесу сепарації, і очевидно, що збільшення швидкості призводить до збільшення продуктивності, але, з іншого боку, збільшення швидкості на певному рівні спричиняє погіршення умов просіювання компонентів через отвори решіт.

Відомо, що для кожного режиму руху сепаруючої решітної поверхні і конкретного зернового матеріалу є гранична швидкість руху матеріалу V_r . Подальше збільшення швидкості виключає можливість просіювання компонентів через отвори решета, тобто процес розділення стає неможливим – відбувається лише транспортування матеріалу по сепаруючій поверхні.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Зменшення швидкості призводить не лише до зменшення продуктивності, а й до зниження якості розділення компонентів, адже збільшення товщини шару матеріалу на решеті знижує сегрегацію компонентів суміші (просипання менших за розмірами компонентів до поверхні решета), а значить і просіювання компонентів через отвори решета.

Оптимальний для розділення кінематичний режим коливань під час роботи решіт визначається показником кінематичного режиму k , який характеризує співвідношення амплітуди та частоти коливань решета і дорівнює:

$$k = \frac{A \cdot \omega^2}{c \cdot g}, \quad (1)$$

де A – амплітуда коливань решітного стану, мм; ω – кутова частота коливань решітного стану, c^{-1} ; g – прискорення вільного падіння, мм/с²; c – коефіцієнт, що враховує коливання рами машини і залежить від ступеня зрівноваженості та прискорення решета.

Цей показник залежить від виду насінневої суміші, кута нахилу решета до горизонту, кута спрямованості коливань (кут між напрямком коливань і робочою площиною решета), завантаження, а також від типу решета, форми і розміру його отворів. При цьому кут спрямованості коливань визначається за формулою:

$$\varepsilon = \alpha - \beta, \quad (2)$$

де α – кут нахилу решета решітного стану до горизонту, град; β – кут між основою рами та напрямком підвіски робочої площини, град.

Слід зазначити, що оптимальний режим коливань для різних сумішей не збігається. Ба більше: для різних складників однієї суміші оптимальний режим має відрізнятися. Для переміщення округлих часток оптимальним буде більш помірний режим порівняно з плоскими частками. Для просіювання компонентів прохідної фракції через круглі отвори решіт режим коливань повинен бути більш інтенсивним, щоб забезпечити додаткову сегрегацію матеріалу.

Відповідно до способів розділення, які реалізовані в існуючих конструкціях зерноочисних машин, вихідний матеріал поступає на сепаруючі решітні поверхні з початковою швидкістю V_n . Регулюючи подачу вихідного матеріалу та режим коливань решітного стану, забезпечують таку швидкість руху насіння по решеті, за якої досягається оптимальне розділення його на дві фракції: прохідну – частинки за розмірами менші за отвори решіт, і сходову – частинки більші за отвори решіт, які після розділення надходять до відповідних приймачів.

Кожен із цих способів створення оптимального режиму підвищує якість розділення і продуктивність процесу сепарації під час розділення лише на одному решеті для різних сипких матеріалів, тому ці дослідження мають загальнонаукове значення.

Виклад основного матеріалу. Головним завданням досліджень є інтенсифікувати процес сепарації сипких матеріалів на решетах шляхом забезпечення оптимального режиму коливань для кожного решета решітного стану. Це дасть змогу підвищити якість розділення сипких матеріалів і збільшити продуктивність багатьох решітних сепараторів загалом.

Запропонований спосіб можна реалізувати за допомогою відомих решітних зерноочисних машин, якщо в конструкціях їх решітних станів передбачити пристрій для зміни кута установки кожного решета окремо щодо напрямку дії збуджуючої сили.

Сутність запропонованої модифікації сепаратора пояснюється кресленням (рис. 1).

Реалізувати запропонований спосіб можна на багаторешітному стані 1 сепаратора, який складається, наприклад, із двох решіт: верхнє решето 2 – із прямокутними отворами та нижнє решето 3 – із круглими отворами. Кути нахилу решіт решітного стану при цьому становлять: α_1 – для верхнього решета та α_2 – для нижнього решета, причому $\alpha_1 \neq \alpha_2$. Кути спрямованості коливань для верхнього та нижнього решіт дорівнюють ε_1 та ε_2 відповідно.

Решітний стан монтується на підвісках 4, кут нахилу яких до вертикальної площини становить β .

Привід решітного стану здійснюється від ексцентрика 5 радіусом r шатуном 6. Кут поворотання ексцентрика щодо лінії мертвих точок дорівнює ωt .

Під час розділення вихідного сипкого матеріалу, на кожену насінину (далі – частку) 7 та 8 суміші, які розміщені на верхньому 2 та нижньому 3 решеті

відповідно, діють сила ваги mg , реакція опорної поверхні N , сила тертя F часток по робочій площині та щодо одна одної, а також сила інерції (збуджуюча сила) P_j , яка визначається як:

$$P_j = mA\omega^2 \sin(\omega t), \quad (3)$$

де m – маса частки, γ ; ωt – кут поворотання ексцентрика щодо лінії мертвих точок, рад.

Для створення різних режимів коливань верхнього та нижнього решіт решітного стану кут нахилу робочої поверхні до горизонту α необхідно встановлювати окремо для кожного решета та для кожного вихідного матеріалу (рис. 1). При цьому проєкції сили інерції на робочу площину та площину, що перпендикулярна до неї, становлять:

$$P_{j,ix} = mA_x \omega^2 \sin(\omega t) \cos \varepsilon_i; \quad (4)$$

$$P_{j,iy} = mA_y \omega^2 \sin(\omega t) \sin \varepsilon_i, \quad (5)$$

де i – показник, що характеризує положення робочої площини над горизонтом: для верхнього решета – $i = 1$; для нижнього решета – $i = 2$.

Відповідно до рівності (2), для верхнього решета будемо мати:

$$P_{j,1x} = MA_x \omega^2 \sin(\omega t) \cos(\alpha_1 - \beta); \quad (6)$$

$$P_{j,1y} = MA_y \omega^2 \sin(\omega t) \sin(\alpha_1 - \beta), \quad (7)$$

а для нижнього решета:

$$P_{j,2x} = MA_x \omega^2 \sin(\omega t) \cos(\alpha_2 - \beta); \quad (8)$$

$$P_{j,2y} = MA_y \omega^2 \sin(\omega t) \sin(\alpha_2 - \beta). \quad (9)$$

Рух насіння по решетах зерноочисних машин залежить від ознаки розділення. Під час розділення довгастих насінин по товщині, що здійснюється на решетах із прямокутними отворами, матеріал рухається без надмірного підкидання (сепарація матеріалу при цьому є помірною), а частки прохідної фракції, повертаючись навколо своєї поздовжньої осі, просіваються через отвори решіт. Відривання матеріалу в цьому випадку суттєво зменшує продуктивність решіт. Для створення такого режиму горизонтальний складник збуджуючої сили $P_{j,1x}$ збільшують, а вертикальну – $P_{j,1y}$, відповідно, зменшують шляхом зменшення кута α_1 нахилу решета до горизонту.

Під час розділення по ширині на решетах із круглими отворами необхідно забезпечити додаткове підкидання матеріалу (тобто збільшити вертикальний складник сили $P_{j,2y}$, який діє на матеріал, що переміщується по решеті, шляхом збільшення кута α_2) для того, щоб частки прохідної фракції розміщувалися своєю поздовжньою віссю

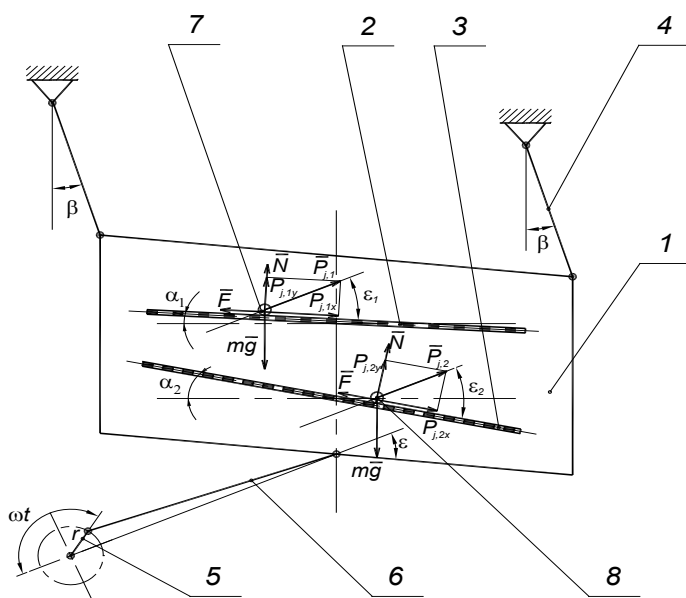


Рис. 1. Схема дії сил на частки, що розміщені на двох решетах багаторешітного стану, який забезпечує реалізацію запропонованого способу:

1 – багаторешітний стан; 2 – решето з прямокутними отворами; 3 – решето з круглими отворами; 4 – підвіска решітного стану; 5 – ексцентрик; 6 – шатун; 7, 8 – часточки

перпендикулярно до робочої поверхні. Це, у свою чергу, покращує їх прохід крізь отвори решіт [1].

Відповідно до зазначеного вище, оптимальний режим буде відповідати умові:

$$\alpha_1 < \alpha_2. \quad (10)$$

У цьому випадку на верхньому решеті решіт-ного стану сепарація матеріалу буде відносно малою і надмірного відриву часток від робочої поверхні не спостерігатиметься, а швидкість транспортування – дещо підвищеною; на нижньому ж решеті – навпаки: швидкість транспортування – помірною, а підкидання і сегрегація – збільшеними.

Отже, регулюючи лише величину кута нахилу окремого решета, маємо можливість створити оптимальний режим коливань кожного решета в решіт-ному стані для розділення кожної насінневої суміші на фракції, що інтенсифікує процес сепарації сумішей сипких матеріалів на решітних станах зерноочисних машин.

Головні висновки. Під час розділення довгастих насінин по товщині, що здійснюється на решетах із прямокутними отворами, матеріал рухається без надмірного підкидання (сепарація матеріалу при цьому є помірною), а частки прохідної фракції, повертаючись навколо своєї поздовжньої осі, просіваються через отвори решіт.

Для переміщення округлих часток оптимальним буде більш помірний режим порівняно з плоскими частками. Для просівання компонентів прохідної фракції через круглі отвори решіт режим коливань повинен бути більш інтенсивним, щоб забезпечити додаткову сепарацію матеріалу.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонований процес сепарації сипких матеріалів на решетах шляхом забезпечення оптимального режиму коливань для кожного решета решітного стану дасть змогу підвищити якість розділення сипких матеріалів і збільшить продуктивність багаторешітних сепараторів загалом.

Література

1. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов; под общ. ред. Г.Е. Листопада. Москва : Агропромиздат, 1986. 688 с.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / под ред. М.И. Медведева. Киев : Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1978. 284 с.
3. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание. Москва : Сельхозгиздат, 1985. 214 с.

ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 528.8

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.23>

МЕТОДИКА МОДИФІКАЦІЇ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID НА МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ ДЛЯ ЕКОНОМІЇ РЕСУРСІВ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ ЙОГО ТЕРМІНУ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

Бойко О.В., Павлюк С.В.

Воєнно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка
вул. Юрія Ільєнка, 81, 04050, м. Київ
2020boikool@gmail.com, starforce@i.ua

Загроза збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері планети набула глобальних розмірів і стала актуальною проблемою як у світі, так і в Україні. Для зменшення вуглецевого впливу, що відбувається під час виробництва нових мобільних пристроїв, якими користується переважна більшість населення планети, на навколишнє середовище, пропонується збільшити термін працездатності існуючих смартфонів. Визначено, що на працездатність смартфона негативно впливає вбудоване програмне забезпечення транснаціональних корпорацій (Google, Apple, Microsoft) та компаній-виробників сучасної мобільної техніки (HTC, Apple, Samsung, Xiaomi, Lenovo, Meizu та інших), яке під час доступу до мережі Інтернет передає статистичну інформацію на сервери компаній протягом усього часу роботи мобільного пристрою незалежно від того, запущені будь-які додатки чи ні. Це вимагає використання ресурсів оперативної та постійної пам'яті й зменшує час роботи акумулятора мобільного пристрою. Тому запропоновано методику модифікації операційної системи Android на мобільних пристроях, яка дає можливість усунути передачу статистичної інформації через вбудовані сервіси операційної системи (Google) та виробника мобільного пристрою поза бажанням користувача для економії ресурсів мобільних пристроїв. Операційна система Android має відкритий вихідний код і є доступною для будь-якого користувача, який може вносити зміни, доповнення. Це значно полегшує налаштування мобільного пристрою. Методика модифікації операційної системи Android на мобільних пристроях складається з трьох етапів – підготовчого, основного та кінцевого – та потребує від виконавця уваги й базових знань системи Linux, зокрема її команд. Підготовчий етап включає налаштування робочого місця, отримання прошивки для обраного пристрою та приготування мобільного пристрою до роботи. Другий, або основний, етап методики найбільш трудомісткий. Здійснюється розпакування офіційної прошивки, її модифікація, запакування прошивки та встановлення на мобільний пристрій. Третій етап методики найкоротший, проте також важливий. Відповідно до рекомендацій здійснюється перший запуск і налаштування модифікованої прошивки. Така операційна система Android дозволить збільшити працездатність мобільних пристроїв під час її роботи за рахунок економії ресурсів працюючого мобільного пристрою та зменшити потребу у виробництві нових. Доцільність використання методики підтверджено експериментом, суть якого полягала в аналізі трафіку мобільного пристрою на операційній системі без змін та з ними. *Ключові слова:* смартфон, мобільний пристрій, операційна система Android, архітектура операційної системи, скрипт.

The methodology for modifying the Android operating system on mobile devices to save resources and increase its performance.
Boiko O., Pavliuk S.

The threat of increasing carbon dioxide concentrations in the planet's atmosphere has become global and pressing problem both in the world and in Ukraine. The overall environmental impact of technology is only getting worse. To reduce carbon footprint of the production of new mobile devices, it is proposed to extend the life of existing smartphones. It is determined that the performance of the smartphone is adversely affected by the embedded software of multinational corporations (Google, Apple, Microsoft) and manufacturers of modern mobile devices (HTC, Apple, Samsung, Xiaomi, Lenovo, Meizu, etc.). When accessing the Internet, these programs send statistical information to company servers in the background, whether or not any applications are running. This requires the use of resources of memory and processor and reduces the battery life of mobile devices. A method for modifying the Android operating system on mobile devices is offered. This technique eliminates the sending of statistical information through the built-in OS (Google) and the mobile device manufacturer's software without user desire to save mobile device resources. The Android operating system is open source, and is accessible to anyone who can make changes and additions, which will make setting up a mobile device much easier. There are three stages of modifying the Android operating system on mobile devices: preparatory, main, and final. It requires attention, basic knowledge of Linux system, in particular, its commands. The preparatory stage includes preparing the workplace, getting the firmware for the selected device, and preparing the mobile device for work. The second or main stage of the method is the most time consuming. At this stage: unpacking the official firmware, modifying it, packing the firmware and installing it on a mobile device. The third stage of the method is the shortest, but it is also important. At this stage, according to the recommendations made first run and setting up the modified firmware. The modified Android operating system on mobile devices will improve their performance by saving the resources of these devices and reducing the need for new ones. The expediency of using the method was confirmed by an experiment, the essence of which was to analyze the traffic of a mobile device on the operating system without changes and with them. *Key words:* smartphone, mobile device, Android operating system, operating system architecture, script.

Постановка проблеми. Як відомо, концентрація вуглекислого газу в атмосфері планети вперше за останні 800 тисяч років перевищила позначку 415 мільйонних часток [1]. Про це свідчать дані спостережень океанографічного інституту Скриппс (Scripps Institution), який щоденно вимірює рівень вуглекислого газу [2]. Аби уникнути наслідків для всієї планети, слід в найближчі десять років – до 2030 року – скоротити викиди двоокису вуглецю на 45 % [3]. Одним з джерел технологічних викидів у навколишнє середовище двоокису вуглецю вважаються результати використання та виробництва смартфонів та інших мобільних пристроїв (далі – МП) [3]. Якщо у 2007 році частка їх впливу досягала лише 1 % вуглецевого впливу на навколишнє середовище, то, за прогнозами, у 2040 році ця цифра досягне вже 14 %. Під час виробництва нового смартфона випарюється від 85 до 95 % всього обсягу «технологічних викидів» двоокису вуглецю, пов'язаних з його експлуатацією та виробництвом [4], тому постає проблема в збільшенні часу працездатності МП для зменшення потреби у виробництві нових. Це можливо за рахунок економії ресурсів смартфона, а саме зменшення переліку сервісів та служб, до яких він звертається без втручання користувача та на які постійно витрачаються його ресурси (обсяг пам'яті, зарядка акумулятора). До них відноситься вбудоване програмне забезпечення транснаціональних корпорацій (Google, Apple, Microsoft) та компаній-виробників сучасної мобільної техніки (HTC, Apple, Samsung, Xiaomi, Lenovo, Meizu та інших), яке під час доступу до мережі Інтернет передає статистичну інформацію на сервери компаній. Дані збираються протягом усього часу роботи МП незалежно від того, запущені будь-які додатки чи ні. Це негативно впливає на працездатність смартфона тому що, по-перше, вимагає використання ресурсів оперативної та постійної пам'яті, а по-друге, – зменшує час роботи акумулятора МП. Тому постає потреба у модифікації операційної системи (далі – ОС) МП для запобігання передачі статистичної інформації виробнику та розробнику популярного програмного забезпечення для економії ресурсів МП та збільшення терміну його працездатності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз показує, що більшість МП (73 %) працює на базі ОС Android [5]. Вона має відкритий вихідний код і є доступною для будь-якого користувача, який може вносити зміни, доповнення, що значно полегшає налаштування МП. Одним з напрямів зменшення функціонального навантаження на МП є питання запобігання передачі статистичної інформації. Це питання досліджують від часів масового розповсюдження МП серед населення. Так, досліджено джерела інформації, якими може виступати МП навіть поза бажанням його власника [6]. Визначено шляхи та ознаки передачі статистичної інформації через

МП різним адресатам, а саме особливості передачі статистичної інформації в залежності від країни, де знаходиться МП [7]; збору статистичної інформації корпораціями Apple [8], Microsoft [9], Google [10; 11]; реалізації цього процесу на МП на базі ОС Android [10; 11]. Але єдиної методики модифікації, що дасть можливість видалити вбудоване програмне забезпечення для запобігання передачі цієї інформації, виявлено не було.

Метою статті є розробка методики модифікації ОС Android на мобільних пристроях для запобігання передачі статистичної інформації через вбудовані сервіси ОС, Google та виробника МП для економії ресурсів та збільшення терміну працездатності МП.

Виклад основного матеріалу. Для розробки методики модифікації ОС Android розглянемо її архітектуру [12], яка складається з п'яти рівнів.

1-й рівень – Додатки (Applications) – включає набір базових додатків, який змінюється залежно від моделі пристрою та версії ОС Android. Більшість додатків створено на мові Java, решта на C/C++, Basic та інших. Для Android розроблено формат .apk. Android Package (далі – APK) – формат архівних файлів-додатків. Файли зберігаються в магазинах додатків (Play Market) і завантажуються на пристрій або встановлюються користувачем вручну.

2-й рівень – Платформа додатків (Application Framework) – призначено для реалізації принципу багаторазового використання компонентів доповнень і ОС, завдяки чому додатки в ОС Android можуть отримувати допоміжний функціонал. Платформа Application Framework лише виконує код, написаний для неї, на відміну від платформи бібліотек, які виконують коди самі.

Рівень Бібліотек (Libraries) призначений для забезпечення найважливішого базового функціоналу для додатків. Саме цей рівень відповідає за надання реалізованих алгоритмів для вищого ступеня, підтримку файлових форматів, кодування і декодування інформації, генерацію графіки і багато іншого.

Ключовими складовими середовища Виконання (Android Runtime) є набір бібліотек ядра (Core Libraries) й віртуальна машина Dalvik. Набір забезпечує більшу частину низькорівневих функцій, доступних бібліотекам ядра мови Java. Dalvik використовує ядро Linux для виконання основних системних функцій, таких як безпека, управління процесами і пам'яттю.

Рівень Ядра Linux (Linux Kernel) забезпечує функціонування ОС. Складові цього рівня відповідають за безпеку, управління пам'яттю, енергосистемою і процесами, а також надають мережевий стек і модель драйверів.

З урахуванням вищезазначеного розроблено методику модифікації операційної системи Android на мобільних пристроях, яка складається з трьох етапів: підготовчого, основного та кінцевого (рис. 1).

Підготовчий етап включає облаштування робочого місця, отримання прошивки для обраного пристрою та підготовку МП до роботи. На робоче місце (на персональний комп'ютер) встановлюється спеціалізоване програмне забезпечення та низка драйверів для обраного МП. Програмне забезпечення та драйвери потрібно завантажити з глобальної мережі Інтернет, до якої має бути підключено персональний комп'ютер. Для підготовки прошивки для МП на базі ОС Android обрано програмне забезпечення Cygwin, Java JDK, ADB, HTC Rom Extractor і Android Kitchen. Як було зазначено вище, ОС Android створено на базі ядра Linux, тому на стаціонарному комп'ютері доцільно використовувати ОС також на базі Linux.

Після підготовки робочого місця необхідно отримати прошивку для обраного МП та підготувати МП. Отримати прошивку можна на офіційних сайтах виробників та спеціалізованих тематичних форумах. Підготовка пристрою включає такі операції: встановлення отриманої прошивки для перевірки її працездатності, розблокування завантажувача МП (за наявності) та встановлення стороннього засобу відновлення на МП для модифікованої прошивки.

Другий, або основний, етап методики найбільш трудомісткий, він потребує від виконавця уваги, базових знань системи Linux та зокрема її команд. На цьому етапі здійснюється розпакування офіційної прошивки, її модифікація, запакування прошивки та встановлення на МП. Розпакування та запакування прошивки здійснюється за допомогою встановленого спеціалізованого програмного забезпечення. Модифікація прошивки включає декілька етапів: підготовку програмного забезпечення в прошивці, видалення програмного забезпечення Google, видалення програмного забезпечення виробника

та додаткові налаштування для блокування небажаних сервісів. Для виконання цих задач потрібно здійснити попередній аналіз програмного забезпечення в прошивці МП.

Під час видалення програмного забезпечення Google треба брати до уваги, що воно інтегровано майже в усі прошивки сучасних МП на базі ОС Android. Служби та програми Google залежно від прошивки інтегровано по-різному, тобто програми та бібліотеки для роботи сервісів Google перебувають у різних директоріях. Для того щоб їх не видаляти вручну, необхідно сформувати список файлів і директорій та створити файл скрипт `delete_gapps.sh` для Cygwin. Перебирання кожного файлу – процес досить складний і тривалий, тому для формування списку файлів на видалення доцільно використовувати архіви Google Applications (Gapps). Це архіви з корпоративними додатками від Google, що входять до складу багатьох пристроїв ОС Android. В архівах зберігаються основні програми Google. Ці архіви спеціально створено для розробників та інших користувачів неофіційних прошивок на кшталт CyanogenMod, LineageOS та інших. За допомогою цих архівів можна отримати перелік файлів, які використовуються в Gapps. Для цього потрібно завантажити архів для необхідної версії ОС Android та сформувати список файлів, що складають директорію Gapps або System, використовуючи допоміжний список файлів.

Для видалення файлів директорії Gapps було створено скрипт `delete_gapps.sh`, який наразі охоплює всі робочі версії Android. Скрипт складається з більш ніж тисячі рядків, які містять в собі код виду `rm -rf system/app/Books.apk` для видалення всього програмного забезпечення, сервісів і служб Google на сучасному МП на базі ОС Android. Після виконання операції скрипт треба видалити з робочої папки.



Рис. 1. Методика модифікації ОС Android

Таблиця 1

**Список видаленого програмного забезпечення
(перший етап)**

Програма	Призначення
Dropbox.apk	Плагін Dropbox
Facebook.apk	Плагін Facebook
FacebookEngine.apk	Служба Facebook
Facebook_Client.apk	Клієнт Facebook
Flickr.apk	Клієнт Flickr
FlickrEngine.apk	Служба Flickr
FriendStream.apk	Клієнт FriendStream
HtcDropboxGLRPlugin.apk	Плагін Dropbox
HtcSkydriveGLRPlugin.apk	Плагін Skydrive
LMIRescue.apk	Клієнт Rescue (на кшталт TeamViewer)
LMIRescueIcon.apk	Іконка Rescue
LMIRescueSecurity.apk	Служба Rescue
MyDropbox.apk	Аккаунт Dropbox
MyHTC.apk	Аккаунт HTC Sense
MyReportAgent.apk	Служба звітів
MySkydrive.apk	Клієнт Skydrive
TwitterEngine.apk	Служба Twitter

Таблиця 2

**Список видаленого програмного забезпечення
(другий етап)**

Програма	Призначення
COTAClient.apk	Служба оновлення
GMS_Maps.apk	Карти Google (модифікація HTC)
HtcFeedback.apk	Служба зворотного зв'язку
HtcFriendStreamWidget.apk	Віджет FriendStream
HTC_Widget_ShowMe.apk	Віджет Місцезнаходження
LocationPicker.apk	Віджет вибору місця прямування
MyGoogleTaskPlugin.apk	Плагін Завдань
Picasa_GLRplugin.apk	Плагін Picasa
ShowMe.apk	Місцеположення

Таблиця 3

**Список видаленого програмного забезпечення
(третій етап)**

Програма	Призначення
CheckinProvider.apk	Служба перевірки оновлень
DemoFLOPackageInstaller.apk	Демонстрація можливостей
SocialManager.apk	Служба Соціальних мереж
Updater.apk	Програма оновлення

For FOTA setting (leave empty value to use default)

Після модифікації отриманий файл прошивки запаковують і встановлюють на МП за допомогою програмного забезпечення, встановленого на першому етапі.

Для знищення програмного забезпечення, яке дає можливість віддаленого встановлення додатків без відома користувача, насамперед увагу слід зосередити на програмному забезпеченні, що пов'язано з соціальними мережами, оновленням системи, зворотного зв'язку та архівації даних. У цьому випадку необхідно власноруч відбирати кожне програмне забезпечення, оскільки таких пакетів, як у директорії Gapps, немає. Для складання списку програмних продуктів за основу було взято дані офіційного магазину Google Play з фільтрацією програмного забезпечення форуму 4PDA – видалення системних додатків для різних моделей МП [15]. Після видалення файлів директорії Gapps список файлів для аналізу значно скоротився. Зі списку системного програмного забезпечення [15] було виділено список файлів на видалення, який тестували та перевіряли в три етапи.

На першому етапі було видалено програмне забезпечення (табл. 1), що відповідає за соціальні мережі, складання звітів та резервування даних.

На другому етапі було видалено файли, що відповідають за оновлення прошивки, зворотний зв'язок, визначення місцеположення користувача (табл. 2).

На третьому етапі було видалено залишки програмного забезпечення (табл. 3), яке відповідає за перевірку оновлення прошивки, інтеграції соціальних мереж та додаток для демонстрації можливостей смартфона (використовується в магазинах).

До цього переліку можна додати програмне забезпечення, яке не буде використовуватись або непотрібне, проте це необов'язково. У результаті аналізу програмного забезпечення має бути створено скрипт по аналогії з Gapps для видалення програмних продуктів HTC. Створений скрипт delete_apps.sh необхідно скопіювати в робочу директорію WORKING, запустити ще одну версію Cygwin, виконати та видалити скрипт з робочої папки.

Після видалення розглянутого вище програмного забезпечення й аналізу трафіка WiFi, до якого було підключено смартфон, треба виділити ряд IP-адрес, на які у стані спокою звертається смартфон. Для блокування цих адрес було відредаговано файл hosts WORKING\system\etc, зокрема додано рядки виду:

```
127.0.0.1 http://apu-chin.htc.com/check-in/rws/and-app/update.
```

У разі підключення МП до вищезазначеної адреси ОС Android буде надсилати запити на адресу 127.0.0.1 (localhost), тобто повертати їх назад до себе.

Останній етап блокування адрес, до яких звертається смартфон, – це редагування файлу build.prop, що перебуває за адресою WORKING\system. Редагування полягає у закоментуванні рядків, що відповідають за оновлення та пошук оновленої прошивки. Для цього в наведених рядках потрібно встановити знак коментування #, щоб вони мали такий вигляд:

Третій етап методики найкоротший, проте також важливий. На цьому етапі відповідно до рекомендацій здійснюється перший запуск і налаштування модифікованої прошивки.

Для оцінки ефективності методики модифікації ОС Android на МП проведено експеримент, суть якого полягає в аналізі трафіку МП на стандартній та модифікованій прошивках. У результаті експерименту було визначено, що кількість адрес та серверів, до яких підключається без участі користувача МП, зменшено майже в три рази – з 62 до 22. Крім того, збільшено швидкодію пристрою завдяки видаленню зайвого програмного забезпечення, яке займає певний обсяг постійної та оперативної пам'яті. Швидкість першого включення пристрою зросла на 34%, швидкість перезавантаження пристрою – на 14%, розмір прошивки зменшено на 35%, а обсяг використання оперативної пам'яті – на 20%.

Висновки. Методика модифікації ОС Android, яка складається з трьох етапів, дає змогу економити ресурси МП та відповідно збільшити термін його працездатності за рахунок запобігання постійної передачі статистичної інформації через вбудовані сервіси ОС (Google) та виробника МП. Експеримент показав, що розроблена методика дає можливість

зменшити майже в три рази кількість серверів та адрес, до яких підключається МП, та збільшити швидкодію пристрою завдяки видаленню програмного забезпечення, яке займає частину постійної та оперативної пам'яті, що позитивно впливає на збільшення терміну працездатності МП та зменшує потребу у виробництві нових.

Перспективи використання результатів дослідження. Методика є доступною для використання будь-яким користувачем МП на базі ОС Android, що бажає збільшити швидкодію та працездатність власного пристрою, але потребує від виконавця уваги, базових знань системи Linux, зокрема її команд. Найбільш доцільно використовувати цю методику під час підготовки МП до роботи у складних умовах (наприклад, в експедиціях, подорожах тощо), коли збільшення часу автономної роботи та швидкодії пристроїв є необхідною умовою якісного виконання завдань з їх використанням, та для МП, які призначено для одночасного виконання великої кількості завдань, що вимагає раціонального використання ресурсів пристрою, зокрема оперативної та постійної пам'яті, мобільного трафіку, який надається оператором мобільного зв'язку, та зарядки акумулятора.

Література

1. Рівень CO₂ у атмосфері сягнув небаченої в історії позначки. Що це означає для планети та здоров'я людей. *TCH. Світ* : веб-сайт. URL: https://tsn-ua.cdn.ampproject.org/v/s/tsn.ua/amp/svit/astma-rak-ta-roztladi-psihihi-yak-zabrudnene-povitrya-vbivaye-ne-lishe-planetu-a-y-lyudey-1345605.html?usqp=mq331AQCKAE%3D&_js_v=0.1#aoh=15813217708560&referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&_tf=%D0%A1%20%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82%D0%B0%20%251%24s&share=https%3A%2F%2Ftsn.ua%2Fsvit%2Fastma-rak-ta-roztladi-psihihi-yak-zabrudnene-povitrya-vbivaye-ne-lishe-planetu-a-y-lyudey-1345605.html.
2. There is more CO₂ in the atmosphere today than any point since the evolution of humans. *CNN. Health* : web-site. URL: <https://edition.cnn.com/2019/05/13/health/carbon-dioxide-world-intl/index.html>.
3. Як смартфони впливають на навколишнє середовище: неочікувані фактори. *24tv* : веб-сайт. URL: https://24tv-ua.cdn.ampproject.org/v/s/24tv.ua/techno/yak_smartfoni_vplivayut_na_navkolishnye_seredovishhe_neochikuvani_faktori_n999247/amp?usqp=mq331AQCKAE%3D&_js_v=0.1#aoh=15808061839689&referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&_tf=%D0%A1%20%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82%D0%B0%20%251%24s&share=https%3A%2F%2F24tv.ua%2Ftechno%2Fyak_smartfoni_vplivayut_na_navkolishnye_seredovishhe_neochikuvani_faktori_n999247.
4. Smartphones Are Killing The Planet Faster Than Anyone Expected. *Fast Company* : web-site. <https://www.fastcompany.com/90165365/smartphones-are-wrecking-the-planet-faster-than-anyone-expected>.
5. История версий Android. *Wikiwand* : веб-сайт. URL: http://www.wikiwand.com/ru/История_версий_Android.
6. Модель угроз мобильного устройства. *Securitylab* : веб-сайт. URL: https://www.securitylab.ru/blog/personal/Business_without_danger/341451.phpSec.
7. Список программ компьютерного слежения и радиоэлектронной разведки по странам. *Википедия: свободная энциклопедия*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_программ_компьютерного_слежения_и_радиоэлектронной_разведки_по_странам.
8. Apple сохраняет в iCloud историю звонков без ведома пользователей. *Securitylab* : веб-сайт. URL: <https://www.securitylab.ru/news/484480.php>.
9. Microsoft запатентовала технологию абсолютной слежки за пользователями. *Securitylab* : веб-сайт. URL: <https://www.securitylab.ru/news/483938.php>.
10. Расследование CNET показало, какую информацию телефоны на Android отсылают в Google и почему она не может считаться анонимной. *Хабр* : веб-сайт. URL: <https://habrahabr.ru/post/118017/>.
11. Google is already working on Android P. *TheInquirer* : web-site. URL: <https://www.theinquirer.net/inquirer/news/3016494/google-is-already-working-on-android-p>.
12. Архитектура Android-приложений. Часть I. Истоки. *Хабр* : веб-сайт. URL: <https://habrahabr.ru/post/140459/>.
13. Java SE Downloads. *Oracle* : web-site. URL: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>.
14. Приложения HTC Corporation Play. *Google Play*. URL: <https://play.google.com/store/apps/developer?id=HTC+Corporation>.
15. Удаление системных приложений Android. *4pda* : форум. URL: <https://4pda.ru/forum/index.php?showtopic=236256>.

SUBSTANTIATION OF PHYTODESALINATION OF MINERALIZED WATERS IN FILTRATION-REGENERATION BIOPLATO

Bondar O.I.¹, Fylypchuk V.², Kuryliuk M.³, Krivoshei P.⁴

State Ecological Academy of Postgraduate
Education and Management

35, Metropolitan Vasyl Lipkivsky Str., 03035, Kyiv

National University of Water
and Environmental Engineering

11, Soborna st., 33000, Rivne

³Scientific-Production Enterprise
“Remvodplast plus” Ltd.

3, Patrice Lumumba str., 01013, Kyiv

⁴Company “Chandwin Project Pte.” Ltd.

101, Cecil Street, 069533, Singapore

dei2005@ukr.net; fylypchuk46@gmail.com;

atol.rosa@gmail.com; pavel@purewater.pw

Filtration-regeneration bioplato can be used for complex purification and associated membrane-free phyto-desalination of mineralized water. Demineralization of water is carried out by the removal of salts of higher aquatic plants in the bioplate and treatment of circulation-regeneration water using coagulants, enzymes, bioreagents and probiotics, suspension of natural minerals with electrochemical activation of reagents. The treatment and purification unit of the circulation-regeneration water of the bioplate must include a flotation reactor-clarifier for flotation of the suspension, introduction of additional reagents and a self-cleaning foamed polystyrene filter with dosage in the clarified water of the bioreagent, which allows for a steady increase in green biomass and intensify salt extraction. To substantiate the possibility of concomitant desalination of mineralized waters with the help of higher aquatic plants, phytotechnology of filtration-regeneration bioplato of hydroponic type was used. Analyzed, that placing the bioplato at the end of the technological scheme allows to provide deep purification of water from organic and inorganic impurities and restore its natural properties through contact with higher aquatic plants. Also shown, the unit for treatment and purification of circulation-regeneration waters of the bio-plato must include a flotation reactor-clarifier for introducing additional reagents and a self-washing foam polystyrene filter with dosage in clarified water of enzymes, bio-reagents and probiotics, which allows for a steady increase in green biomass and intensify the extraction of salts by higher aquatic plants. *Key words:* demineralization of water, the unit for treatment and purification of circulation-regeneration waters, filtration-regeneration bioplato.

Обґрунтування фітоопріснення мінералізованих вод у фільтраційно-регенераційних біоплато. Бондар О.І., Филипчук В.Л., Курилюк М.С., Кривошей П.П.

Фільтраційно-регенераційні біоплато можна використовувати для комплексного очищення та супутнього безмембранного фітоопріснення мінералізованих солонуватих вод. Демінералізація води здійснюється за рахунок вилучення солей вищими водними рослинами у біоплато та обробки циркуляційно-регенераційних вод з використанням коагулянтів, ензимів, біореагентів і пробіотиків, суспензії природних мінералів з електрохімічною активацією реагентів. Блок обробки та очищення циркуляційно-регенераційних вод біоплато повинен включати флотаційний реактор-прояснювач для флотації зависі, введення додаткових реагентів та самопромивний пінополістирольний фільтр з дозуванням у прояснену воду біореагентів, що дозволяє забезпечити постійний приріст зеленої біомаси вищих воднихрослин, інтенсифікувати фотосинтез і вилучення солей вищими водними рослинами. Для обґрунтування можливості супутнього опріснення мінералізованих вод за допомогою вищих водних рослин було використано фітотехнологію фільтраційно-регенераційного біоплато гідропонного типу. Розміщення біоплато в кінці технологічної схеми дозволяє забезпечити глибоке очищення води від органічних і неорганічних домішок і відновити її природні властивості за рахунок контакту з вищими водними рослинами. Показано, що агрегат для очищення циркуляційно-регенераційних вод біоплато повинен містити флотаційний реактор-очисник для введення додаткових реагентів та самопромивний пінополістирольний фільтр з дозуванням у очищеній воді ферментів, біореагентів та пробіотиків, які дозволяє стабільно збільшувати зелену біомасу та інтенсифікувати видобуток солей вищими водними рослинами. *Ключові слова:* демінералізація води, агрегат для очищення циркуляційно-регенераційних вод, фільтраційно-регенераційне біоплато.

Introduction. The problem of salt water desalination is particularly acute in all countries of the world, especially in areas with limited fresh water supplies. Currently, the countries of Central Asia, the Middle East, the densely populated countries of Indonesia, China,

India and almost all countries in Africa and several countries in Europe, the Americas and the United States suffer from a lack of fresh water for agriculture and water supply and need an immediate solution to the shortage of clean water in coming soon. According to

the UN, fresh water shortages worldwide are increasing by 13–20 % annually and more than five billion people will have water problems already in 2050 [1]. The solution to the problem of ensuring access of the Earth's population to clean fresh water is the goal of all countries of the world without exception. The essential direction of the solution of this problem is the use in the drinking and technical water supply of mineralized water after their desalination to the statutory requirements, first of all, to the concentration of salts not higher than 1000–1500 mg/dm³.

The current state of saltwater demineralization.

The main methods of water desalination are reverse osmosis, ion exchange, evaporation (distillation), electro dialysis and combinations thereof. Currently, the most common methods of water desalination are reverse osmosis and ion exchange. Less commonly used are electro dialysis and distillation. In most cases, ion exchange allows the water to be desalinated to almost complete anion and cation extraction. For this purpose, water is passed successively through cation exchange and anion exchange filters and mixed action filters loaded with a mixture of anionite and cation exchanger. The number of filter stages and the type of ion-exchange material are determined by the depth of desalination of the water, the qualitative and quantitative composition of the impurities, and the requirements for the removal of contaminating ions. In most cases, ion exchange is recommended for the desalination of brackish water with an initial concentration of 1500–2000 mg/dm³ [3], although some authors recommend more. The advantages of the ionic method include the high reliability of desalination. The disadvantages of this method are the large number of reagents for the periodic regeneration of ion exchangers, which leads to the discharge of waste regeneration solutions-eluates with a content of salts on average 2.0–3.0 greater than the mass of salts found in salty water [4]. A significant problem is the processing of these solutions, which are forbidden to discharge into water bodies.

In recent decades, the use of membrane processes such as reverse osmosis (hyperfiltration) has become widespread in water desalination. These processes reduce the salt content of mineralized water by filtration under pressure through special membranes. The salts are concentrated as concentrate or sent for further processing. Water pressure should be higher than the osmotic pressure of salts in water, which increases with increasing ion concentration. For example, if the osmotic pressure of drinking water reaches 0.10 MPa, then for seawater containing 35 g/dm³ of salts, the osmotic pressure is a significant value of 2.58 MPa, which requires the use of high-pressure pumps. Output of desalinated water (permeate) reaches a maximum of 75 % [5]. Multi-stage filtration is used to increase the efficiency of water desalination and to reduce the volume of waste concentrates. At high concentrations of salts, it is economically feasible to use two-stage

desalting using reverse osmosis or electro dialysis in the first stage, and ion exchange in the second. Such a combined desalination scheme reduces the number of reagents and discharge concentrations of salts.

Compared to ion exchange purification and water desalination, reverse osmosis has the following advantages: process continuity and fewer reagents for membrane regeneration. However, it should be noted such disadvantages of this technology as the sensitivity of membranes to biological fouling, colloids, heavy metals and organic impurities, the formation of sediment insoluble salts on the surface of membranes, inlay of membranes with salts of rigidity and higher electricity costs. All this requires careful pre-disinfection and purification of water from the slurry, heavy metals and organic impurities that can "poison" the membranes. In addition, to prevent the deposition of insoluble compounds on the membrane surface special chemicals (sediment inhibitors or anti-scalants) are added to the source water.

In most cases, with significant desalination of large volumes of seawater, concentrated solutions of salts, together with anti-scalants and wash chemicals, are returned to the environment, which is extremely hazardous to the environment. The coastal ichthyofauna and coral reefs are especially affected by the discharge of concentrates after hyperfiltration into seawater. In particular, the United States Department of the Environment has found that the huge number of seawater desalination plants in the year has harmed more than 3.4 billion fishes and other marine fauna organisms and caused economic damages to the country's fishing industry in excess of 212,5 million \$. For a short period of time desalination plants can also destroy about 90 % of plankton [6].

At present, there is a tendency to use natural methods for purification and conditioning of water using renewable natural resources, in particular through higher aquatic plants (HAP). From natural water treatment systems, bioengineering structures of the type of bioplato [7; 8], which are used for treatment of household, industrial wastewater, natural water in reservoirs and contaminated surface runoff are becoming widespread. The essence of the functioning of most bioplato is that phyto-purification of water in them occurs by filtration of water through the root system of HAP, due to photosynthesis in plants with ensuring their absorbing, cumulative, oxidizing and ability to synthesize oxygen in biodegradation of carbon dioxide. Enclosed hydroponic-type bioplato (EHTB) are quite common [9, 10], in which the root system of higher aquatic plants is fixed in a porous (gravel) filtration load and is constantly washed by water that moves vertically from top to bottom or bottom to top.

Along with the effective removal of slurry, organic impurities, biogenic nitrogen and phosphorus compounds, soluble salts are also removed from the water by higher aquatic plants. Thus, when using water hyacinth (*Eichornia crassipes*), along with sewage treatment

from organic impurities on the biofilter (bioreactor), deletion of chloride up to 32 %, sulfate up to 43 % was observed [11]. The reed at a yield of 44 t/ha of dry matter, can accumulate up to 419 kg/ha of potassium, 408 kg/ha of chlorides, 450 kg/ha of sodium [12]. On bioengineered structures like Constructed Wetlands using higher aquatic plants, the efficiency of sulfate purification was up to 25–30 %, and sodium ions up to 10–15 % [13].

At the same time, in the bioplato there is a gradual collimation of the pore space of the filter backfill, the inter-root space of the HAP and of the drainage by biofilm and mineralized sediment. In addition, there is a constant withering away of the roots of higher aquatic plants and algae, which further clogs backfill and drainage. These processes reduce the supply of oxygen and nutrients to the root system of HAP, which disrupts the processes of photosynthesis, transpiration and phyto-purification of water. As such bioplots do not allow sediment removal, then its accumulation and compaction begins in the filtration backfill and inter root space. Anaerobic biological processes begin to flow, resulting in reduced efficiency of mineral salts extraction, sorption and detoxification of organic impurities. Suffotic processes begin to flow, the multicomponent colloidal

impurities are peptized and, as a consequence, secondary contamination of treated water is observed, higher aquatic plants die, and the efficiency and productivity of bioplato facilities is reduced.

As shown by the experimental data, the extraction of sulfates is at a high level up to 144 hours of operation of the facilities of the bioplato and is 0.404–0.837 mg/h, then the absorption intensity drops to 0.121–0.046 mg/h. [11]. The same is observed with the removal of chlorides. Periodic shutdown of facilities for repair and restoration work associated with the washing and regeneration of filter backfill and drainage is required to restore the bioplato operation, creates stress conditions for HAP and adversely affects the subsequent phyto-purification processes.

These disadvantages of the bioplato are absent when using filtration-regeneration hydroponic type bioplato (FRHTB) [14], which provides a constant flushing of the filter backfill, the root system of the HAP and drainage. The washing and regeneration of the bioplato is carried out by means of hydro-automated drainage of the special middle drainage of contaminated circulation-washing waters from the filtering backfill of the bioplato and their subsequent purification on a self-washing foamed polystyrene filter.

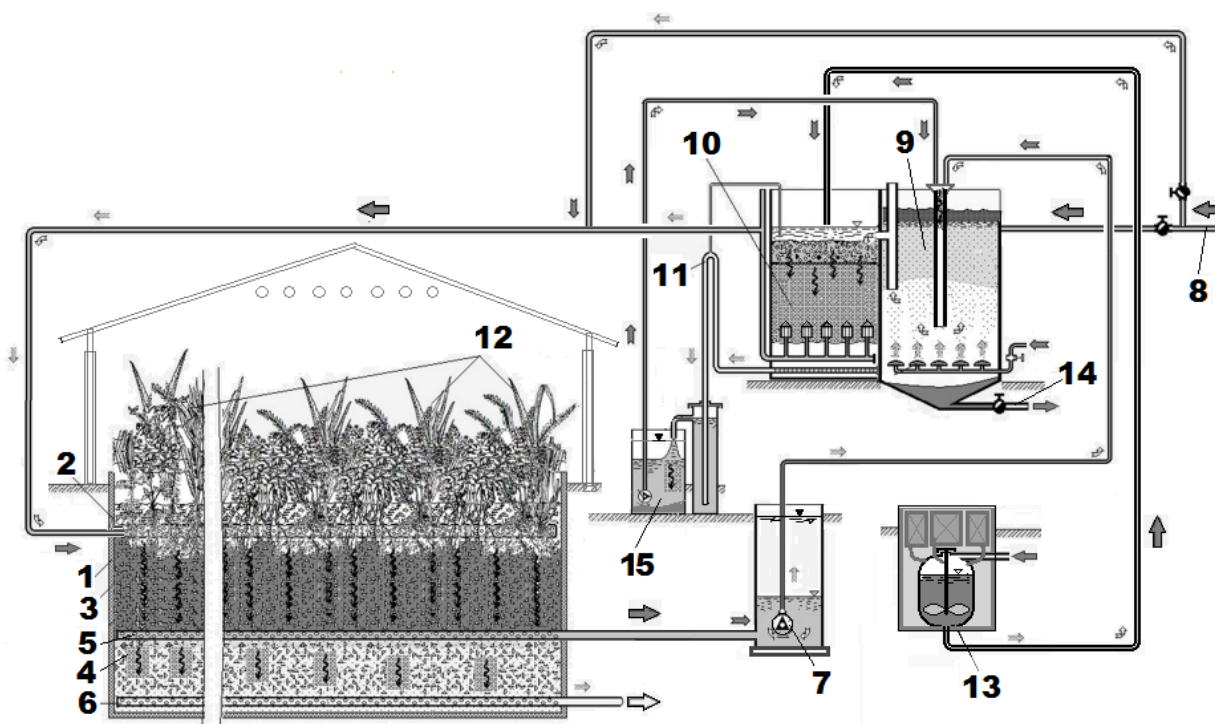


Fig. 1. Schematic diagram of filtration-regeneration bioplato of hydroponic type (FRHTB) for complex purification and desalination of mineralized waters

1-body bioplato, 2 – top drainage of water supply to the bioplato, 3 – top layer of filter backfill, 4 – bottom layer of filter backfill, 5 – medium drainage of collection and drainage of circulating-regeneration water, 6 – lower drainage of collection and drainage of purified water, 7 – pump of circulation-regeneration water, 8 – manifold of supply of source mineralized water for purification, 9 – flotation reactor-clarifier, 10 – self-flushing foam filter, 11 – unit hydro-automatic filter flushing, 12 – higher aquatic plants (HAP), 13 – reagent farm, 14 – sediment drainage, 15 – capacity for filter wash water accumulation

It allows to provide self-healing mode of work of phyto-constructions of bioplato without creating stressful conditions for the growth of HAP on the bioplato. Thanks to the developed technology and design FRHTB mode of operation of the bioplato enables, regardless of the concentration of pollution in the source water, the cyclical filing of its treatment, availability of service personnel and in any climatic conditions to achieve higher quality and stability of water purification using higher aquatic plants. Therefore, the use of FRHTB for the complex removal of contaminants and salts from mineralized water can be promising in the case of unreacted and membrane-free water desalination.

The aim of this work is to analyze the treatment of water on the bioplato and to justify the possibility of using filtration-regenerative bioplato hydroponic type (FRHTB) for the concomitant desalination of mineralized water using higher aquatic plants (HAP).

Research results. To substantiate the possibility of concomitant desalination of mineralized waters with the help of higher aquatic plants, phytotechnology of filtration-regeneration bioplato of hydroponic type was used, the basic scheme of which is shown in the figure.

According to the technological scheme of the filtration-regeneration bioplato hydroponic type (FRHTB) phyto-desalination and water purification is carried out in several stages. The major degree of water desalination and purification occurs in the bioplot (1) itself through the use of photosynthesis processes in higher aquatic plants (HAP) with the absorption of salts and biogenic compounds from water and their accumulation in the biomass of higher aquatic plants. Thus, according to researches of V. Kravets [15] it is established that on the current systems of phyto-purification of water using higher aquatic plants, the removal of sulfates and chlorides on bioplato filters is 58–35 % and 67–49 %, respectively, depending on the bioplato structure, from the time of year and species of higher aquatic plants. The total extraction of dissolved salts from mineralized water can be on average 40–55 % of the total salt content of the original brackish water with a salt concentration of 2500–3500 mg/dm³.

An additional degree of desalination of mineralized (brackish) water according to the FRHTB technology is carried out by purification of water and concomitant extraction of salts from the circulation and regeneration waters of the bioplato with the use of reagents and probiotics in flotation reactor-clarifier (9) and then in self-flushing foam filter which are combined into a single water treatment complex [16]. Coagulants, metal hydroxides, filtration materials and suspensions of the natural minerals of clinoptilolite, kieselguhr, bruschet, tuff, bentonite, peat [17] and combinations thereof can be used for the purification and desalination of circulation-regeneration waters.

When using aluminum hydroxochloride coagulants with sodium aluminate to purify mineralized waters

with a sulfate concentration of 500–700 mg / dm³, the degree of purification from sulfate reaches 83–88 % [18]. Magnetite, iron and aluminum hydroxides obtained by electrolysis using metal anodes, known as the electrocoagulation process, have high sorption properties with respect to dissolved salts. Experimental data obtained by the authors show that when electrocoagulation the degree of chloride extraction from mineralized brackish water reaches 13–15 %, and sulfates – 20–31 % and more due to the high sorption capacity of metal hydroxides at the time of their formation after ionization of metallic anodes by action electric current or internal electrolysis of metal chips [19; 20]. Probiotics [21] and activated natural suspensions based on zeolite (clinoptilolite) and other natural minerals or their complex mixtures [22] are dosed into the source water for intensification of photosynthesis processes in HAP with the assurance of a constant increase of green biomass in the bioplato.

Activation of the natural suspension of zeolite can be carried out by effective microorganisms-enzymes, probiotics, and catholyte obtained in the cathode zone of the membrane cell [19; 20], or by complex activation [23]. Suspension activation provides more intensive accumulation by zeolite and other natural filtration materials and suspensions of biogenic nitrogen and phosphorus compounds and stimulates intensive growth of the BBP root system, which promotes photosynthesis and the immobilization of salts by higher aquatic plants.

The technological scheme of purification and concomitant desalination of mineralized water in FRHTB works as follows. The mineralized water through the collector (8) is fed to the bioplato (1) and through the upper drainage (2) is evenly distributed in the upper layer of the filter backfill (3) where the most active suction zone of the root system of higher aquatic plants (12) is located.

Due to the constant contact of higher aquatic plants with water, active mass exchange between water and root system of HAP, photosynthesis in the bioplato complex biochemical processes of transformation of organic and mineral impurities present in water, absorption of dissolved salts by biomass of plants are occur are occur. The water is then filtered from top to bottom through the layers of the filter backfill (3, 4), uniformly collected through the filtration area by the lower drainage (6) and discharged as intended.

During the flow of water in the layers of the filter backfill and the root zone of the plants of the bioplate, there is a constant accumulation of film of activated sludge, microscopic algae, suspended mineral and organic impurities, which leads to the clogging of the layers of backfill and drainage. Increasing the hydraulic resistance of the filter layers, the suffusion processes begin to occur, which leads to a decrease in the quality of the purified water.

To prevent this process, some of the contaminated water is removed from the upper filter layer by means

of a middle drainage (5), which ensures a constant regeneration of the upper layers of the filter backfill and the BBP root system. Initially, contaminated circulation and regeneration water is sent for further purification to the flotation reactor clarifier (9), where also supplies reagents for coagulation and sorption of the suspension and extraction of dissolved salts, as well as compressed air for flotation of the slurry and saturation of water by oxygen. The formed sludge and sediment are periodically withdrawn from the clarifier reactor (9). The purification of clarified water from the slurry is carried out on a foamed polystyrene filter (10). The filter backfill of the filter is periodically, as it is clogged, washed in hydro-automatic mode by means of a special siphon device (11). The flushing water is collected in a container (15) and then sent for purification into a flotation clarifier (10) together with circulation-regeneration water. If necessary, solutions of probiotics, enzymes and suspensions of effective microorganisms can be dosed into the purified circulation-regenerative water after the foam polystyrene filter. After purification in the bioflotation clarifier-reactor (9) and in the self-washing polystyrene filter (10), the circulation-regeneration waters are mixed with the flow of the brackish water and fed into the "head" of the bioplato (1).

Thus, circulating-regenerating water throughout the day, circulating through the upper layer of the filter backfill (3) of the bioplato, repeatedly wash the root system of the BBP, which ensures their constant washing and allows to stabilize the process of purification and demineralization of brackish water in the FRHTB technology.

Depending on the degree of contamination and mineralization of the water, the complex block of FRHTB may work in some combined variants, in accordance with the specified operating modes of the system of purification and phytodesalination. At relatively high concentrations of contaminants and mineral salts, the entire stream of water can be fed directly into the flotation reactor-clarifier (9) and the self-washing foam polystyrene filter (10) for pre-treatment and desalination before the bioplato in conjunction with circulating-regeneration water. At relatively average concentrations of contaminants, the water can be divided into two streams, one of which goes directly to the bioplato, and the other is mixed with circulating water and purified in a clarifier-reactor and a filter. The ratio of flows is determined by such parameters as the concentration of contaminants, the mode of flow of water for purification, the requirements for the quality of purified and desalinated water, as well as the design of the bioplato.

The operating modes of FRHTB bioplato facilities also determine the types of reagents, the activated natural suspension, and the effective enzymes and probiotics that will be dosed or synthesized using a reagent farm (13). This allows you to adjust the properties of the water or

change them in the direction required for the consumer of purified water, as well as to purify the water in any climatic conditions. In particular, with the help of reagents it is possible to remove especially toxic impurities (heavy metals, complex organic impurities of industrial character), to carry out the conditioning of purified water.

The FRHTB bioplato can be part of a general comprehensive scheme of physico-chemical technological scheme for water treatment. In this case, the bioplato may be placed at the beginning or end of the general scheme of contaminated water treatment. If the water contains high concentrations of readily oxidizable organic and mineral impurities and requires a deep reduction of mineralization, it is more appropriate to place the bioplato at the beginning of the technological scheme. This makes it possible to remove the bulk of organic and especially toxic mineral contaminants on the bioplato and to reduce the concentration of salts, and in the next stage to achieve a deep purification of clarified water. Placing the bioplato at the end of the technological scheme allows to provide deep purification of water from organic and inorganic impurities and restore its natural properties through contact with higher aquatic plants.

Conclusions.

Analysis of the possibility of phytodesalination of mineralized waters in filtration-regeneration bioplato of the FRHTB type shows:

1. Bioplato based on FRHTB technology can be used for hydro-automated purification and concomitant membrane-free phytodesalination of mineralized water. Phytodesalination of mineralized water in FRHTB is carried out by the extraction of salts by higher aquatic plants in the bioplato and the treatment of circulating-regenerative water with the help of coagulants, magnetite, metal hydroxides, suspension of natural minerals with additional electrochemical activation of reagents.

2. The unit for treatment and purification of circulation-regeneration waters of the bio-plato must include a flotation reactor-clarifier for introducing additional reagents and a self-washing foam polystyrene filter with dosage in clarified water of enzymes, bio-reagents and probiotics, which allows for a steady increase in green biomass and intensify the extraction of salts by higher aquatic plants.

3. The calculations show that for the individual use of FRHTB total demineralization of brackish water with an initial salt concentration of 2500–3500 mg/dm³ can reach up to 40–60 %, depending on the design of FRBGT while providing the required degree of recirculation-regeneration water.

4. The next stage of the work is the modeling of the process of complex purification and accompanying phyto-desalination of brackish water using the FRHTB technology and determination of the basic parameters of the functioning of the facilities of the technological scheme, depending on the degree of water recirculation and concentrations of contaminating components.

References

1. Доповіді ООН щодо ситуації з правами людини (2014-2018). <http://www.unwater.org/worldwaterday/about.html>.
2. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10_gigienichni_vimogi_do_vodi_pitnoji_priznachenoi_dlja_spozhivannja_ljudinoju/25-1-0-1180.
3. Хохрякова Е.А., Резник Я. Е. Водоподготовка. Справочник. / Под ред. д.т.н., С.Е. Беликова. М.: Изд. Дом «Аква-Терм», 2007. 240 с. <https://studylib.ru/doc/2279327/vodopodgotovka---gaz>.
4. Громов С., Пантелеев А., Сидоров А. Сравнение методов обессоливания воды. НПК «Медиана-Фильтр». http://www.mediana-filter.com.ua/water_obessolivanie.html.
5. Куликов Н.И., Найманов А.Я., Омельченко Н.П., Чернышев В.Н. Теоретические основы очистки воды. Донецк: изд-во «Ноулидж», 2009. 298 с.
6. Является ли опреснение долгосрочным источником питьевой воды? FacePla.net. <https://www.facepla.net/content-info/art-menu/627-is-desalination-long-term-way.html>.
7. Greenway M. The role of constructed wetland in secondary effluent treatment and water reuse in subtropical and arid Australia. *Ecological engineering*, № 25, 2005, P. 501–509.
8. Стольберг В.Ф., Ладыженский В.Н., Спирин А.И. Биоплато – эффективная малозатратная экотехнология очистки сточных вод // Экологія довкілля та безпека життєдіяльності. № 3, 2003. С. 32–34.
9. Диренко А.А., Коцарь Е.М. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // Сантехніка, опалення, кондиціонування. № 4. 2006. С. 12–15.
10. Петрук В. В., Кравець В.В. а ін. Споруда для очищення стічних вод з використанням вищих водних рослин. Патент № 3377. Бюл. № 11. 2004.
11. Василюк Т.П. Эффект очищения стічних вод біологічним методом з використанням рослин виду *Eichornia crassipes* за різного гідравлічного навантаження / Т.П. Василюк // Біотехнологія: науковий журнал. Київ, 2009. Вип. 1. С. 89–96.
12. Кропачева М.В. Высшие водные растения, как один из факторов самоочищения водоема. *Известия Вузов. Пищевая технология*. № 5-6, 2002, С. 78–79.
13. М.А. Захарченко, Рыжикова ИА, Яковлева Л.И. Опыт эксплуатации биоинженерных сооружений (БИС) типа Constructed Wetlands в Золочеве Харьковской области. Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. XII междунар. науч.-техн. конфер. Бердянск, 2004 г. Сб. научн. трудов. Харьков, 2004, Т-3, С. 557–561.
14. Bondar A, Fylypchuk V., Kuryliuk M., Ayaya Aniyefiok. Deep Purification of waters in filtration-regeneration bioplato of hydroponic type. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. № 16-17, 2017. С. 39–45.
15. Кравець В.В. Гомологічний ряд вищих водяних рослин в системах глибокого доочищення і знезараження очищених стічних вод. Міжнародний конгрес і технічна виставка ЕТЕВК. м. Ялта, 2011, Збірка доповідей. С. 289–294.
16. Бондар О.І., Курилюк А.М., Филипчук В.Л., Курилюк М.С. та ін. Біоботанічний комплекс очищення води AQUABIOSYNERGY-74. Патент № 104080. Бюл. № 1. 2016.
17. Бондар О.І., Курилюк О.М., Курилюк М.С., Филипчук В.Л. та ін. С-модуль синергетичного очищення води ELION-U-SYNERGY.163-С. Патент № 94674. Бюл. № 22. 2014.
18. Рисухін В.В. Очищення від сульфатів вод з підвищеною мінералізацією і жорсткістю / В.В. Рисухін, Т.О. Шаблій, В.С. Камаєв, М.Д. Гомеля // Екологічна безпека. 2011. № 2. С. 70–75.
19. Филипчук В.Л. Очищення багатоконпонентних металвміщуючих стічних вод промислових підприємств. Рівне: УДУВГ, 2004. 232 с.
20. Rogov V., Kuriljuk N., Anopolsky V., Shvorob V., Moskalev I. Electrolyzer for removing fluorine-containing impurities from water. United States Patent Number 5,124,017-US005124017A.
21. Маркин В.В. Возможности интенсификации очистки городских сточных с помощью пробиотических средств. *Комунальне господарство міст*. 2014. Вип. 114. С. 131–135.
22. Бондар О.І., Курилюк О.М., Курилюк М.С., Филипчук В.Л. та ін. Синергетичний комплекс очищення води AQUA-U-ELION. Патент № 95617, Бюл. № 24. 2014.
23. Курилюк М.С., Кривошей П.П., Курилюк О.М., Филипчук В.Л. та ін. Фітоблок із Тесла-активатором води AQUA-T-SYNERGY-14UA. Патент № 101243, Бюл. № 16. 2015.

УТИЛІЗАЦІЯ І ПЕРЕРОБКА ВІДПРАЦЬОВАНИХ МОЛІБДЕНОВИХ КАТАЛІЗАТОРІВ

Гринь Г.І., Мязіна О.В., Мірошніченко Н.М., Гринь С.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кірпічова, 2, 61002, м. Харків

myazina737@gmail.com

У роботі наведені приклади використання молібдену та загальні відомості про використання нікель-молібденових каталізаторів. Також наводяться заходи щодо розробки технології вилучення цінних компонентів із відпрацьованих каталізаторів. Розглянуто заходи для збільшення терміну служби і відновлення активності відпрацьованих каталізаторів, а саме застосування газоповітряної і паро-повітряної регенерації при високих температурах і тиску. Досліджено фізико-хімічні властивості молібдену і його сполук. Вивчено склад відпрацьованого Ni-Mo каталізатора і встановлено, що до його складу входять вуглець і вуглеводні. Розглянуті основні джерела відходів нафтохімічної промисловості. Наведена характеристика каталізаторів нафтохімічної промисловості. Описані сучасні способи переробки сировини полівалентних металів. Показано методи переведення молібдену в розчин і методи осадження молібдену з розчинів. Наведено термодинамічний аналіз взаємодії каталізатора з реакційним середовищем і реакцій окислення компонентів каталізатора. У результаті термодинамічного розрахунку було встановлено, що у процесі випалу при стехіометричній кількості кисню і відповідній температурі випалу всі сульфідні і карбідні метали будуть переходити в оксиди відповідного металу і термодинамічно стабільними фазами будуть оксидні сполуки молібдену у вищих ступенях окиснення. Досліджено розчинність сполук молібдену у водних розчинах аміаку і в воді. Розглянуто хімізм процесу випалу відпрацьованого каталізатора. Експериментально досліджено процес окисного випалу каталізатора за допомогою кисню. Проведені дослідження щодо впливу дисперсності каталізатора на ступінь видалення вуглеводнів і сірки, впливу витрат повітря на швидкість випалу. Розглянута схема лабораторної установки для вивчення процесу випалу каталізатора. Досліджено процес вилучення молібдену з відпрацьованих каталізаторів. Наведена кінетика процесу розчинення сполук молібдену. Також наводиться математична модель процесу окисного випалу, яка дозволяє прогнозувати умови проведення процесу. *Ключові слова:* молібден, відпрацьовані каталізатори, метод, аналіз, вилучення, концентрація, розчинність, технологія.

Recycling and processing of spent molybdenum catalysts. Hryn H., Miazina O., Miroshnichenko N., Hryn S.

This paper provides examples of the use of molybdenum and General information about the use of Nickel-molybdenum catalysts. Measures for developing a technology for extracting valuable components from spent catalysts are also provided. Measures are considered to increase the service life and restore the activity of spent catalysts, namely the use of gas-air and steam-air regeneration at high temperatures and pressures. The physical and chemical properties of molybdenum and its compounds were studied. The composition of the spent Ni-Mo catalyst was studied and it was found that its composition includes carbon and hydrocarbons. The main sources of waste from the petrochemical industry are considered. The characteristic of catalysts in the petrochemical industry is given. Modern methods of processing raw materials of polyvalent metals are described. Methods for converting molybdenum into solution and methods for precipitation of molybdenum from solutions are shown. The thermodynamic analysis of the interaction of the catalyst with the reaction medium and the oxidation reactions of the catalyst components is given. As a result of thermodynamic calculation, it was found that during the firing process, at the stoichiometric amount of oxygen and the corresponding firing temperature, all metal sulfides and carbides will pass into oxides of the corresponding metal and the thermodynamically stable phases are molybdenum oxide compounds in higher oxidation States. The solubility of molybdenum compounds in aqueous solutions of ammonia and in water was studied. The chemistry of the spent catalyst firing process is considered. The process of oxidative firing of the catalyst using air oxygen was experimentally studied. The influence of the catalyst dispersion on the degree of removal of hydrocarbons and sulfur and the influence of air flow on the firing rate was studied. The considered scheme of a laboratory installation for studying the process of firing the catalyst. The process of extracting molybdenum from spent catalysts was investigated. The Kinetics of the process of dissolution of molybdenum compounds is given. A mathematical model of the oxidative firing process is also provided, which allows predicting the conditions of the process. *Key words:* molybdenum spent Catalysts, method, analysis, Extraction, concentration, solubility, technology.

Постановка проблеми. В Україні немає чинних підприємств із переробки рудної сировини, яка містить молібден. Однак споживання цього металу в промисловості значне, особливо в нафтохімічній промисловості, металургії, машинобудуванні та в інших галузях. З молібдену виготовляють нагрівальні елементи для печей, які працюють в атмос-

фері водню. Багато сполук молібдену слугують каталізаторами реакцій. Молібден входить до складу мікродобрих. Залучення у переробку альтернативних сировинних джерел рідкісних металів дозволить отримувати цей цінний компонент. В якості джерел можна використовувати відпрацьовані каталізатори, які утворюються у великих кількостях в нафтохімічній

промисловості, містять відразу кілька цінних компонентів, у тому числі й молібден.

Багато нафтопереробних підприємств відмовляються від дорогої регенерації каталізатора, попит на свіжі каталізатори збільшується, зростає і кількість відпрацьованих. Для того, щоб зберегти ці відходи, необхідні величезні площі і великі витрати на утримання й експлуатацію накопичувачів відходів. Створення технології вилучення сполук молібдену з відпрацьованих каталізаторів дозволить не тільки повернути ці компоненти у виробничий цикл, але й істотно знизити забруднення навколишнього середовища токсичними відходами.

Актуальність дослідження. Молібден знаходить широке застосування в хімічній, металургійній та інших галузях промисловості. Через відсутність діючих підприємств із переробки рудної сировини, яка містить молібден, Україна змушена імпортувати сполуки цих металів. При цьому щорічно в нафтохімічній промисловості утворюється до 15 000 тонн відпрацьованих нікель-молібденових каталізаторів, які використовуються в процесах гідроочищення нафти. Зазначені відпрацьовані каталізатори містять цінні компоненти в кількостях, достатніх для їх ефективного вилучення. Через багатокомпонентний склад такої сировини в Україні відсутні технології переробки відпрацьованих каталізаторів нафтохімічної промисловості, що враховують всі екологічні та економічні вимоги до сучасних технологій.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Вивчення хімізму і властивостей багатокомпонентних систем, які містять полівалентні і перехідні метали, має актуальне наукове значення і дозволить розробити технологію переробки нікель-молібденових каталізаторів, поширити отримані закономірності на інші технології. Використання відпрацьованих каталізаторів стає ще більш актуальним, оскільки при вступі України до Європейського Союзу обов'язковою умовою є узгодження екологічних нормативів і зміна існуючих технологій відповідно до стандартів Європейського Союзу. При цьому особлива увага звертається на запобігання забруднень важкими металами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості поведінки сполук молібдену відносно різноманітних розчинників були детально розглянуті та показані в роботі [1]. На підставі проведеного аналізу розчинення сполук молібдену було встановлено, що основні оксидні сполуки молібдену добре розчиняються в кислотах і в лужних розчинах. Орієнтуючись на отримання в розчинах товарних продуктів молібдену MoO_3 або $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ при виборі розчинника слід звернути увагу на лужні розчини, зокрема розчини аміаку. При цьому потрібно враховувати необхідність відсутності солей кальцію і заліза, які знижують розчинність MoO_3 і будуть забруднювати розчини. Однак ці ж солі можна використовувати для осадження сполук молібдену із роз-

чинів. У роботі [2] наведено відомості про Ni-Mo каталізатори, які випускаються провідними зарубіжними та вітчизняними фірмами.

Аналізуючи джерела [2; 3], варто зазначити, що для розробки технології вилучення цінних компонентів із відпрацьованих каталізаторів набуває великого значення знання їх складу, структури і властивостей, оскільки ці показники визначають основні технологічні рішення майбутньої технології.

Методи осадження молібдену з розчинів описані в роботі [4]. Необхідно зазначити, що крім запропонованих способів можливе осадження сполук молібдену MoS_3 , екстракція молібдену органічними екстрагентами, осадження сполук молібдену нижчої валентності, відновлення молібдатних розчинів молібденом або воднем. Термодинамічні умови протікання реакцій процесу вилучення сполук молібдену із твердих продуктів спалювання наведені в роботі [5]. У результаті термодинамічного розрахунку встановлено, що в процесі випалу при стехіометричній кількості кисню і температури випалу вище 473 K всі сульфідні і карбідні метали будуть переходити в оксиди відповідного металу, і термодинамічно стабільними фазами будуть оксидні сполуки молібдену у вищих ступенях окиснення.

Дослідження процесу вилучення молібдену з відпрацьованих каталізаторів описано в роботі [6]. Виходячи зі складу каталізатора і ґрунтуючись на проведеному аналізі наукової літератури, був обраний спосіб вилучення цінних компонентів із обпаленого каталізатора, який полягає в розчиненні оксидів молібдену у водних розчинах аміаку. Вплив перексиду водню на процес розчинення сполук молібдену незначний, і його застосування технологічно недоцільне для вилучення молібдену. Вибір технологічних параметрів процесу вилучення молібдену з відпрацьованих каталізаторів здійснюється на підставі джерела [7].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Головним постачальником цінної вторинної сировини – відпрацьованих каталізаторів – є нафтопереробний комплекс [8]. Хоча витрата каталізаторів у процесі переробки нафти досить невелика за рахунок значних обсягів переробки (~ 50 млн т. нафти), в Україні щорічно утворюється значна кількість відпрацьованих каталізаторів, які використовуються в процесах гідроочищення і деметалізації [9].

Для збільшення терміну служби і відновлення активності відпрацьованих каталізаторів застосовують газоповітряну або паро-повітряну регенерацію при високих температурах і тиску. Однак регенерація не призводить до повного відновлення активності каталізатора внаслідок неповного випалювання коксу та незворотних змін фазового і структурного складу: зменшення активної поверхні і обсягу пор. Регенерація каталізатора також вимагає зміни технологічного режиму апарату або використання додаткового обладнання для регенерації поза реактором [10].

При термопаровій регенерації утворюються вологі гази, які відходять із високою температурою з умістом важких металів, що вимагає додаткового обладнання для їх знешкодження і погіршує екологічну обстановку. У результаті капітальні й експлуатаційні витрати на регенерацію перевищують витрати на проведення основних стадій каталітичного процесу. Крім того, навіть при застосуванні регенерації відбувається виведення частини каталізаторів із технологічного циклу, що призводить до необхідності вирішення проблеми їх переробки.

Новизна. Досліджено та встановлено хімізм і кінетику процесу взаємодії компонентів відпрацьованого каталізатора з киснем повітря. Запропоновано математичну модель процесу окисного випалу, що дозволяє прогнозувати умови проведення процесу.

Методологічним та загальнонауковим значенням є розробка фізико-хімічних основ технології отримання сполук молібдену з відпрацьованих каталізаторів, покращення екологічної ситуації.

Виклад основного матеріалу. Для розробки технології вилучення цінних компонентів із відпрацьованих каталізаторів набуває великого значення знання їх складу, структури і властивостей, оскільки ці показники визначають основні технологічні рішення майбутньої технології.

Серед усіх каталізаторів нафтохімічної промисловості можна виділити дві основні групи: алюмо-нікель (кобальт) молібденові системи і синтетичні алюмосилікати і цеоліти, які не містять перехідних металів. У таблиці 1 наведено відомості про Ni-Mo каталізатори, які випускаються провідними зарубіжними та вітчизняними фірмами [11].

Основні способи вилучення молібдену з різної сировини поділяються на 2 групи:

– гідрометалургійні: витяг ванадію або молібдену кислотами чи лугами;

– комбіновані або піро-гідрометалургійні.

У першій групі методів переробки сировини передбачається безпосередня обробка сировини розчинами лугів і кислот. Об'єднані піро-гідрометалургійні способи передбачають основну операцію – процес окисного випалу з добавками для переведення цінних компонентів у водорозчинну форму, потім вилуговування водою і кислотними розчинами з подальшим витяганням сполук цінних металів різними способами.

Для молібдену в технології переробки різних видів сировини вводиться процес окисного випалу спільно з реакційно-здатними добавками. В якості таких добавок зазвичай застосовують солі лужних металів: NaCl, сільвініт, Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , CaO, MgO. Цей процес дозволяє здійснити переклад нижчих сполук у вищу форму валентності з отриманням розчинних солей.

Відомо, що всі кисневі сполуки молібдену (VI) розчиняються в сірчаній і соляній кислотах. Високе вилучення молібдену в кислій розчині пояснюється одночасним розчиненням оксидів заліза, з якими молібден тісно пов'язаний [12]. Вилучення молібдену при вилуговуванні розведеними розчинами гідроксиду натрію або соди здебільшого значно нижче, ніж витяг у сірчаною кислій розчині.

Сировину, яка містить молібден у вигляді MoS_2 , обробляють перш за все для окислення сірки. З цією метою найчастіше використовують окислювальний випал із вапном, хлористим натрієм або хлорування Огарки, отримані після випалу, що використовуються у виробництві феромолібдену для отримання чистого молібдену (VI) оксиду методом возгонки і для хімічної переробки на чисті сполуки молібдену. Розчини після окисного вилуговування очищають

Таблиця 1

Склад каталізаторів гідроочищення

Найменування каталізатора	Масовий склад каталізатора, %			Виробник
	NiO	MoO ₃	Al ₂ O ₃	
ГО-15	5,5	15	решта	Україна
ГПС-1Ф	2-3	8-12	решта	Україна
СГО-15	3-4	13-16	решта	Україна
ТНК	2,5-5	5	решта	Росія
АНМ	4	12	решта	Росія
ГБТК-90	5	14,5	решта	Росія
ГКД-202(205)	5,5	18	решта	Росія
GR-25P	2,5	2,5	решта	Франція
Пат. 53-28392, 1988	0,1-10	5-20	решта	Японія
Пат. 123949, 1987	3-10	12-35	решта	Німеччина
Пат. 1602469, 1981	0,1-10	0,1-20	решта	Великобританія
Пат. 4186081, 1980	1-10	0,5-35	решта	США
Пат. 4120825, 1988	7,3	20,8	решта	США
Пат. 4251350, 1981	2-15	5-40	решта	США
Пат. 4038177, 1981	2-10	10-30	решта	США

від домішок, після чого з них виділяють необхідні сполуки молібдену. Для окислених концентратів застосовують розтин розчинами соди або кислот із подальшим витяганням молібдену екстракцією та іонообміном. Найширше у промисловій практиці використовується вилуговування молібдену розчинами аміаку з наступним осадженням полімолібдатів амонію [6], яке добре описано і може бути використане при розробці технологічного процесу.

Залежно від складу вихідних розчинів можна виділити кілька методів осадження сполук молібдену. З азотнокислих розчинів молібден може бути виділений залежно від надлишку кислоти, вмісту молібдену і домішок екстракцією або осадженням ферромолібдата. З лужних содових розчинів молібден осаджують у вигляді важкорозчинних молібдатів кальцію. Осадження у вигляді пари- і полімолібдату амонію проводять з аміачних розчинів. Також застосовують іонний обмін для вилучення молібдену з розчинів [13]. Крім цих способів, можливо осадження сполук молібдену MoS_3 , екстракція молібдену органічними екстрагентами, осадження сполук молібдену нижчої валентності, відновлення молібдатних розчинів молібденом або воднем.

Наявність у газі водню може призводити до відновлення MoO_3 у важкосульфідний MoO_2 . Також термодинамічно можливе відновлення оксидів молібдену до металу.

Більш глибоке окислення сульфідів Мо призводить до утворення оксидів різного ступеня окислення.

У результаті термодинамічного розрахунку встановлено, що в процесі випалу при стехіометричній кількості кисню і температурі випалу вище

473 К всі сульфідні і карбідні метали будуть переходити в оксиди відповідного металу, термодинамічно стабільними фазами будуть оксидні сполуки молібдену у вищих ступенях окиснення.

Лабораторна установка для вивчення процесу видавлення вуглеводнів і сірки з відпрацьованого катализатора наведена на Рис. 1. Повітря із заданою витратою подається в реактор, де відбувається процес випалу. Через задані проміжки часу вимірювалися втрати маси наважки, визначався фазовий склад катализатора. Проведені дослідження дозволили вивчити вплив дисперсності катализатора на ступінь видавлення вуглеводнів і сірки, вплив витрати повітря на швидкість випалу.

За джерелом [7] аналіз відпрацьованого катализатора після випалу при 873 К, витраті повітря 3800 год^{-1} і розміру гранул менше $0,25 \text{ мм}$ протягом 60 хвилин показав практично повне видавлення сірки і вуглецю з катализатора при збереженні в ньому основного компоненту молібдену. Виходячи з отриманих експериментальних даних, можна зробити висновок, що проведення процесу випалу бажано проводити при швидкості повітря $3500\text{--}3800 \text{ год}^{-1}$ протягом 60 хвилин з інтервалом температур $773\text{--}873 \text{ К}$ при мінімальній висоті шару 1 мм .

Таблиця 2

Значення ΔG реакцій відновлення оксидів воднем молібдену різного ступеня окислення

Реакція	ΔG_T , кДж/моль	
	473 К	873 К
$\text{MoO}_3 + \text{H}_2 = \text{MoO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-860,39	-941,89
$\text{MoO}_3 + 3\text{H}_2 = \text{Mo} + 3\text{H}_2\text{O}$	-856,43	-979,5
$\text{MoO}_2 + 2\text{H}_2 = \text{Mo} + 2\text{H}_2\text{O}$	-575,81	-664,27

Таблиця 3

Значення ΔG реакцій взаємодії сульфідів металів із киснем

Реакція	ΔG_T , кДж/моль	
	473 К	873 К
$\text{Mo}_2\text{S}_3 + 5\text{O}_2 = 2\text{MoO}_2 + 3\text{SO}_2$	-1424,4	-1293,36
$\text{Mo}_2\text{S}_3 + 6\text{O}_2 = 2\text{MoO}_3 + 3\text{SO}_2$	-2512,7	-2266,44
$2\text{Mo}_2\text{S}_3 + 11,5\text{O}_2 = \text{Mo}_4\text{O}_{11} + 6\text{SO}_2$	-4860,3	-4423,85
$\text{MoS}_2 + 3\text{O}_2 = \text{MoO}_2 + 2\text{SO}_2$	-1312,4	-1210,07
$\text{MoS}_2 + 3,5\text{O}_2 = \text{MoO}_3 + 2\text{SO}_2$	-1475,5	-1335,3
$4\text{MoS}_2 + 13,5\text{O}_2 = \text{Mo}_4\text{O}_{11} + 8\text{SO}_2$	-5737,03	-5232,2

Таблиця 4

Значення ΔG реакцій взаємодії карбідів металів із киснем

Реакція	ΔG_T , кДж/моль	
	473 К	873 К
$\text{MoC} + 2\text{O}_2 = \text{MoO}_2 + \text{CO}_2$	-868,9	-821,8
$\text{MoC} + 2,5\text{O}_2 = \text{MoO}_3 + \text{CO}_2$	-1032,02	-947,1
$4\text{MoC} + 9,5\text{O}_2 = \text{Mo}_4\text{O}_{11} + 4\text{CO}_2$	-3962,9	-3679,1
$\text{Mo}_2\text{C} + 3\text{O}_2 = 2\text{MoO}_2 + \text{CO}_2$	-1345,7	-1277,4
$\text{Mo}_2\text{C} + 4\text{O}_2 = 2\text{MoO}_3 + \text{CO}_2$	-1672	-1528
$2\text{Mo}_2\text{C} + 7,5\text{O}_2 = \text{Mo}_4\text{O}_{11} + 2\text{CO}_2$	-3178,8	-2946,9

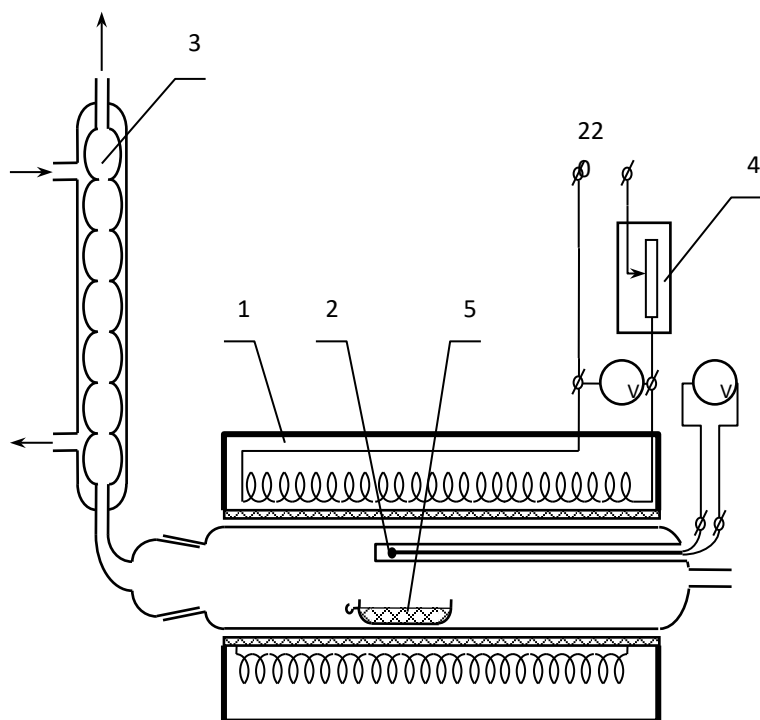


Рис. 1. Схема лабораторної установки: 1 – трубчаста піч; 2 – термопара; 3 – холодильник; 4 – терморегулятор; 5 – контейнер

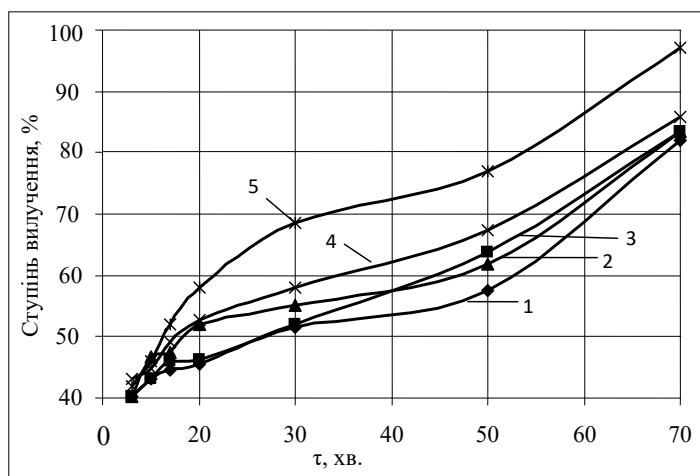


Рис. 2. Залежність ступеню вилучення молибдену при різних концентраціях аміаку в розчинах (г/л): 1 – 30; 2 – 60; 3 – 120; 4 – 200; 5 – 24

Концентрація конденсованого водного розчину аміаку $C_{NH_3}^B$ може бути розрахована за рівнянням (1), отриманим на підставі експериментальних даних авторів роботи:

$$C_{NH_3}^B = 2.54 \cdot C_{NH_3}^H \cdot (1 - 0.0025 \cdot C_{MoO_3}^H) \quad (1)$$

де $C_{NH_3}^H$ – концентрація аміаку в кубі колони, г/л; $C_{MoO_3}^H$ – концентрація молибдену в кубі колони, г/л.

Швидкість процесу вилуговування молибдену (рис. 3) у початковий період до 10 хвилин дуже залежить від концентрації аміаку, а в подальшому швидкість процесу практично залишається незмінною для будь-якої концентрації аміаку, при цьому ступінь вилучення досягає максимального значення через 60 хвилин.

Головні висновки. Загалом було вивчено склад відпрацьованого нікель-молибденового каталізатора. Проведено термодинамічний аналіз реакцій компонентів каталізатора в процесі роботи та взаємодії з киснем. Теоретично обґрунтовано повний перехід сульфідних і карбідних з'єднань компонентів каталізатора в оксиди вищих ступенів окислення при взаємодії з киснем повітря. Отримано експериментальне підтвердження теоретичних розрахунків на реально відпрацьованому каталізаторі. Експериментально досліджено процес окисного випалу каталізатора за допомогою кисню. Встановлено, що оптимальна температура процесу випалу повинна підтримуватися в інтервалі 773–873 К, а оптимальна швидкість повітря має складати 3800 год⁻¹. У результаті досліджень встановлено, що оптимальною концентрацією аміаку в розчині в кубі колони є концентрація 60 г/л, яка дозволяє максимально вилучити молибден.

Перспективи використання результатів дослідження. На підставі проведених досліджень встановлено вплив основних технологічних параметрів на процес окислення компонентів каталізатора, що дозволяє в промисловості знизити витрату енергії, досягти високого ступеню випалу. Отримана математична модель процесу окисного випалу відпрацьованого каталізатора може бути використана для розрахунків оптимальних умов проведення процесу окисного випалу в промислових умовах.

Література

1. Гринь Г.І., Козуб П.А., Дробног Н.Н. Дослідження розчинення сполук молибдену різного ступеня окислення у водних розчинах. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. 2004. № 13. С. 93–97.
2. Гринь Г.І., Дробног Н.Н., Козуб П.А. Розробка технології переробки відпрацьованих Ni-Mo каталізаторів. *Комплексне використання сировини: енерго- та ресурсозберігаючі технології у виробництві неорганічних речовин*: зб. наук. праць. Черкаси, 2004. С. 40–41.
3. Гринь Г.І., Козуб П.А., Дробног Н.Н. Технологія комплексної переробки нікель-молибденового каталізатора. *Екологія і здоров'я людини. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів*: зб. науч. трудов XII міжнародної науково-технічної конф. Харьков, 2004. Том 3.

4. Адигамаев Б.Я., Лунин В.В., Мирошниченко И.И. Радиационно-термическая обработка закоксованного алюмокобальтмолибденового катализатора гидрообессеривания. *Кинетика и катализ*. 1990. № 3. Т. 31. С. 666–672.
5. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ. 1977. С. 383.
6. Дробног Н.Н., Козуб П.А., Гринь Г.І. Дослідження вилуговування ванадію і молібдену з відпрацьованих каталізаторів аміачними розчинами. *Хімія і сучасні технології* : тези доповідей. Дніпропетровськ : УДХТУ, 2005. С. 42.
7. Козуб П.А., Гринь Г.І., Дробног Н.Н. Термическая обработка отработанных Ni-Mo катализаторов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2005. № 3 (2). С. 110–114.
8. Степанов А.В., Матусевич Г.Г., Приймак Н.И. Современное состояние и стратегия развития нефтеперерабатывающей промышленности Украины. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2002. № 6. С. 3–8.
9. Радченко Е.Д., Нефедов Б.К., Алиев Р.Р. Промышленные катализаторы гидрогенизационных процессов нефтепереработки. Москва, 1987.
10. Лурье М.А., Курец И.З., Кушнарев Д.Ф. Формирование, физико-химические и каталитические свойства Мо-содержащих катализаторов гидроочистки на основе различных носителей. *Кинетика и катализ*. 2000. № 1. Т. 41. С. 66–70.
11. Aalund L.R. *Oil and Gas J.* 1984. Vol. 82, № 41. P. 45.
12. Зеликман А.Н., Горовиц Н.Н. *Металлургия и технология цветных металлов* : сб. науч. трудов (МИЦМиЗ). 1960. С. 186–201.
13. Нестеров Ю.В., Коноплева Л.В., Шереметьев М.Ф. Очистка молибденосодержащих сбросных и травильных растворов электролампового производства. *Химическая технология*. 2002. № 3. С. 15–17.

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СОЛЬОВИХ БАТАРЕЙКАХ ТА АКУМУЛЯТОРАХ¹

Ковров О.С., Зворигін К.О.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Д. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро,
kovralex1@gmail.com, zvoryhin@gmail.com

Сольові батареї та акумулятори є загальноживними елементами живлення, які використовуються в різноманітних побутових приладах. Але внаслідок високого вмісту важких металів, кислот, лугів і специфічних органічних сполук вони є джерелом екологічної небезпеки, у складі внутрішньої частини яких міститься не менше 10 хімічних високотоксичних елементів і розчинні важкі метали – літій, ртуть, свинець, кадмій, нікель, кобальт, цинк, марганець та інших. Разом зі сміттям батареї потрапляють на сміттєзвалища, де з часом їх корпус руйнується, важкі метали вивільнюються, створюючи небезпеку для навколишнього середовища. Мета дослідження полягає в комплексному хімічному аналізі вмісту відпрацьованих сольових та акумуляторних батарейок та орієнтовній оцінці їх екологічного впливу. У статті наведено результати виконаного хімічного аналізу на вміст важких металів у 14 видах довільно обраних відпрацьованих сольових батарейок та акумуляторів методом мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-МС). Встановлено, що вміст макроелементів (цинк, марганець, калій, натрій, кремній) коливається в незначних межах, тому є відносно типовим для усіх досліджених батарейок. Найбільший вміст мікроелементів (церій, сурма, олово, індій, кадмій, срібло, молибден, ітрій, кобальт, хром, ванадій, літій), рідкоземельних і радіоактивних елементів (уран, торій, реній, самарій, празеодим, цезій) виявлено в батарейках Germania, а також Sony New Ultra, Panasonic, Digital, Energy (Енергія), Varta. Також надмірний вміст лантанідів визначено в батарейках Germania та Digital, що в 2–15 разів вище порівняно з іншими батарейками. На підставі результатів ІЗП-МС аналізу встановлено, що саме сольові батареї Germania та Digital є найбільш екологічно небезпечними для довкілля за умови несанкціонованого потрапляння на сміттєзвалища внаслідок вмісту важких металів. *Ключові слова:* сольова батарея, акумулятор, метод мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою, важкі метали.

Determination of heavy metal contents in salt and rechargeable batteries. Kovrov O., Zvoryhin K.

Salt batteries and rechargeable batteries are common electric devices used in various household appliances. But the high content of heavy metals, acids, alkalis and specific organic compounds is a source of environmental hazard. The inner part contains at least 10 highly toxic chemical elements and soluble heavy metals – lithium, mercury, lead, cadmium, nickel, cobalt, zinc, manganese, etc. Together with the domestic wastes, the batteries get to the landfills, where over time their shells are destroyed and heavy metals are released outside causing environmental hazard. The purpose of the study is to provide a comprehensive chemical analysis of the content of used salt and rechargeable batteries and provide an indicative assessment of their environmental impact. The paper presents the results of the chemical analysis of heavy metals content for 14 types of arbitrarily selected used salt batteries and rechargeable batteries by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) technique. Macro-elements (zinc, manganese, potassium, sodium, silicon) are detected within a small range of variation and therefore relatively typical for all the batteries tested. The highest content of trace elements (cerium, antimony, tin, indium, cadmium, silver, molybdenum, yttrium, cobalt, chromium, vanadium, lithium), rare earths and radioactive elements (uranium, thorium, rhenium, samarium, praseodymium, cesium) are detected in the batteries Germania, Sony New Ultra, Panasonic, Digital, Energy, Varta. Also, the excess lanthanide content is determined in Germania and Digital batteries, which is 2–15 times higher than in other batteries. Based on the result of the ICP-MS analysis, it was established that Germania and Digital salt batteries are the most environmentally hazardous in the case of unauthorized depositing to landfill due to the high content of heavy metals. *Key words:* salt battery, battery, inductively coupled plasma mass spectrometry, heavy metals.

Постановка проблеми. Сучасний ринок пропонує споживачу широкий спектр малих хімічних джерел струму: мангано-цинкові (сольові), мангано-цинкові (лужні), ртутно-цинкові (RTS), літєві, такі, що водоактивуються, срібно-цинкові (срібно-оксидні), повітряно-цинкові; а також акумулятори: нікель-кадмієві (Ni-Cd), нікель-металогідридні (Ni-MH), літій-іонні (Li-Ion), свинцево-кислотні герметичні (SLA) [1].

Батареї – це хімічні пристрої, елементи яких вступають у реакцію, даючи на виході електрику. Корпус елемента живлення зроблений із металу,

який повністю ізолює вміст до того часу, поки оболонка не піддалася корозії. У складі внутрішньої частини є не менше 10 хімічних високотоксичних елементів і розчинні важкі метали – літій, ртуть, свинець, кадмій. У кожній із них є анод – порошок цинку, просочений електролітом і катод – двоокис магнію в суміші з двоокисом титану [2].

Викидаючи відпрацьовану батарею разом з іншими відходами, люди навіть не замислюються, що вбивають довкілля та самих себе. Лише одна пальчикова батарея, викинута у відро для сміття, забруднює важкими металами ґрунт. Це відбувається

¹ Автори висловлюють подяку Німецькій службі академічних обмінів (DAAD, Deutscher Akademischer Austauschdienst) за можливість провести вказані вище дослідження в рамках спільного освітнього проекту “EcoMining: Development of Integrated PhD Program for Sustainable Mining & Environmental Activities” між Технічним університетом Фрайберзька гірничої академії (TU Bergakademie Freiberg) та НТУ «Дніпровська політехніка».

тому, що батарейки містять різні важкі метали (цинк, марганець, кадмій, нікель, ртуть). Дія цих речовин на організм людини залежить від способу потрапляння, дози та тривалості контакту зі сполукою. Але кожен із цих елементів так чи інакше негативно впливає на живі організми, які навіть у невеликих кількостях можуть завдати шкоди здоров'ю людини. Разом зі сміттям батарейки потрапляють на сміттєзвалища, де з часом їх корпус руйнується, а важкі метали вивільнюються, створюючи небезпеку для навколишнього середовища.

Актуальність дослідження. Дані про хімічний вміст батарейок різняться. Тому для точного визначення хімічних складників батарейок необхідно застосовувати лабораторні методи спектрофотометричного аналізу, порівнюючи їх із наявною інформацією від виробника [3].

Батарейки можуть також містити специфічні компоненти, які залежить від технології їх виробництва, зокрема пластик (Ni-Cd, Ag-Zn), диметоксіетан (Li-Mn), діетилкарбонат, етилен карбонат (Li-Ion) тощо. Основні хімічні речовини, які містяться у батарейках, наведені в табл. 1.

Якщо відпрацьовані батарейки з полікомпонентним хімічним складом потрапляють разом зі змішаними побутовими відходами на звалища або полігони, вони чинять екологічну небезпеку. Під впливом зовнішніх факторів їх корпус поступово руйнується, а токсичний вміст надходить у навко-

лишне середовище, забруднюючи ґрунт і підземні води. Тому застосування сучасних методів спектрофотометричного аналізу слугує підґрунтям для прогностичної оцінки екологічної небезпеки від використаних сольових батарейок.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторами виконано ґрунтове дослідження мікроелементного вмісту 16 видів пальчикових батарейок різних виробників, які реалізуються через споживчу мережу супермаркетів і спеціалізованих магазинів України. Виявлені концентрації важких металів у сольових батарейках є важливою інформацією для подальшого екологічного та гідрогеологічного аналізу з метою оцінки міграції мікроелементів у ґрунтах і підземних водах.

Результати дослідження є підставою для проведення екологічної експертизи на державному та регіональному рівнях, а також громадського екологічного контролю за дотриманням вимог чинного законодавства щодо поводження з небезпечними відходами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ґрунти є природними накопичувачами важких металів у навколишньому середовищі і основним джерелом забруднення суміжних середовищ, включаючи вищі рослини. Майже 90% важких металів, які потрапляють у довкілля, акумулюються ґрунтом, а потім «мігрують» у природні води, поглинаються

Таблиця 1

Основні типи батарейок та їх хімічний склад (%) [2–5]

Хімічний склад батарейок	Mn-Zn [4]	C-Zn [4]	Li-Mn [2; 4]	Ag-Zn [4]	Li [5]	Air-Zn [2]	Ni-Cd акумулятор [4]	Li-Ion акумулятор [4]
Fe	23	4	50	42	0,3	4	40	
Zn	16	23		9		16	+	
C	4	10	3	0,5		40		25
KOH	5			1		2	2	
MnO ₂	37	27	30	3		35		
Ni			2	2	26,3		22	
Li			3		2,7			
Cr			2					
Hg			10	0,4		1		
Cd							15	
Ag ₂ O				33				
H ₂ O	9	18		2		2	2	
Co							2	
Mn							1	
Cu				4				10
Al					3,7			20
LiPF ₆								3
LiCoO ₂								40
ZnCl/NH ₄ Cl		5						
Тіонілхлорид					29,2			
Інші	6	13		3,1	37,8		16	2

рослинами та включаються у трофічні ланцюги, кінцевою ланкою яких є організм людини [6].

У роботі [7] виконано аналіз токсичності продуктів згоряння при утилізації літій-іонних батарейок та ідентифіковано понад 100 газоподібних продуктів, які чинять негативний вплив на навколишнє середовище. Проте у дослідженні не пропонуються альтернативні технології утилізації відпрацьованих батарейок.

У роботі [8] наведений статистичний аналіз кампанії збору використаних акумуляторів у мексиканському штаті Тлакскала та показано, що граничні норми вмісту важких металів Hg, Cd і Pb у батарейках та акумуляторах вище у 20, 7,5 і 5 разів порівняно з європейськими стандартами. Але у статті не наведено розширеної інформації стосовно вмісту інших важких металів та інгредієнтів в акумуляторах.

У роботі [9] методом лазерно-індукованої спектроскопії була досліджена можливість застосування швидкого аналізу важких металів у відпрацьованих Zn-Mn акумуляторних батарейках, але цей метод має значні похибки при визначенні вмісту важких металів.

Аналіз вмісту одноразових батарейок розміром AA переважно від китайських виробників показав, що переважна їх більшість не є екологічними через високі концентрації важких металів [10]. В Японії проведено масштабні польові обстеження відпрацьованих акумуляторів і відходів електронного обладнання у Токіо. Встановлено, що 6–10% лужних батарейок містять ртуть. Більше 26% акумуляторних батарейок, які викидають, можуть мати понадлімітний вміст свинцю порівняно із зазначеним у Директиві ЄС 2006/66 / ЄС про акумулятори [11]. Також близько половини від загальної кількості батарейок, які пропонуються виробниками, містять високі концентрації ртуті та кадмію [12].

Ртуть є найбільш небезпечним металом, який міститься в акумуляторах та батарейках, і спричиняє важке захворювання Міномата [13]. Дослідження вмісту відпрацьованих батарейок типів AA, AAA, C, 123 та інших переважно китайського виробництва, зібраних у м. Яунде (Камерун) показало, що трохи більше половини з них містять ртуть [14].

У роботі [15] наведено результати польового експерименту, який був проведений на ділянках, забруднених важкими металами від акумуляторних батарейок. Встановлено, що за умов застосування різних органічних добрив і компостів у тестових рослинах кукурудзи максимально накопичувався Pb і Cd, тоді як концентрація Cr була нижче межі виявлення у врожаї, що залежить від стадії вирощування та кількості внесення добрив. Але авторами роботи не показана кореляція між фіксованими та рухомими формами важких металів у ґрунті за умов використання різних типів добрив.

У роботі [16] наведено оцінку екологічного ризику від забруднення земель сільськогосподар-

ських угідь важкими металами (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb і Zn) та вміст у рослинах пшениці Cd, Pb і Zn поблизу свинцево-кислотного акумуляторного заводу Фенгфан у китайській провінції Баодін. Доведено, що для сільського населення існує потенційний ризик для здоров'я внаслідок комбінованого впливу важких металів. Тому виникають сумніви щодо інтегрованої екологічної оцінки, наведеної в роботі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Виконаний аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що проблема відпрацьованих батарейок та акумуляторів є досить актуальною через невизначеність можливих впливів на довкілля. Тому брак вірогідної інформації стосовно дійсного вмісту складників сольової батарейки може бути проблемою для оцінки потенційного впливу на довкілля в разі неконтрольованого потрапляння на сміттєзвалища.

Мета дослідження. Враховуючи наведений аналіз сучасних досліджень щодо відпрацьованих акумуляторних батарейок та їх потенційного впливу на складники довкілля, є можливість доповнити наявні здобутки в зазначеному напрямі. Мета дослідження полягає в комплексному хімічному аналізі вмісту відпрацьованих сольових та акумуляторних батарейок та орієнтовній оцінці їх екологічного впливу.

Новизна дослідження полягає у вирішенні таких задач:

1. Виконання хімічного аналізу на вміст важких металів у відпрацьованих сольових батарейках та акумуляторах методом мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-МС).
2. Виявлення видів сольових батарейок, які можуть чинити найбільшу екологічну небезпеку для довкілля за умов несанкціонованого потрапляння на сміттєзвалища.

Методологічне значення. Відповідно до мети дослідження довільно обрано 16 видів відпрацьованих сольових та акумуляторних батарейок для мікроелементного аналізу. Дослідження виконувались у лабораторії Інституту біонаук Технічного університету Фрайберзька гірничої академії (Німеччина).

Метод мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою ІЗП-МС (Inductively coupled plasma mass spectrometry ICP-MS) – це різновид мас-спектрометрії, яка відрізняється високою чутливістю і здатністю визначати низку металів і декількох неметалів у концентраціях до 10^{-10} %, тобто одну частинку з 10^{12} . Метод ґрунтується на використанні індуктивно-зв'язаної плазми в якості джерела іонів і мас-спектрометра для їх розподілу і детектування. ІЗП-МС складається з компонентів, наведених на рис. 1.

Система введення зразка складається з перистальтичного насоса, небулайзера і розпилювальної камери.

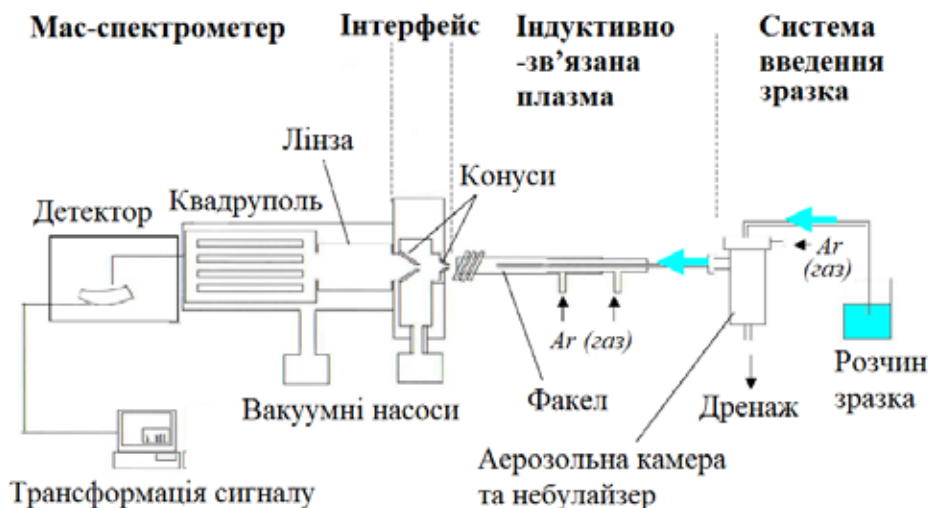


Рис. 1. Схема принципу роботи мас-спектрометра з індуктивно-зв'язаною плазмою ICP-MS [17]

Основне призначення системи введення полягає у переведенні зразка в стан аерозолі. ІЗП факел необхідний для підтримки плазми, яка і утворює атомарні іони зі сполук, які входять до складу зразка. Інтерфейс пов'язує простір, де знаходяться іони і тиск практично дорівнює атмосферному, з глибоким вакуумом мас-спектрометра. Лінзи фокусують іони в щільний пучок, який пропускається через осередок зіткнень або реакційний осередок. Квадруполь виконує функцію фільтра мас і розподіляє іони за їх співвідношенням маса / заряд. Вакуумна система з насосами підтримує в системі глибокий вакуум, необхідний для роботи іонної оптики, квадруполя і детектора. Детектор підраховує окремі іони, які пройшли через квадруполь. Комп'ютерна система трансформації сигналу та обробки інформації дозволяє контролювати роботу мас-спектрометра, керувати приладом та отримувати результати аналізу.

Рідкі зразки, які досліджуються, випаровуються завдяки лазерній та мікрохвильовій системі. Найбільш типова конструкція системи введення зразка складається з небулайзера і розпилювальної камери. Небулайзер перетворює рідину в суспензію маленьких крапель (аерозоль), що проходять через розпилювальну камеру в трубку або інжектор, які відкриваються по центру пальника, в результаті чого краплі потрапляють у потік плазми. Плазма розкладає складні сполуки та іонізує атоми. Далі іони проходять крізь інтерфейс та іонні лінзи. Сфокусований потік іонів розділяється за співвідношенням маса / заряд і потрапляє на детектор. Детектор фіксує попадання кожного іона, а комп'ютерна система перетворює ці сигнали в концентрації кожного елемента і формує звіт про результати аналізу.

Результати хімічного аналізу вмісту важких металів у відпрацьованих акумуляторних батареях. На рис. 2 наведено батарейки, які було довільно обрано для мікроелементного аналізу



Рис. 2. Набір сольових батарейок та акумуляторів для мікроелементного аналізу

методом ІЗП-МС. Загальні характеристики сольових батарейок та акумуляторів визначені в табл. 2.

Результати мікроелементного аналізу сольових батарейок наведено на рис. 3–7. Вміст макроелементів (цинк, марганець, калій, натрій, кремній) є типовим для усіх батарейок (рис. 3). Концентрації елементів у пробах варіюють: цинк – від 87,88 мг/кг (Z7) до 309,9 мг/кг (Z10); марганець – від 150,4 мг/кг (Z12) до 439,6 мг/кг (Z7); калій – від 727,9 мг/кг (Z8) до 1323,0 мг/кг (Z3); натрій – від 406,1 мг/кг (Z3) до 744,0 мг/кг (Z9); кремній – від 19,6 мг/кг (Z14) до 33,8 мг/кг (Z12). Більший вміст макроелементів виявлено в батарейках Energizer, Generator Energy, Energy (Енергія) та Varta порівняно з іншими, але в межах 10-15% від середнього вмісту важких металів.

Таблиця 2

Характеристики сольових батарейок та акумуляторів

№ проби	Назва	Країна-виробник	Тип батарейки	Підтип	A-тип	Відсутність металів
Z1	Duracell	Бельгія	Лужні	LR6	AA	
Z2	Sunmol		Лужні	LR6	AA	
Z3	Energizer		Лужні			
Z4	Sony New Ultra	Польща		R6	AA	Hg
Z5	Videx		Сольові	RO3P	AAA	Hg, Cd
Z6	Panasonic	Польща	Zn-вуглець	R6BE	AA	Hg, Pb
Z7	Generator Energy			LR03	AAA	
Z8	Digital		Zn-хлорид	RO3P	AAA	
Z9	Large	Китай		RO3	AAA	Hg
Z10	Energy (Енергія)	Китай		RO3	AAA	Hg
Z11	Maxus Mega Power		Лужні	LR6	AA	
Z12	Germania			LR6	AA	Hg
Z13	Varta	Німеччина	Лужні	LR6	AA	
Z14	Nasha Sylva	Китай / Україна	Лужні	LR06	AA	Hg, Cd

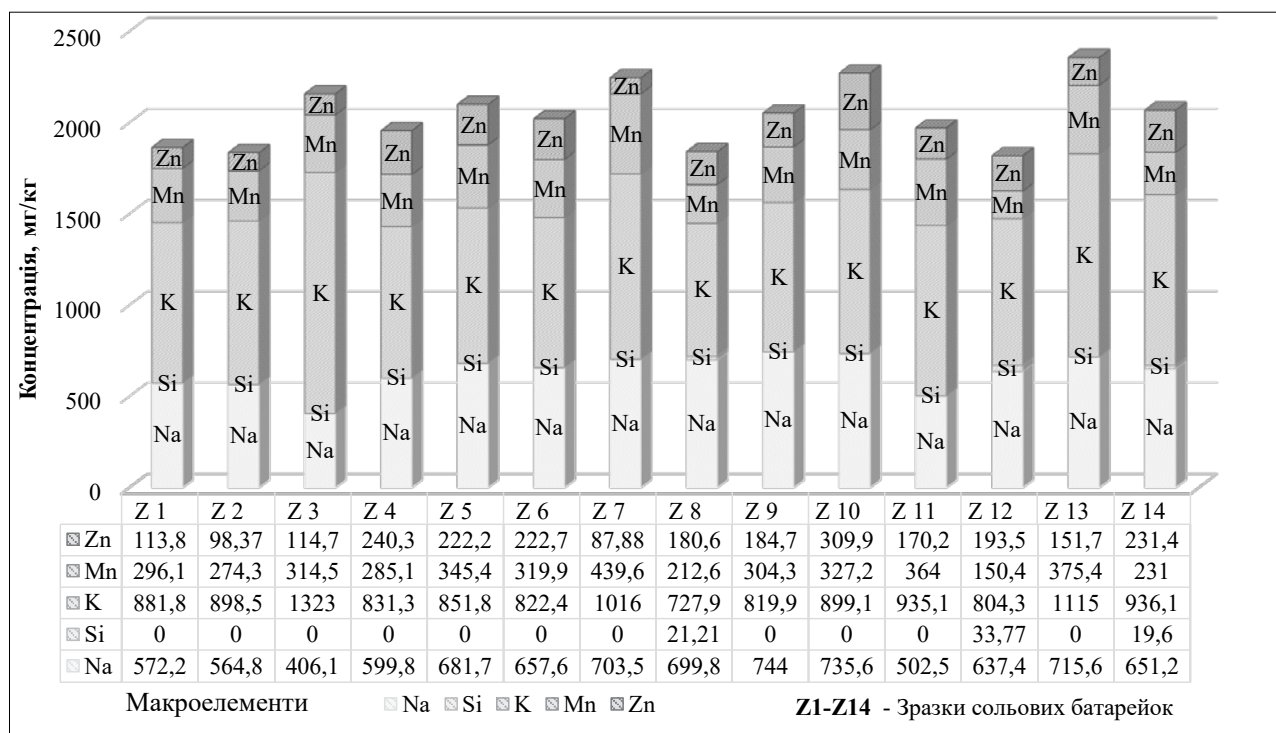


Рис. 3. Вміст макроелементів у сольових батарейках

Вміст макроелементів, які є породоутворюючими та в природних умовах є складниками порід і мінералів (залізо, алюміній, магній), наведено на рис. 4. Концентрації елементів у пробах варіюють: залізо – від 0,5 мг/кг (Z11) до 18,1 мг/кг (Z12); алюміній – від 3,4 мг/кг (Z14) до 9,9 мг/кг (Z12); магній – від 0,5 мг/кг (Z9) до 0,7 мг/кг (Z12). Більший вміст породоутворюючих макроелементів виявлено в батарейках Digital і Germania порівняно з іншими, проте в половині зразків зазначені еле-

менти не виявлені взагалі або присутні в незначних концентраціях.

Вміст мікроелементів (церій, сурма, олово, індій, кадмій, срібло, молибден, ітрій, кобальт, хром, ванадій, літій) наведено на рис. 5.

Концентрації елементів у пробах варіюють: церій – від 1,7 мкг/кг (Z9) до 20,9 мкг/кг (Z12); олово – від 5,8 мкг/кг (Z5) до 195,9 мкг/кг (Z10); індій – від 0,6 мкг/кг (Z5) до 23,5 мкг/кг (Z7); кадмій – від 8,0 мкг/кг (Z14) до 24,9 мкг/кг (Z12);

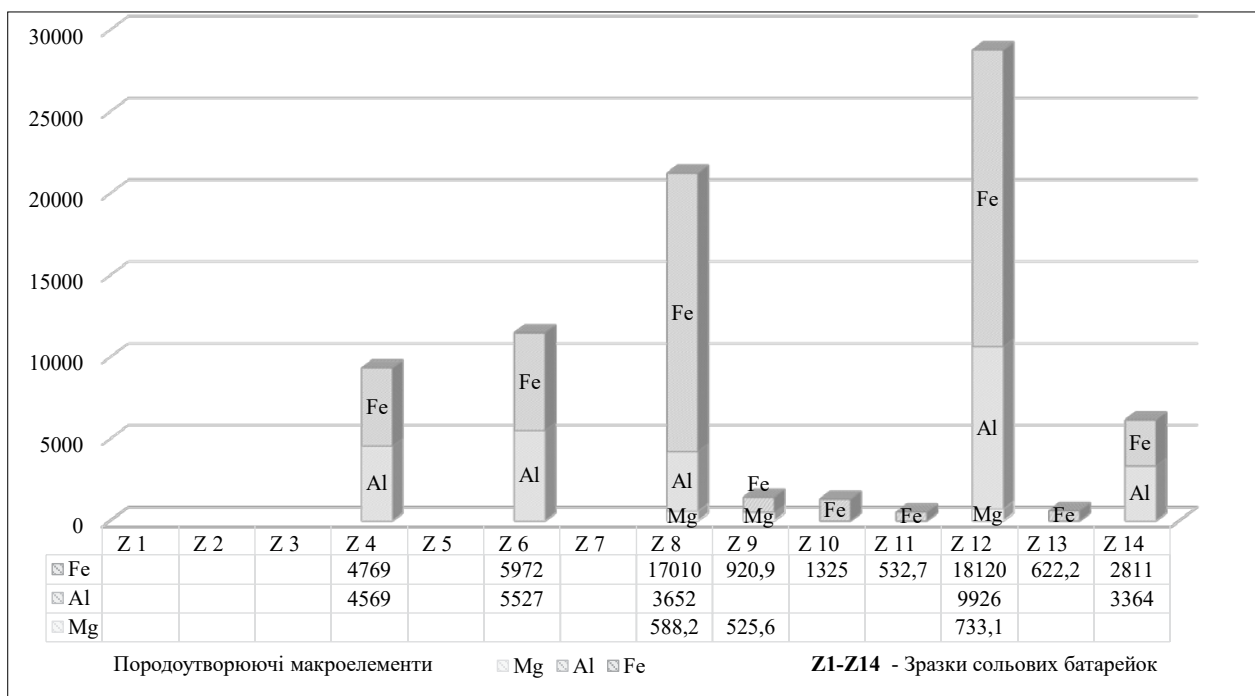


Рис. 4. Вміст породоутворюючих макроелементів у сольових батарейках

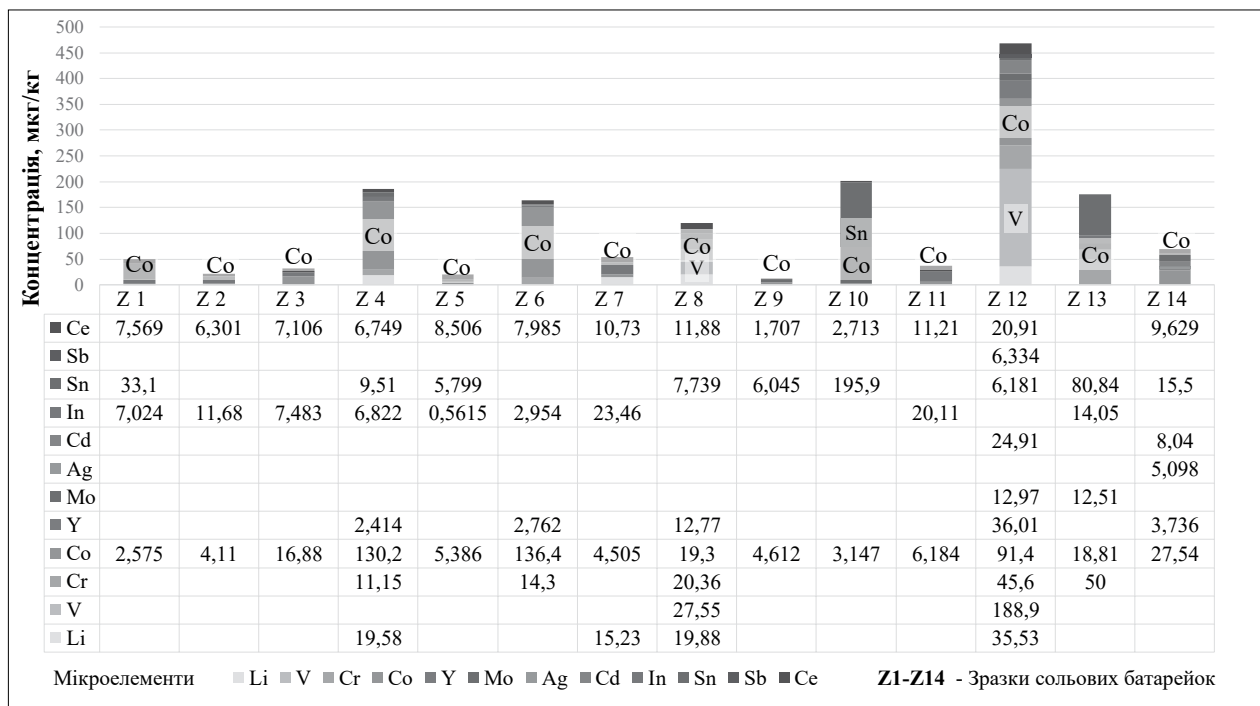


Рис. 5. Вміст мікроелементів у сольових батарейках

молібден – від 12,5 мкг/кг (Z13) до 13,0 мкг/кг (Z12); ітрій – від 2,4 мкг/кг (Z4) до 36,0 мкг/кг (Z12); кобальт – від 2,6 мкг/кг (Z1) до 136,4 мкг/кг (Z6); хром – від 11,2 мкг/кг (Z4) до 50,0 мкг/кг (Z13); ванадій – від 27,6 мкг/кг (Z8) до 188,9 мкг/кг (Z12); літій – від 15,2 мкг/кг (Z7) до 35,5 мкг/кг (Z12). Деякі елементи виявлено лише в окремих батарейках: сурма – 6,3 мкг/кг (Z12); срібло – 5,1 мкг/кг (Z14). Загалом найбільший вміст наведених мікроелемен-

тів виявлено в батарейках Germania, а також Sony New Ultra, Panasonic, Digital, Energy (Енергія), Varta.

Вміст рідкоземельних і радіоактивних елементів (уран, торій, реній, самарій, празеодим, цезій) наведено на рис. 6. Концентрації елементів у пробах варіюють так: уран – від 0,146 мкг/кг (Z4) до 2,223 мкг/кг (Z12); торій – від 0,214 мкг/кг (Z12) до 0,523 мкг/кг (Z12); реній – від 0,101 мкг/кг (Z5) до 0,107 мкг/кг (Z2); самарій – від 0,541 мкг/кг (Z14)

до 5,476 мкг/кг (Z12); празеодим – від 0,105 мкг/кг (Z7) до 3,486 мкг/кг (Z12); цезій – від 1,094 мкг/кг (Z5) до 6,204 мкг/кг (Z10). Найбільший вміст наведених мікроелементів виявлено в батарейках Germania, Digital, Energy (Енергія).

Вміст лантаноїдів (лютецій, ітербій, тулій, ербій, гольмій, диспрозій, тербій, гадоліній, європій) наведено на рис. 7. Концентрації елементів у пробах варіюють так: лютецій – від 0,134 мкг/кг (Z8) до 0,469 мкг/кг (Z12); ітербій – від 0,170 мкг/кг (Z4) до 3,171 мкг/кг (Z12); тулій – від 0,155 мкг/кг (Z8) до

0,508 мкг/кг (Z12); ербій – від 0,102 мкг/кг (Z1) до 3,367 мкг/кг (Z12); гольмій – від 0,111 мкг/кг (Z14) до 1,092 мкг/кг (Z12); диспрозій – від 0,427 мкг/кг (Z4) до 4,862 мкг/кг (Z12); тербій – від 0,389 мкг/кг (Z8) до 0,711 мкг/кг (Z12); гадоліній – від 0,127 мкг/кг (Z13) до 5,830 мкг/кг (Z12); європій – від 0,135 мкг/кг (Z14) до 0,999 мкг/кг (Z12). Привертає увагу надмірний вміст лантаноїдів у батарейках Germania та Digital, що в 2-15 разів вище порівняно з іншими батарейками. Лише в цих пробах виявлено лютецій, тулій, тербій. Гадоліній виявлено в усіх пробах.

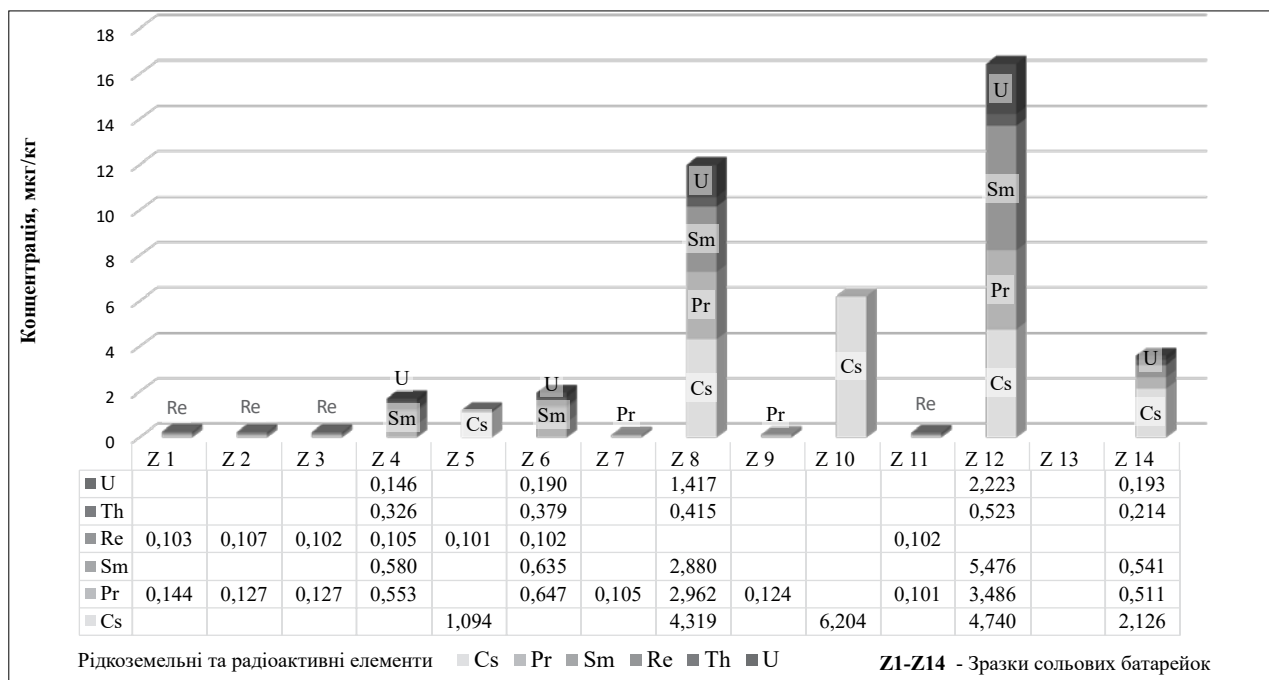


Рис. 6. Вміст рідкоземельних і радіоактивних елементів у сольових батарейках

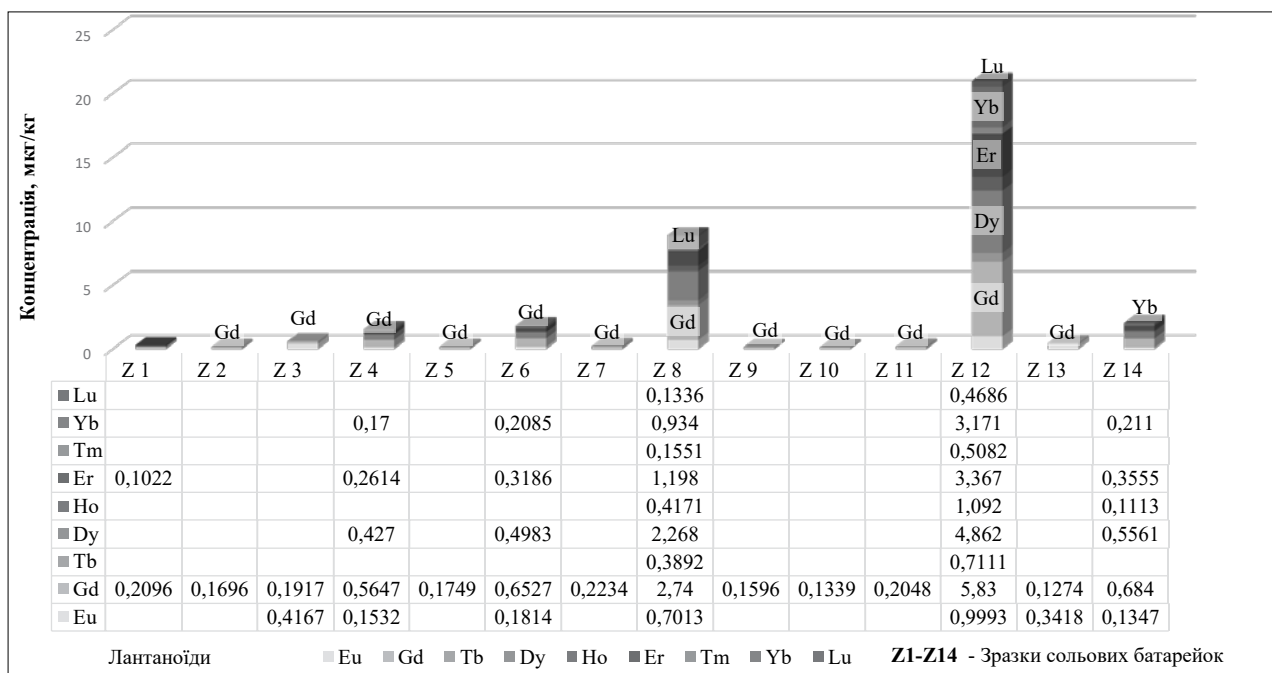


Рис. 7. Вміст лантаноїдів у сольових батарейках

Загалом мікроелементний аналіз із використанням методу ІЗП-МС дозволив виявити хімічний вміст 14 видів сольових батарейок. Найбільші концентрації важких металів присутні в батарейках Germania та Digital, що в 2–15 разів перевищує вміст порівняно з іншими батарейками.

Головні висновки. У статті наведено результати хімічного аналізу вмісту важких металів у відпрацьованих акумуляторних батарейках методом мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-МС). Встановлено, що сольові батарейки Germania та Digital є найбільш екологічно небезпечними для довкілля за умови несанкціонованого потрапляння на сміттєзвалища внаслідок високого вмісту важких металів.

Перспективи використання результатів дослідження. Натепер в Україні не існує централізованої системи збору та переробки батарейок та акумуляторів, тому 99 % використаних батарейок потрапляють на сміттєзвалища, що створює загрозу довкіллю. Ретельний аналіз ІЗП-МС дозволив оцінити хімічний вміст сольових батарейок, які реалізуються через споживчу мережу супермаркетів і спеціалізованих магазинів, та виявити, які є найбільш небезпечними в екологічному сенсі.

Результати аналізу можуть бути використані для подальшого проведення екологічної експертизи як на офіційному рівні, так і з залученням громадських організацій.

Література

1. Башкирцев А.С. Реанимация опасных отходов: батарейки / А.С. Башкирцев, О.Н. Пылаева. С.-Петербург : Некоммерческое партнерство «Институт обучения через опыт», 2013. 155 с.
2. Химические источники тока : Справочник / Под ред. Н.В. Коровина, А.М. Скундина. М. : Из-во МЭИ, 2003. 739 с.
3. Рыжакова М.Г. Отработавшая батарейка как опасный отход / Твердые бытовые отходы, 2015. № 6. С. 42–47.
4. The European Portable Battery Association Product Information Primary and Rechargeable Batteries. URL: http://www.epbaeurope.net/EPBA_product%20information_may2007_FINAL.pdf.
5. Кулифеев В.К. Утилизация литиевых химических источников тока : монография / В.К. Кулифеев, В.П. Тарасов, О.Н. Криволапова. М. : МИСиС, 2010. 261 с.
6. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище / [Т.М. Мислива, П.П. Надточій, Л.О. Герасимчук та ін.]; за ред. Т.М. Мисливої. Житомир, 2011. 50 с.
7. Sun J., Li J., Zhou T., Yang K., Wei S., Tang N., Dang N., Li H., Qiu X., Chen L. (2016). Toxicity, a serious concern of thermal runaway from commercial Li-ion battery. *Nano Energy*, Vol. 27, P. 313–319. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.06.031>.
8. Guevara-García J.A., Montiel-Corona V. (2012). Used battery collection in central Mexico: Metal content, legislative / management situation and statistical analysis. *Journal of Environmental Management*. Vol. 95, P. 154–157. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.019>.
9. Peng L., Sun D., Su M., Han J., Dong C. (2012). Rapid analysis on the heavy metal content of spent zinc–manganese batteries by laser-induced breakdown spectroscopy. *Optics & Laser Technology*. Vol. 44, Issue 8, P. 2469–2475. URL: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2012.01.036>.
10. Barrett H.A., Ferraro A., Burnette C., Meyer A., Krekeler M.P.S. (2012). An investigation of heavy metal content from disposable batteries of non-U.S. origin from Butler County, Ohio: An environmental assessment of a segment of a waste stream. *Journal of Power Sources*, Vol. 206, P. 414–420. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.01.008>.
11. Terazono A., Oguchi M., Iino S., Mogi S. (2015). Battery collection in municipal waste management in Japan: Challenges for hazardous substance control and safety. *Waste Management*, Vol. 39, P. 246–257. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.038>.
12. Recknagel S., Radant H., Kohlmeyer R. (2014). Survey of mercury, cadmium and lead content of household batteries. *Waste Management*, Vol. 34, Issue 1, P. 156–161. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.024>.
13. Budnik L.T., Casteleyn L. (2019). Mercury pollution in modern times and its socio-medical consequences. *Science of The Total Environment*, Vol. 654, P. 720–734. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.408>.
14. Tetsoopan S., Kueoouo G. (2008). Quantification and characterization of discarded batteries in Yaoundé, from the perspective of health, safety and environmental protection. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 2, Issues 8-9, Pages 1077–1081. URL: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.04.006>.
15. Adejumo S.A., Ogundiran M.B., Togun A.O. (2018). Soil amendment with compost and crop growth stages influenced heavy metal uptake and distribution in maize crop grown on lead-acid battery waste contaminated soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 6, Issue 4, P. 4809–4819. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.07.027>.
16. Liu G., Yu Y., Hou J., Xue W., Liu X., Liu Y., Wang W., Alsaedi A., Hayat T., Liu Z. (2014). An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery factory. *Ecological Indicators*. Vol. 47, P. 210–218. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.04.040>.
17. Gilstrap R.A. (2009). A colloidal nanoparticle form of indium tin oxide: system development and characterization. PhD Dissertation. Georgia Institute of Technology. URL: <http://hdl.handle.net/1853/33995>.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА САМОДЕЗАКТИВАЦИИ

Машинистов В.Е.¹, Балакин В.Ф.¹, Коверя А.С.²

¹Национальная металлургическая академия Украины
просп. Гагарина, 4, 49600, г. Днепр

²Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»
просп. Д. Яворницкого, 19, 49005, г. Днепр
nakover13@gmail.com, mashvic@i.ua

В работе предложен подход, позволяющий вернуть в промышленное производство в качестве вторичного сырья техногенные объекты, поверхность которых загрязнена радиоактивными веществами. Его основой является демонтаж таких объектов с последующим раздроблением образовавшихся фрагментов. В результате объект как поверхностный источник гамма-излучения преобразуется в объемный с равномерным распределением элементарных излучателей в нем. При этом создаются условия для получения радиационно безопасного сырья, поскольку гамма-излучение значительной части радионуклидов поглощается в веществе источника, то есть имеет место эффект, названный «самодезактивацией». Самодезактивация является основополагающим фактором в предложенном подходе к решению проблемы утилизации радиоактивно загрязненных объектов. При разработке изложенного в статье подхода использованы корпускулярные и волновые свойства гамма-излучения. Этот подход позволил адекватно описать процесс распространения гамма-излучения и взаимодействия его с веществом, а также закономерности формирования поля в точке. Находящийся в среде обитания человек подвергается облучению от всех внешних по отношению к нему источников гамма-излучения. Количественной оценкой вредного воздействия облучения является усредненная за год мощность эффективной дозы. Для оценки радиационной обстановки, созданной загрязненными радионуклидами объектами, в качестве критерия радиационной безопасности предложен естественный радиационный фон. Экспериментальная проверка предложенного подхода и отработка технологии его реализации могут быть проведены на небольших объемах загрязненных радионуклидами материалов и не потребует больших материальных затрат. Приведенный в статье пример показал, что предложенный подход может успешно использоваться для возврата больших территорий и материала в экологически безопасное состояние, что будет способствовать повышению доверия общества к ядерным технологиям. *Ключевые слова:* радиоактивно загрязненный объект, гамма-излучение, самодезактивация, утилизация, облучение.

Вирішення проблеми утилізації радіоактивно забруднених об'єктів на основі ефекту самодезактивації. Машиністов В.Є., Балакін В.Ф., Коверя А.С.

У роботі запропонований підхід, який дозволяє повернути в промислове виробництво в якості вторинної сировини техногенні об'єкти, поверхня яких забруднена радіоактивними речовинами. Основою підходу є демонтаж таких об'єктів із подальшим роздробленням фрагментів, які утворилися. В результаті об'єкт як поверхневе джерело гамма-випромінювання перетворюється в об'ємне з рівномірним розподілом елементарних випромінювачів у ньому. При цьому створюються умови для отримання радіаційно безпечної сировини, оскільки гамма-випромінювання значної частини радіонуклідів поглинається в речовині джерела, тобто має місце ефект, названий «самодезактивацією». Самодезактивація є основоположним фактором у запропонованому підході щодо вирішення проблеми утилізації радіоактивно забруднених об'єктів. При розробці викладеного в статті підходу використані корпускулярні і хвильові властивості гамма-випромінювання. Цей підхід дозволив адекватно описати процес поширення гамма-випромінювання і взаємодії його з речовиною, а також закономірності формування поля в точці. Людина, яка знаходиться в природному середовищі, піддається опроміненню від всіх зовнішніх по відношенню до неї джерел гамма-випромінювання. Кількісною оцінкою шкідливого впливу опромінення є усереднена за рік потужність ефективної дози. Для оцінки радіаційного стану, створеного забрудненими радіонуклідами об'єктами, як критерій радіаційної безпеки запропонований природний радіаційний фон. Експериментальна перевірка запропонованого підходу і відпрацювання технології його реалізації можуть бути проведені на невеликих обсягах забруднених радіонуклідами матеріалів і не буде потребувати великих матеріальних витрат. Наведений у статті приклад показав, що запропонований підхід може успішно використовуватися для повернення великих територій і матеріалів в екологічно безпечний стан, що буде сприяти підвищенню довіри суспільства до ядерних технологій. *Ключові слова:* радіоактивно забруднений об'єкт, гамма-випромінювання, самодезактивація, утилізація, опромінення.

Solving the problem of radioactively contaminated objects utilization based on the self-decontamination effect. Mashinistov V., Balakin V., Koveria A.

The paper proposes an approach that allows you to recycle a by-product objects whose surface is contaminated with radioactive substances as a secondary raw material. The basis of the approach is to dismantle the objects with their subsequent crushing. As a result, the object as a surface source of gamma radiation is converted into a volumetric source with a uniform distribution of radiation elements. This creates the conditions for obtaining radiation-safe raw materials, since the gamma radiation of a large part of the radionuclides is absorbed into the source material and there is an effect of "self-decontamination". Self-decontamination is a fundamental factor in the proposed approach to solve the issue of radioactively contaminated objects utilisation. The corpuscular and wave properties of gamma radiation were used in the development of the approach presented in the article. This

approach allowed adequately describe the spread of gamma radiation and its interaction with matter, as well as regularities of formation of a field at a point. A person who is in a natural environment is exposed to radiation from all external sources of gamma radiation. A quantitative assessment of the adverse effects of irradiation is the annual average effective dose rate. To evaluate the radiation influence created by contaminated radionuclide objects, as a criterion for radiation safety, a natural radiation background has been proposed. Test runs of the proposed approach and the fine-tuning of technology for its implementation might be carried out on a small volumes of contaminated radionuclide materials and significant material costs are not required. The example in the paper showed that the proposed approach can be successfully used to recycle the large areas and materials to an environmentally friendly state, which will help to increase public confidence in nuclear technology. *Key words:* radioactive contaminated object, gamma radiation, self-decontamination, utilisation, irradiation.

Постановка проблемы. В результате постоянно возрастающей интенсивности техногенного воздействия человека на среду его обитания остро стоят вопросы обеспечения его радиационной безопасности. Существует много ситуаций, которые могут вызвать дополнительное к природному радиационному фону облучение людей ионизирующей радиацией. Например, это излучение от природных радионуклидов, поступающих в биосферу вместе с полезными ископаемыми, извлеченными на поверхность Земли. Сюда же относятся и загрязняющие окружающую среду источники ионизирующего излучения (далее – ИИ) искусственного происхождения, возникающие в результате производственной деятельности или после радиационной аварии. При этом загрязняются объекты техногенного происхождения: жилые, административные, производственные здания и сооружения; транспортные средства, технологическое оборудование и техника, применявшаяся при ликвидации последствий аварий. Превышение показателей загрязнения их поверхности выше допустимого уровня делает невозможным их дальнейшее использование по прямому назначению. Следовательно, эти объекты должны выводиться из обращения, что требует решения ряда вопросов относительно организации их утилизации, хранения, захоронения, а также обеспечения радиационной безопасности населения и персонала объектов, недопущения дополнительного радиационного загрязнения природной среды в местах их нахождения. Все это сопряжено со значительными материальными и финансовыми затратами.

Актуальность исследования. Особую актуальность приобретает задача утилизации таких объектов, то есть обеспечение их дальнейшего применения в промышленности, строительстве и других сферах техногенной деятельности. Нельзя не учитывать и имеющий место негативный социально-психологический аспект указанной проблемы, во многом препятствующий дальнейшему развитию ядерной энергетики.

Анализ последних исследований и публикаций. Для того, чтобы вернуть в хозяйственный оборот загрязненные радионуклидами объекты или материалы, обеспечить возможность их повторного применения, необходимо создать условия, при которых они будут радиационно безопасными для человека и окружающей среды.

В настоящее время эта задача решается в основном путем дезактивации загрязненных объектов.

Причем непосредственно дезактивирующей обработке подлежат поверхности тех объектов, на которых находятся загрязняющие их радионуклиды. Дезактивация зданий, сооружений, транспортных средств, промышленного и технологического оборудования проводится физическими (механическими), химическими или физико-химическими способами.

Если снизить радиоактивность объектов до требуемого уровня невозможно, то загрязненные радионуклидами объекты переводят в отходы. Считается, что единственным окончательным решением проблемы отходов является полный естественный распад содержащихся в них радиоактивных продуктов [1]. В основном проблему отходов решают путем выдержки, когда предлагается хранить отходы до тех пор, пока почти все содержащиеся в них радионуклиды не распадутся.

Низкая эффективность известных методов обезвреживания загрязненных радионуклидами объектов требует поиска новых подходов к решению этой проблемы. Один из них представлен в [2], где изложена технология рециклинга загрязненного радионуклидами металла. Для обеспечения безопасности персонала, населения и окружающей среды принимают меры по снижению индивидуальных эффективных доз, создаваемых излучением с поверхности загрязненного металла, до уровней, не превышающих допустимые пределы. В рассматриваемом случае эта задача решается путем плавления радиоактивно загрязненного металла, не подвергавшегося предварительной дезактивации. В процессе плавления радионуклиды, находящиеся в расплаве, распределяются в его объеме равномерно. Таким же остается распределение радионуклидов и в выплавленном слитке. Уровень гамма-излучения, испускаемого с поверхности выплавленного металла, во много раз ниже его значения, которое было на поверхности загруженного в печь загрязненного металла, поскольку излучение значительной части радионуклидов поглощается в металле. Рассмотренный подход может быть также использован для утилизации тех объектов и материалов с загрязненной радионуклидами поверхностью, для которых существует возможность преобразовать их поверхностную радиоактивность в объемную.

Цель публикации – предложить пригодную для промышленного применения технологию утилизации техногенных объектов, загрязненных радионуклидами, на основе эффекта самодезактивации.

Поле гамма-излучения в среде обитания. В статье авторы рассматривают отдельные загрязненные радионуклидами техногенные объекты, которые находятся вне организма человека как источники ИИ. Как показано в [3], в этом случае вклад во внешнюю составляющую эффективной дозы вносит только гамма-излучение, испускаемое поверхностью этих объектов. Гамма-излучение как один из видов электромагнитного излучения, имеет корпускулярно-волновую природу, то есть одновременно имеет свойства как непрерывных электромагнитных волн, так и корпускул (квантов). По волновым представлениям основным параметром, которым описывается распространение квантов гамма-излучения и их взаимодействия между собой, является частота колебаний ν .

Процесс формирования поля гамма-излучения описывается законами распространения электромагнитных колебаний и характером их взаимодействия между собой. Поле гамма-излучения в каждой точке среды обитания обусловлено поступившим к ней излучением от распределенных в ней радионуклидов. В соответствии с принципом Гюйгенса каждая точка пространства, достигнутая волной, является вторичным источником электромагнитных колебаний. Поскольку эти не зависящие друг от друга источники гамма-излучения подчиняются закону аддитивности, то и результирующее поле в каждой точке пространства является суммой электромагнитных полей, создаваемых этими источниками гамма-излучения.

Принцип Гюйгенса дает возможность выбирать огибающую поверхность, на которой расположены условные источники вторичных волн, способом, который позволяет решить конкретно поставленную задачу. Эти закономерности допускают при оценке и прогнозировании радиационной обстановки не рассматривать первичные источники, излучение которых способно воздействовать на человека, а ограничиться исследованием созданных ими вторичных источников. Например, отдельный объект с объемным распределением радионуклидов в нем представляет собой первичный источник, а его поверхность – вторичный, характеристики которого могут быть измерены или рассчитаны и применены в качестве исходных данных для оценки радиационной обстановки, созданной этим объектом. При этом отпадает необходимость анализировать состав гамма-излучающих радионуклидов первичного источника. Здесь уместно провести такую аналогию. Например, для пользователя электрических сетей не имеет значения, что представляют собой источники, вырабатывающие электроэнергию. Важно, чтобы ее характеристики отвечали предъявляемым к ней требованиям в месте потребления.

Наличие у гамма-излучения корпускулярных свойств позволяет адекватно описать процесс испускания квантов и их взаимодействие с веществами.

Кванты гамма-излучения представляют собой локализованные в небольшом объеме порции энергии E_0 . Между E_0 и ν существует прямопропорциональная связь [4]:

$$E_0 = h \nu, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка.

Энергия гамма-квантов, излучаемых радионуклидами, лежит в интервале 50 кэВ – 3 МэВ. При распространении гамма-излучения через вещество имеет место ослабление его интенсивности за счёт взаимодействия с веществом по экспоненциальному закону [4], что означает невозможность его полного ограничения. На практике при обеспечении радиационной безопасности достаточно уменьшить мощность гамма-излучения до уровня, сопоставимого с фоновым. В указанном интервале энергий основными процессами взаимодействия гамма-квантов с атомами среды распространения являются фотоэффект и комптоновское рассеяние.

При фотоэффекте энергия первичных фотонов (гамма-квантов) преобразуется в кинетическую энергию фотоэлектронов. Этот процесс является преобладающим при относительно небольших энергиях гамма-излучения ($E_0 < 0,5$ МэВ).

Комптоновское взаимодействие – это рассеяние фотонов на связанном в атоме электроны. При этом гамма-квант передает электрону только часть своей энергии и изменяет направление своего движения. Этот эффект является доминирующим при энергиях до 3 МэВ. При распространении гамма-кванта с энергией, при которой возникает комптон-эффект, в результате каждого одиночного акта его взаимодействия с атомом вещества энергия кванта уменьшается на величину энергии ионизации этого атома $\Delta E_0 = 34$ эВ [1]. В соответствии с формулой (1) при этом уменьшается и частота колебаний гамма-кванта. Этот процесс продолжается до полной потери его энергии. В результате по мере распространения гамма-квантов в веществе имеет место изменение в сторону уменьшения их энергетического и частотного спектров. Таким образом, корпускулярные и волновые свойства гамма-излучения, взаимно дополняя друг друга, позволяют исчерпывающе описать закономерности его распространения и взаимодействия с веществом, результатом которого является ионизация и возбуждение его атомов и молекул. Если эти процессы происходят в неживой материи, то они не приводят к изменению ее свойств.

При воздействии ИИ на биологическую ткань, в ней возникают первичные процессы, запускающие сложные и взаимосвязанные изменения, подчиняющиеся биологическим законам и нарушающие функционирование живого организма [1; 3]. Для исключения облучения людей сверх установленных пределов необходимо исследовать особенности действия внешнего гамма-излучения на человека.

Человек как объект внешнего облучения.

Степень воздействия на человека полей гамма-излучения определяется создаваемыми ими эффективными дозами внешнего облучения. Количественной оценкой вредного влияния ионизирующего излучения на человека является эффективная доза. Действующие международные и национальные документы по вопросам радиационной безопасности содержат ключевое предположение о линейной зависимости доза – биологический эффект [5–8]. Согласно ему при увеличении эффективной дозы облучения прямопропорционально увеличивается уровень биологического действия радиационных факторов. Такой подход является основой как для суммирования доз от отдельных внешних источников, так и для определения доз, формируемых конкретными источниками. Эффективные дозы рассчитываются для «условного человека», обладающего набором стандартных параметров тела [6].

Доза $E^{внеш}$ равна произведению мощности эффективной дозы $\dot{E}^{внеш}$ на время действия t :

$$E^{внеш} = \dot{E}^{внеш} t, \quad (2)$$

Для того, чтобы корректно оценивать и сопоставлять между собой степень радиационной опасности разных источников, расчет эффективной дозы выполняют для одного и того же интервала времени t . В нормативных документах это время принято считать равным одному году. В этом случае величина $\dot{E}^{внеш}$ приобретает смысл среднегодовой мощности индивидуальной эффективной дозы.

Мощность внешней эффективной дозы, созданной гамма-излучающим источником в какой-либо доступной для человека точке пространства, определяется значением мощности, поглощенной в этой точке дозы. Доза в точке формируется поступающим в нее гамма-излучением со всех направлений и с разных расстояний, которая испускается от смеси радионуклидов, содержащихся во всех элементах окружающей среды. Поскольку на результирующее гамма-поле в точке влияет большое количество факторов, то оно практически не может быть рассчитано и контролируется с помощью приборов, измеряющих дозиметрические характеристики этого поля. Дозиметрические величины непосредственно не могут быть измерены, их значения определяются с помощью операционных величин, которые можно измерить и которые являются их консервативной оценкой [6].

На практике для определения мощности эффективной дозы внешнего облучения $\dot{E}^{внеш}$ с помощью дозиметра, шкала которого градуирована в единицах мкЗв/ч, измеряют мощность амбиентного эквивалента дозы. Значение этой операционной величины является оценкой мощности дозы в точке измерения $\dot{E}^{внеш}$. Термин «амбиентный» (с англ. – «окружающий, внешний») отражает тот факт, что прибор суммирует регистрируемые его детектором сигналы, кото-

рые поступают со всех направлений. Как следует из выражения (2), для оценки эффективной дозы, которую получил бы человек, находящийся в точке измерения, показания дозиметра умножаются на время пребывания человека в этой точке поля излучения.

Находящийся на поверхности Земли человек также как и другие живые организмы постоянно находится под воздействием естественного радиационного фона (далее – ЕРФ). Внешнее облучение человека, обусловленное космическим излучением, гамма-излучением от радионуклидов, содержащихся в земной коре, строительных материалах, атмосферном воздухе, составляет примерно третью часть от суммарного фонового воздействия, которому подвергается человек [1].

Благодаря интенсивной деятельности человека постоянно возрастает уровень ИИ от природных радионуклидов, поступающих в окружающую среду вместе с полезными ископаемыми, продуктами сгорания топлива. Также образуется искусственный радиационный фон, обусловленный отходами предприятий ядерной энергетики, авариями с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду.

Природный радиационный фон также как и технологически измененный за редким исключением характеризуется относительно небольшими вариациями как в пространстве, так и во времени. Естественные радиоактивные вещества земного происхождения рассеяны в объеме Земли. Этот фактор является решающим в обеспечении радиационной безопасности людей, которые находятся на поверхности Земли, поскольку на них может воздействовать гамма-излучение только тех радионуклидов, которые находятся в верхнем слое почвы толщиной 0,3–0,5 м [9]. Ионизирующее излучение, испускаемое радиоактивными веществами, которые находятся ниже этого слоя, практически полностью поглощается в веществе Земли.

В результате аварий на АЭС, ядерных реакторах образуется облако, при перемещении которого загрязняются большие территории выпавшими из него на поверхность Земли радиоактивными веществами. Наземный радиоактивный след имеет пятнистый характер с большими перепадами уровней радиации. На загрязненной территории в результате атмосферных явлений происходит непрерывное вторичное перераспределение радиоактивности. Отдельные участки с расположенными на них техногенными объектами могут быть сильно загрязненными и находиться рядом с практически «чистыми». Объекты с повышенным уровнем загрязнения поверхности радионуклидами могут создавать ситуации существующего опасного хронического облучения населения.

Поскольку гамма-излучение при распространении ослабляется, то мощность индивидуальной эффективной дозы имеет наибольшее значение у излучающей поверхности источника. Очевидно, что в один

и тот же момент времени из всех людей, которые находятся в зоне действия излучения, испускаемого отдельным источником, наибольшему воздействию будут подвергаться те из них, которые находятся непосредственно у его поверхности. Отсюда следует, что если обеспечить их безопасность, то в безопасности будут находиться и все остальные лица. Таким образом, условием возвращения загрязненных объектов в хозяйственный оборот является снижение уровня гамма-излучения с их поверхности до допустимого. В соответствии с [5] этот подход является вмешательством, предусматривающим принятие мер по обеспечению радиационной безопасности.

В рассматриваемой ситуации в рамках вмешательства такими мерами являются дезактивация зданий, сооружений до гранично допустимого уровня годовой индивидуальной дозы облучения $E_{гр}^{внеш}$, создаваемой ими, и не превышающего значения 1 мЗв. Поскольку это расчетная величина, то на практике в качестве количественного критерия безопасности источника гамма-излучения устанавливается такой производный норматив как усредненная за год мощность эффективной дозы $\dot{E}_{гр}^{внеш}$, рассчитанная из значения эффективной дозы $E_{гр}^{внеш}$ [5]. Таким образом, если выполняется условие $E^{внеш} \leq \dot{E}_{гр}^{внеш}$, то источник ИИ, создавший поле такой интенсивности, безопасен. При невыполнении этого условия, то есть при $E^{внеш} > \dot{E}_{гр}^{внеш}$, проявляется опасный характер его влияния на здоровье человека. Изложенное справедливо не только для точечного изотропного излучателя, но и для протяженных с непрерывным спектром источников как естественного, так и искусственного происхождения с различными физическими и химическими характеристиками.

Для принятия мер по обеспечению радиационной безопасности конкретного объекта определяется мощность дозы излучения в точке, удаленной от его поверхности на 0,1 м. Показания дозиметра $\dot{E}_{изм}$ представляют собой сумму мощности дозы излучения с поверхности объекта $\dot{E}_o^{внеш}$ и присущей для такой местности средней мощности дозы естественного радиационного фона $\dot{E}_ф$:

$$\dot{E}_{изм}^{внеш} = \dot{E}_o^{внеш} + \dot{E}_ф^{внеш}, \quad (3)$$

Фактическое значение мощности дозы $\dot{E}_o^{внеш}$ рассчитывают по формуле:

$$\dot{E}_o^{внеш} = \dot{E}_{изм}^{внеш} - \dot{E}_ф^{внеш}, \quad (4)$$

Если эта величина превышает гранично допустимую мощность дозы $\dot{E}_{гр}^{внеш}$, являющуюся критерием радиационной безопасности объекта, то необходимо принимать меры к обеспечению его безопасности. Значение этого критерия определяется путем установления количественной связи между уровнем внешнего облучения человека гамма-излучением и эффектом от его воздействия.

Естественный радиационный фон как критерий радиационной безопасности. Внешняя состав-

ляющая естественного радиационного фона не является постоянной величиной. Ее изменения связаны прежде всего с вариациями концентрации радионуклидов на разных участках земной коры, а также в строительных материалах и зависят как от глобальных, так и от местных геологических процессов.

Количественно уровень опасности радиационного фона, также как и любого гамма-излучения, оценивают таким условным показателем как годовая индивидуальная эффективная доза. Поскольку распределение изменяющейся в течение года дозы не регламентируется [5], то она является усредненной за год величиной. На земном шаре имеются отдельные территории, на которых получаемая эффективная доза до десятка раз превышает усредненное по миру значение. Эти более высокие значения дозы обусловлены повышенным уровнем концентрации радионуклидов в земной коре. Люди на таких территориях живут тысячи лет, но, несмотря на тщательно проведенные исследования, нет доказательств связи между повышением уровня радиационного фона и ростом биологических нарушений в организме человека. Это можно объяснить тем, что все живые организмы способны существовать при широком диапазоне значений, действующих на него факторов окружающей среды, в том числе и радиационного фона. Живой организм снабжен эффективными механизмами адаптации к изменениям как естественных, так и несвойственных природе искусственных факторов. Вполне закономерно, что организм может адаптироваться к воздействию на него и гамма-излучения, созданного радионуклидами не только естественного, но и техногенного происхождения. Из изложенного следует, что для того, чтобы вновь образуемые источники как естественного, так и искусственного происхождения были безопасными, необходимо обеспечить, чтобы уровень создаваемого ими ИИ был сопоставим с уровнем естественного радиационного фона. Следовательно, естественный радиационный фон является критерием радиационной безопасности в существующей ситуации воздействия как техногенных, так и природных источников излучения на людей.

Во многих случаях выбор граничного значения мощности эффективной дозы, по которому оценивается сложившаяся радиационная обстановка, зависит от конкретной ситуации существующего облучения. Например, в Украине, а также во многих других странах допустимый уровень мощности поглощенной дозы в помещениях жилых и промышленных зданий устанавливается равным 0,26 мкЗв/ч и 0,44 мкЗв/ч с учетом природного фона [5]. Директивой 2013/59 EURATOM [7] определено, что для оборудования, которое имеет в своем составе закрытый источник, этот уровень равен 1 мкЗв/ч на расстоянии 0,1 м от его ближайшей поверхности. В «Основных санитарных правилах Украины» [8] установлено, что твердые материалы с неизвестным

радионуклідним составом и неизвестной удельной активностью не относятся к радиоактивным отходам, если мощность поглощенной дозы, измеренная на расстоянии 0,1 м от их поверхности не превышает значения 1 мкГр/ч.

Самодезактивация – основной фактор в обеспечении радиационной безопасности. Загрязнение различных объектов радиоактивными веществами может быть поверхностным или объёмным. Для выявления закономерности и особенностей формирования мощности дозы гамма-излучения с поверхности какого-либо объекта радионуклидами авторы наводят рисунок 1, на котором представлены фрагменты бесконечных в пространстве источников излучения S с различными видами распределения в них радионуклидов. Поле излучения каждого источника определяется в точке P , которая находится в непосредственной близости от излучающей поверхности.

Рисунок 1, а соответствует ситуации, когда радиоактивными веществами равномерно загрязнена поверхность бесконечной плоскости. В этом случае все радионуклиды, представляющие собой элементарные изотропные источники, находятся в одинаковых условиях и вносят равный вклад в формирование поля электромагнитного гамма-излучения, которое испускается этой поверхностью. Мощность этого излучения $\dot{E}^{пов}$ будет определять степень опасности для человека, находящегося в зоне его действия. Значение этой мощности в точке P может быть найдено из соотношения [10]:

$$\dot{E}^{пов} = 2\pi q_{пов} K_{\gamma} \quad (5)$$

где $q_{пов}$ – поверхностная активность, Бк/м²; K_{γ} – обобщенный дозовый коэффициент, характеризующий количественную зависимость мощности дозы гамма-излучения от активности создающих его радионуклидов, (Зв/ч) / (Бк/м²).

На рисунке 1, б показан источник в виде полубесконечного излучающего пространства с равномерным распределением активности по его объему. Такое распределение радионуклидов по сравнению с поверхностным существенно изменяет условия формирования суммарного радиационного излучения с поверхности этого источника, поскольку имеет место явление поглощения ИИ, создаваемого радионуклидами, находящимися в объеме вещества объекта. Степень ослабления излучения каждого эле-

ментарного источника зависит от его удаленности от излучающей поверхности. Чем дальше от этой поверхности находятся элементарные излучатели, тем больший путь необходимо преодолевать излучению в веществе источника ИИ, тем большая доля его энергии будет поглощаться этим веществом.

За пределы источника может выйти гамма-излучение только тех радионуклидов, которые находятся в его приповерхностном слое, толщина которого зависит от плотности вещества источника, а также от вида и уровня ИИ, испускаемого радионуклидами. Излучение остальных радионуклидов поглощается в веществе источника полностью. Следовательно, не все элементарные источники ИИ, которые находятся в его объеме, вносят вклад в излучение с его поверхности. Мощность гамма-излучения, создаваемая в точке P полубесконечным излучающим пространством (рис. 2, б), определяется по формуле [10]:

$$\dot{E}^{об} = \frac{2\pi q_{об} \cdot K_{\gamma} \cdot d_{0,5}}{0,693}, \quad (6)$$

где $q_{об}$ – объемная активность, Бк/м³; $d_{0,5}$ – толщина слоя половинного ослабления вещества объемного источника, м.

При рассмотрении вопросов радиационной безопасности необходимо принимать во внимание то, что у объекта с поверхностным загрязнением все содержащиеся в нем радионуклиды вносят свой вклад в эффективную дозу облучения, формируемую его поверхностью, а объект с объемным распределением радионуклидов является источником внешнего облучения и экраном для создаваемого им излучения. Причем для каждого радионуклида, находящегося в объеме объекта, толщина экрана своя, и она равна расстоянию от этого радионуклида до излучающей поверхности.

Влияние вида распределения загрязняющих объект радионуклидов на величину мощности дозы излучения с его поверхности проиллюстрировано с помощью рисунка 2.

На рисунке показан изготовленный из изотропного вещества объект в виде параллелепипеда длиной d и площадью одной из сторон S . На рис. 2, а представлен объект, у которого сторона S равномерно загрязнена активностью Q . Поскольку в этом случае поверхностная активность $q_{пов} = Q/S$, Бк/м², то, исходя из выражения (5), мощность дозы гамма-излучения с этой плоскости будет равна:

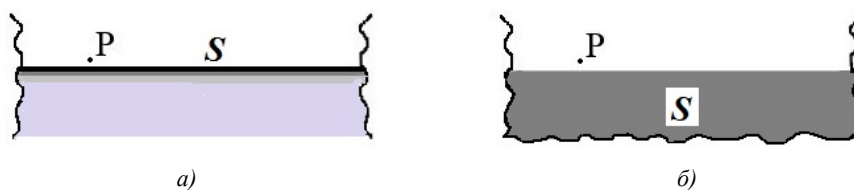


Рис. 1. Источники излучения: а) источник в виде бесконечной плоскости S с равномерным распределением радионуклидов по его поверхности; б) источник в виде полубесконечного излучающего пространства S с равномерным распределением радионуклидов по его объему

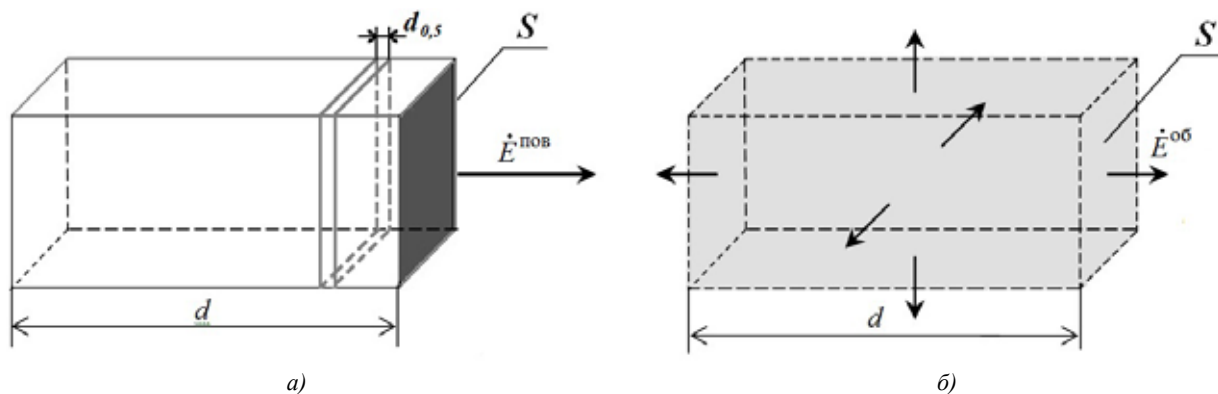


Рис. 2. Иллюстрация зависимости мощности гамма-излучения с поверхности объекта от вида распределения загрязняющих его радионуклидов: а) поверхностное загрязнение; б) объемное загрязнение

$$\dot{E}^{нов} = \frac{2\pi \cdot K_{\gamma} \cdot Q}{S}, \tag{7}$$

Если эту же полную активность Q распределить равномерно в объеме $V = S \cdot d$, м³, то $q_{об} = Q / (S \cdot d)$, Бк/м³, то выражение для мощности дозы излучения с поверхности этого объекта, в том числе и с плоскости S , в соответствии с (6) имеет вид:

$$\dot{E}^{об} = \frac{2\pi \cdot K_{\gamma} \cdot Q \cdot d_{0,5}}{0,693 \cdot S \cdot d}, \tag{8}$$

Это выражение справедливо при условии, которое практически всегда выполняется: $d > 4d_{0,5}$.

С целью сопоставления между собой значений мощности дозы гамма-излучения с плоскости S одного и того же по объему V источника, создаваемой активностью Q для поверхностного и объемного распределения в объекте длиной d (рис. 2), авторы рассматривают такое полученное после несложных преобразований соотношение:

$$\frac{\dot{E}^{нов}}{\dot{E}^{об}} = 0,693 \frac{d}{d_{0,5}}. \tag{9}$$

Как видно из (9) перевод загрязняющих поверхность какого-либо объекта радионуклидов в его объем приводит к уменьшению мощности дозы гамма-излучения с этой поверхности в $0,693d/d_{0,5}$ раз.

Обеспечить радиационную безопасность источника ИИ, находящегося за пределами организма облучаемого им человека, можно не только путем уменьшения количества радионуклидов на его излучающей поверхности (дезактивацией), так и изменением условий распространения к человеку ИИ путем перевода радионуклидов с поверхности объекта в его объем. Поскольку конечным результатом этих действий является уменьшение мощности эффективной дозы облучения человека, то целесообразно оба эти вида воздействия объединить одним понятием: «дезактивация», под которым имеется ввиду эффект поглощения ИИ радионуклидов, находящихся в объеме источника излучения, веществом этого же источника.

По своим последствиям такое действие эквивалентно уменьшению количества радионуклидов на излучающей поверхности объекта, что приводит к уменьшению уровня создаваемого ею излучения и уровня его опасности. Применение в широком смысле единого понятия «дезактивация» позволяет использовать его в целях получения объективной оценки количественного вклада различных факторов в суммарную мощность дозы внешнего облучения человека, созданной отдельным источником. Наглядной иллюстрацией роли эффекта самодезактивации в обеспечении радиационной безопасности является сам факт существования жизни на Земле, в коре которой содержится большое количество радионуклидов. Если бы не было поглощения ИИ в земном веществе, то под действием губительно высокого уровня радиации человек не смог бы выжить.

Явление поглощения ионизирующего излучения в материале источника может быть эффективно использовано для получения из объектов и материалов с загрязненной радионуклидами поверхностью безопасного в радиационном отношении сырья. Для этого достаточно снижать уровень излучения с загрязненной радионуклидами поверхности объекта до уровня естественного радиационного фона. Следовательно, эффект самодезактивации является основополагающим фактором в решении проблемы утилизации радиоактивно загрязненных техногенных объектов.

Оценка возможности утилизации радиоактивно загрязненных техногенных объектов на основе эффекта самодезактивации. В результате Чернобыльской катастрофы радиоактивно загрязнению подверглось большое количество зданий и сооружений, ныне находящихся в зоне отчуждения. По данным системы контроля радиационной обстановки средняя мощность дозы гамма-излучения на территории города Припять в настоящее время в несколько раз превышает фоновый уровень. Поздний период аварии на ЧАЭС характеризуется чрезвычайно сложной радиационной обстановкой.

Это делает невозможным в обозримом будущем возвращение в хозяйственный оборот как загрязненных радионуклидами территорий, так и расположенных на них техногенных объектов, пусть даже и в качестве вторичного сырья.

Утилизация объектов, находящихся в зоне отчуждения, возможна путем их демонтажа или сноса с последующим измельчением фрагментов до размеров щебня или гравия, их перемешивания и дальнейшего использования полученной массы для изготовления бетонных блоков, проведения бетонных работ непосредственно на стройплощадках, плотинах, в качестве отсыпки полотен автомобильных и железнодорожных магистралей. Принципиальная возможность реализации такого способа обеспечивается преобразованием поверхностного загрязнения этих объектов в равномерное распределение радионуклидов по всему объёму создаваемого при дроблении материала.

Наиболее приемлемым способом сноса зданий и сооружений может быть их разрушение с помощью направленного взрыва. Опыт применения этого способа в современном строительстве в наше время значительный, его применение достаточно простое, не требует значительных материальных и временных затрат, использования специального сложного оборудования, техники и инструмента. На практике измельчение полученных фрагментов разрушенных зданий и сооружений осуществляется с помощью специальных передвижных мельниц, камнедробилок или на стационарном аналогичном оборудовании.

На разных этапах работ по утилизации загрязненных радионуклидами зданий может подниматься пыль. Однако она не будет повышать уровень опасности для персонала, поскольку ее удельная активность такая же, как и средняя удельная активность веществ, из которых состоит среда на участке работ по утилизации. Все работы, связанные со сносом радиоактивно загрязненных зданий, сортировкой полученных фрагментов по типу материала, их измельчением относятся к работам с низкоактивными отходами и должны выполняться персоналом, имеющим соответствующую подготовку. Безопасность персонала обеспечивается обычными техническими, медико-санитарными и организационными мероприятиями. Таким образом, рассматриваемый в статье подход может применяться для утилизации материала, полученного в результате демонтажа радиоактивно загрязненных зданий, сооружений и других объектов с последующим измельчением его до размеров гравия или щебня.

Авторы рассматривают возможности предложенного подхода на примере. Так, строительный блок, имеющий форму куба с ребром $d = 1$ м, изготовлен из бетона, имеющего плотность $\rho = 2,35$ г/см³. Одна из его сторон загрязнена цезием-137. Необходимо определить, каким может быть максимально допустимое значение мощности $\dot{E}^{\text{нов}}$ на загрязненной

поверхности, обеспечивающее непревышение допустимого значения мощности $\dot{E}^{\text{об}}$, равное 0,5 мкЗв/ч, с поверхности изделия той же формы, полученного из материала исходного блока, но с равномерным распределением радионуклидов по всей его массе.

Для указанной плотности бетона слой половинного ослабления гамма-излучения, созданного цезием-137, составляет $d_{0,5} = 3,5$ см [10]. В соответствии с выражением (9) искомое максимально допустимое среднее значение мощности поглощенной дозы с поверхности строительного блока, взятого в качестве примера, составит $\dot{E}^{\text{нов}} \leq 9,9$ мкЗв/ч, то есть почти в 20 раз выше допустимого уровня $\dot{E}^{\text{об}}$. Следовательно, строительное сырье, полученное после переработки такого загрязненного блока и изделия из него, будут радиационно «чистыми», поскольку при этом концентрация радиоактивных веществ в них обеспечивает безопасный уровень гамма-излучения с их поверхности.

Одним из преимуществ предлагаемого способа утилизации радиоактивно загрязненных зданий и сооружений является то, что при этом не возникает дополнительного загрязнения окружающей среды радионуклидами, удаляемыми с поверхности загрязненного объекта в процессе его дезактивации. Фактически радионуклиды не удаляются, а переводятся в другой вид распределения (из поверхностного в объёмный), и их количество в загрязненном объекте остается неизменным. При этом, как было показано выше, интенсивность ИИ с поверхности переработанного материала снижается в десятки раз, чем создаются условия для получения материалов с уровнем излучения с их поверхности не превышающим допустимый.

Со временем уровень радиации будет снижаться за счёт распада содержащихся в этих материалах радионуклидов. Применение такого подхода может быть примером успешного возврата больших территорий и материалов в экологически безопасное состояние, что будет способствовать повышению доверия общества к ядерным технологиям. Кроме того, бетонные изделия, изготовленные из раздробленных фрагментов радиоактивно загрязненных объектов, являются источниками ИИ закрытого типа, поскольку радионуклиды в их массе находятся в связанном жестко фиксированном состоянии и не могут естественным путем мигрировать в окружающую среду, приводя к ее дополнительному загрязнению, а могут стать в последующем возможной причиной внутреннего поражения людей.

Экспериментальные исследования рассмотренного подхода и оценку радиационной обстановки, складывающейся при его применении, можно проводить на небольших объемах материалов с невысоким уровнем загрязнения. Такой эксперимент не потребует больших финансовых и материальных затрат и позволит за короткое время отработать приемлемую для промышленного применения

технологии утилизации материалов с повышенным уровнем загрязнения радионуклидами их поверхности.

Главные выводы. В статье показана принципиальная возможность возвратить в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья в промышленном производстве техногенные объекты, поверхность которых загрязнена радионуклидами. Основой рассмотренного подхода является демонтаж таких объектов с последующим раздроблением образовавшихся фрагментов до небольших размеров. При этом радионуклиды с загрязненных поверхностей переводятся в объем полученной массы и распределяются в нём равномерно. В результате техногенный объект как источник ИИ с поверхностным загрязнением радионуклидами преобразуется в источник с равномерным распределением элементарных излучателей в его объеме. Это создает условия для получения радиационно безопасного сырья, поскольку гамма-излучение значительной части радионуклидов поглощается

в объеме источника, то есть имеет место эффект, названный «самодезактивацией».

Для оценки радиационной обстановки, созданной загрязненными радионуклидами объектами, в качестве критерия радиационной безопасности предложен естественный радиационный фон. Экспериментальные исследования предложенного подхода и отработка технологии его реализации могут быть проведены на небольших объемах материалов, имеющих относительно невысокий уровень загрязнения, которые не потребуют больших финансовых и материальных затрат.

Перспективы использования результатов исследования. Применение этого подхода позволит возвратить в промышленность большие объемы радиоактивно загрязненных материалов и будет способствовать существенному улучшению экологической обстановки, а также создаст в обществе благоприятный социально-психологический климат, который будет способствовать дальнейшему эффективному развитию ядерной энергетики.

Литература

1. Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. 384 с.
2. Балакин В.Ф., Машинистов В.Е., Коверя А.С. Перспективная технология рециклинга радиоактивно загрязненного металла на основе его плавления. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2018. № 2 (78). С. 43–48.
3. Бекман И.Н. Радиохимия : Учебное пособие в 7 т. Том 6. Экологическая радиохимия и радиозоология. М. : Издатель Маркотин П.Ю., 2015. 400 с.
4. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М. : Наука, 1972. 256 с.
5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. К., 1998. 135 с.
6. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / Пер. с англ. под ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. М. : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
7. Директива Ради 2013/59/EURATOM від 5 грудня 2013 року про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання, і скасування директив 89/618/Євратом, 90/641/Євратом, 96/29/Євратом, 97/43/Євратом і 2003/122/Євратом. Європейська комісія, Брюссель. 2013. 89 с.
8. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України № 54 від 02.02.2005.
9. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. М. : Энергоатомиздат, 1990. 252 с.
10. Кимель Л.Р., Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. Изд. 2. М. : Атомиздат, 1972. 312 с.

ЧИННИКИ ВПЛИВУ БРОНИЦЬКОГО СМІТТЄЗВАЛИЩА ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА РЕГІОНАЛЬНУ ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ

Мотрич С.І., Король К.А., Попович В.В.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

вул. Клепарівська, 35, 79007, м. Львів

sofiya.brenetska@gmail.com, katikincheshi@gmail.com, popovich2007@ukr.net

Україна належить до країн із високим рівнем урбанізації, де внаслідок зростання споживання надзвичайно актуальною є проблема поводження з побутовими відходами. Існуючі полігони твердих побутових відходів і сміттєзвалищ є значною екологічною небезпекою, яка буде діяти ще десятки років. Окрім того, що такі полігони займають величезні земельні ділянки, вони виділяють парникові гази й забруднювальні речовини, які потрапляють в атмосферу, поверхневі шари ґрунту, ґрунтові води. Пожежі, які виникають на сміттєзвалищах, є тривалими, займають значну площу та потребують для гасіння велику кількість пожежно-рятувальних автомобілів та особового складу підрозділів ДСНС. У статті наведено результати досліджень, згідно з якими у зоні впливу сміттєзвалища в селі Броніця Дрогобицького району Львівської області спостерігається перевищення вмісту небезпечних речовин у поверхневих і підземних водах, а також ґрунтах порівняно з фоном і ГДК щодо нітратів, сульфатів, хлоридів. Проби із найнижчими показниками для фільтрату і ґрунту зосереджені на схід від звалища, тобто з сторони села Броніця, що негативно впливає на регіональну екологічну безпеку. Сміттєзвалище є джерелом фізичного, хімічного та біологічного забруднення довкілля. Наявність у складі відходів небезпечних речовин несе в собі екологічну загрозу для населення та туристів, а також погіршення якості довкілля. Для виведення Броніцького сміттєзвалища із експлуатації пропонується природна фітомеліорація, яка передбачає використання рудеральних фітоценозів-меліорантів при ренатурації девастрованих ландшафтів. Багатьма вченими вже доведена ефективність використання рудероценозів для фітомеліорації сміттєзвалищ. Такий підхід є справедливим при недостатньому фінансуванні рекультивацийних робіт на сміттєзвалищах та малій увазі владних структур екологічним проблемам регіонів. *Ключові слова:* сміттєзвалище, побутові відходи, екологічна безпека, екологічна небезпека.

Factors of the Impact of the Bronze Landfill in Lviv Region on Regional Environmental Security. Motrych S., Korol K., Popovych V.

Ukraine is one of the countries with a high level of urbanization, where as a result of increased consumption, the problem of household waste management is extremely urgent. Existing landfills for solid waste and landfills represent a significant environmental hazard that will continue for decades. Apart from the fact that such landfills occupy vast land areas, they emit greenhouse gases and pollutants that enter the atmosphere, surface layers of soil, groundwater. The fires that occur at landfills are long-lasting, occupy a large area and require a large number of fire-fighting vehicles and the personnel of the public emergency services to extinguish. The article presents the results of studies according to which in the area of landfill in the village of Bronitsya of Drohobych district, Lviv region, there is an excess of dangerous substances in surface and groundwater, as well as soils in comparison with the background and MPC for nitrates, sulfates. The lowest samples for the filtrate and soil are concentrated to the east of the landfill, ie from the village of Bronitsya and adversely affect regional environmental security. The landfill is a source of physical, chemical and biological pollution. The presence of hazardous waste in the composition of the waste carries an environmental threat to the population and tourists, as well as environmental degradation. Natural phytomelioration, which involves the use of ruderal phytocenoses-ameliorants in the renaturation of devastated landscapes, is proposed for the decommissioning of the Bronitsky landfill. Many scientists have already proven the effectiveness of the use of ore minerals for the phytomelioration of landfills. This approach is justified in the case of underfunding of land reclamation works and the lack of attention of governmental structures to the environmental problems of the regions. *Key words:* landfill, municipal waste, environmental safety, environmental hazard.

Постановка проблеми. Зі збільшенням рівня розвитку промисловості, зростанням міського населення, індустріалізацією та урбанізацією фізико-хімічні властивості відходів стають складнішими, несуть ще більшу екологічну небезпеку для людей і довкілля. Щоб проаналізувати вплив сміттєзвалищ і полігонів на довкілля, потрібно враховувати склад відходів, їх щільність, ступінь вологості тощо. Вплив сміттєзвалищ на організм людини досліджується безперервно. Науковці неодноразово у наукових працях відображають небезпеку побутових відходів, які містять надзвичайно токсичні речовини, що становлять не тільки епідеміологічну, але й сер-

йозну токсикологічну проблему, адже на стадії збору близько 4 % відходів є токсичними [1].

Полігони твердих побутових відходів (далі – ТПВ) є інженерними спеціалізованими спорудами, призначеними для захоронення твердих побутових відходів. Полігони ТПВ повинні забезпечувати санітарне та епідемічне благополуччя населення, екологічну безпеку навколишнього природного середовища, запобігати розвитку небезпечних геологічних процесів і явищ (ДБН В.2.4-2-2005) [2]. Процеси, які відбуваються на полігонах і сміттєзвалищах у різний період існування, залишаються мало вивченими та становлять цікавість для наступних досліджень.



Рис. 1. Засипані узбіччя дороги, яка веде до Броницького сміттєзвалища

Актуальність дослідження. Розробка та удосконалення існуючих логістичних підходів щодо поводження із побутовими відходами на регіональному рівні актуальні та відповідають вимогам «Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно досліджень таких вчених як В.П. Кучерявий, М.С. Мальований, В.М. Шмандій, В.В. Попович, О.М. Мандрик, В.Г. Петрук, О.В. Мороз, В.І. Савуляк відходи, що утворюються в результаті життєдіяльності людей і вивозяться на міські полігони, – це суміш складного морфологічного складу (чорні і кольорові метали, макулатура, склобій, пластмаса, харчова частина, камені, кістки, гума), а основну питому вагу в загальній масі полімерних відходів займає поліетилентерефталат (ПЕТФ) (близько 25 %) [2; 3].

На основі літературних даних виявлено, що 0,1 % ТПВ складають небезпечні відходи. Натепер

ці види відходів збирають разом з іншими ТПВ і складають на полігонах, де вони становлять серйозну небезпеку для довкілля та здоров'я людини [4].

Постановка завдання. Метою роботи є вивчення фізико-хімічного стану фільтратів і ґрунтів у зоні впливу Броницького сміттєзвалища Львівської області. Відповідно до мети передбачається розв'язання таких завдань:

– визначити умови захоронення ТПВ на досліджуваному сміттєзвалищі;

– провести аналіз впливу сміттєзвалища на гідрографічну мережу та ґрунти;

– встановити рівні забруднення

фільтратами прилеглих до сміттєзвалища ґрунтів.

Об'єкт досліджень – Броницьке сміттєзвалище Дрогобицького району Львівської області.

Під час проведення досліджень використано такі методи: загальнонаукові (рекогносцирування, спостереження); хімічні (дослідження вмісту хімічних елементів у питній воді з криниці, воді з потічка, який протікає поряд зі сміттєзвалищем та на ґрунтах сміттєзвалища (північ, південь, захід, схід), та фільтрату; математико-статистичні (оброблення та опрацювання отриманих даних).

Виклад основного матеріалу. Встановлено, що складування відходів на сміттєзвалищі не контролюються, повсюдно спостерігається безперешкодний доступ до звалища. Фільтрат відводиться хаотично та не переробляється. Вирівнювання схилів бульдозерами не проводиться. Моніторинг за небезпечними речовинами, в тому числі біогазом, не здійснюється.

Таблиця 1

Результати відбору проб води з криниці, яка знаходиться біля Броницького сміттєзвалища

№ з/п	Назва показника	Розмірність	Результат	ГДК
1.	Запах при +20 °С	бали	0	До 2
2.	Прозорість	см	Більше 40	Більше 20
3.	Водневий показник (рН)	од. рН	6,6	6,5–8,5
4.	Сухий залишок (+90 °С)	мг/дм ³	933	До 1000
5.	Жорсткість загальна	мг-екв/дм ³	10,2	До 7,0
6.	Жорсткість карбонатна	мг-екв/дм ³	6,8	До 6,5
7.	Гідрокарбонати (НСО ₃ ⁻)	мг/дм ³	412	До 300
8.	Хлориди (СІ ⁻)	мг/дм ³	173,4	До 250
9.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	140,1	До 500
10.	Нітрити (NO ₂ ⁻)	мг/дм ³	0	До 3,3
11.	нітрати (NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	12,1	До 45
12.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	0	Не норм.
13.	Залізо загальне (Fe _{заг})	мг/дм ³	0,15	До 0,3
14.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	0,9	До 2,0
15.	Кальцій (Ca ²⁺)	мг/дм ³	149,1	Не норм.
16.	Магній (Mg ²⁺)	мг/дм ³	33,6	До 80

Огородження Броницького сміттєзвалища закидані шаром сміття та у деяких місцях відсутні взагалі. У нічний час сміттєзвалище не освітлюються. Біоакустичні, звукові системи відлякування птахів і первинні засоби пожежогасіння відсутні. Через таке становище Броницьке сміттєзвалище замість спеціалізованої споруди перетворилося на стихійну [5].

На полігон приймаються ТПВ 4-го класу небезпеки. Щомісяця на звалище приймається на захоронення 11 520 м³ сміття (щоденно 370 м³). Також на звалище завозилися ТПВ зі Львова протягом 2017 року, що призвело до ще більшого нагромадження побутових відходів і захоплення прилеглих земель громади [5].

Для оцінювання екологічного і санітарно-гігієнічного стану стічних вод відібрано одну пробу із потічка, другу – з криниці, чотири – із збірників фільтрату. В результаті відібраних проб на прилеглих територіях та на Броницькому сміттєзвалищі виявлено перевищення ГДК деяких речовин (табл. 1).

Перевищують значення ГДК такі показники: прозорість (втричі), завислі речовини, жорсткість загальна, жорсткість карбонатна, гідрокарбонати, залізо загальне, кальцій. Також слід зазначити, що обидва результати відбору проб – води з криниці та потічка – мають перевищення ГДК щодо завислих речовин, фосфатів, кальцію.

Для оцінювання екологічного стану фільтратів відібрано чотири проби у різних місцях біля підніжжя сміттєзвалища – північ, південь, захід, схід. Результати аналізу показали, що найбільш забрудненим є фільтрат із східної частини сміттєзвалища. Слід зазначити, що село Броніця розташоване на сході від сміттєзвалища.

Проби ґрунтів для оцінки їхнього екологічного стану відбирали на присадибних ділянках і полях, розташованих у санітарно-захисній зоні та поза



Рис. 2. Місце відбору проби ґрунту із східної частини сміттєзвалища

її межами. На рисунку 2 зображено місце відбору проби ґрунту із східної частини сміттєзвалища.

Було відібрано чотири проби ґрунту з півночі, півдня, заходу, сходу від сміттєзвалища у радіусі 300–400 м. від сміттєзвалища. Згідно із отриманими результатами встановлено, що найбільш забруднена ділянка – східна частини сміттєзвалища. В результаті відібраних проб виявлено перевищення деяких ГДК. У Таблиці 2 зображено результати проб ґрунту зі східного боку сміттєзвалища.

Для виведення сміттєзвалища із експлуатації та зниження його небезпечного впливу на довкілля слід здійснити рекультивацію та фітомеліорацію його поверхні.

Основною екологічною та економічною проблемою при рекультивації сміттєзвалищ є дефіцит родючих ґрунтосумішей для створення рекультиваційного вкриття, а використання значних обсягів цих ресурсів створює значне антропогенне навантаження. Для рекультивації 1 га сміттєзвалища необхідно до 10 тис. м³ родючих ґрунтів, що спричиняє порушення 5 га природних земель, тобто у 5 разів перевищує площу сміттєзвалища, яке рекультивується [6]. При відсутності ґрунтосумішей для ство-

Таблиця 2

Результати відбору проб ґрунту на схід від Броницького сміттєзвалища

№ з/п	Назва показника	Результат	Перерахунок, мг/кг
1.	Хлориди (Cl ⁻)	56,9 мг/дм ³	262 мг/кг
2.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	45,3 мг/дм ³	209 мг/кг
3.	Нітрити (NO ₂ ⁻)	2,5 мг/дм ³	11,5 мг/кг
4.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	18,7 мг/дм ³	86,0 мг/кг
5.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	0,1 мг/дм ³	0,6 мг/кг
6.	Кальцій (Ca ²⁺)	56,1 мг/дм ³	258 мг/кг
7.	Магній (Mg ²⁺)	31,6 мг/дм ³	145 мг/кг
8.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	0,2 мг/дм ³	1,0 мг/кг
9.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	35,3 мг/дм ³	163 мг/кг

рення рекультивацийного вкриття сміттєзвалище необхідно піддавати природній фітомеліорації.

Природна фітомеліорація сміттєзвалищ передбачає використання рудеральних фітоценозів-меліорантів при ренатурації девастованих ландшафтів. Як уже зазначалося, багатьма вченими (Л.А. Раменський, Х. Пойкер, В.П. Кучерявий, Р.М. Панас, Ю.Г. Маджугіна, Т.О. Попутнікова) вже доведена ефективність використання рудероценозів для фітомеліорації сміттєзвалищ. Такий підхід є справедливим при недостатньому фінансуванні рекультивацийних робіт на сміттєзвалищах і малій увазі владних структур до екологічних проблем регіонів.

За способом ведення боротьби у фітоценозі сміттєзвалищ рудеральні меліоранти розподіляють на три групи [7; 8; 9; 10]:

1. Експлеренти (піонери), які першими заселяють нові екотопи і швидко випадають із ценозу. Це однорічні світлолюбні рослини, пристосовані для розвитку на вільних просторах. Вони не здатні конкурувати із багаторічниками. На сміттєзвалищах у межах Західного Лісостепу виявлені такі експлеренти: *Artemisia vulgaris* L., *Artemisia absinthium* L., *Chenopodium urbicum* L., *Cirsium vulgare* (Savi), *Arctium lappa* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Taraxacum hybernum* Steven. та інші.

2. Патієнти (виносливі), які ростуть у сурових екологічних умовах. В мезофільних місцезростаннях розвиваються та зберігаються в ценозі до 15 років та більше. На сміттєзвалищах у межах Західного

Лісостепу виявлені такі патієнти: *Plantago major* L., *Rubus caesius* L. та інші.

3. Віоленти (силовики) захоплюють територію, яку заселяють перші два типи, утримують її та створюють зональні фітоценози. На сміттєзвалищах у межах Західного Лісостепу виявлені такі віоленти: *Quercus robur* L., *Eutrigia repens* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Phragmites australis* L. та інші.

Слід зауважити, що рудеральні фітоценози-меліоранти ефективними є у перші роки ренатурації сміттєзвалищ. Далі внаслідок своєї нестійкості до ерозій і змивів вони повинні бути замінені на стійкі угруповання. Підбір лісових культур для фітомеліоративних робіт необхідно здійснювати з врахуванням вивчення стрес-фізіології дикоростучих і деяких видів культурних рослин.

Головні висновки. Встановлено, що у зоні впливу сміттєзвалища ТПВ в с. Брониця Дрогобицького району Львівської області спостерігається перевищення вмісту небезпечних речовин у поверхневих і підземних водах, а також у ґрунтах порівняно з фоном нітратів, сульфатів, хлоридів. Проби з найнижчими показниками води, фільтрату і ґрунту тяжіють до сходу, тобто до села, що негативно впливає на екологічну безпеку регіону.

Перспективи використання результатів дослідження. Природні фітомеліоративні процеси сміттєзвалищ на стадіях ендоекогенезу необхідно регулювати. Це слід робити з метою виключення конкуренції рослин і запобігання виникненню загорянь сміття, що негативно впливає на безліч чинників.

Література

1. Голець Н.Ю. Розрахунок класу небезпеки фільтрату Грибовицького полігону твердих побутових відходів / Н.Ю. Голець, М.С. Мальований, Ю.О. Малик // Вісник ЛДУ БЖД. № 7. 2013. С. 219–224.
2. Генік Я.В. Еколого-біологічні основи відновлення ландшафтів, порушених звалищами та полігонами твердих побутових відходів / Я.В. Генік // Науковий вісник НЛТУ України. Львів : РВВ НЛТУ України. 2009. Вип. 19.2. С. 77–82.
3. Мороз О.В. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів : [Монографія] / О.В. Мороз, А.О. Свентух, О.Т. Свентух. Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2003. 110 с.
4. Мальований М.С. Тверді побутові відходи м. Львова та їх вплив на довкілля / М.С. Мальований, О.Я. Голодовська, М.І. Пастернак // Хімія, технологія речовин та їх застосування : [збірник наукових праць]. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. № 700. С. 250–252.
5. Протокол Дрогобицької районної ради «Про засідання тимчасової контрольної депутатської комісії по вивченню питання порушень екологічного та санітарного законодавства на території Броницької сільської ради» від 03.11.2017 року. 2 с.
6. Жилинская Я.А. Рекультивация полигонов захоронения твердых бытовых отходов продуктами механо-биологической переработки отходов : автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. Наук. Спец. 03.00.16 «Экология» / Я.А. Жилинская. Пермь, 2010. 16 с.
7. Александрова В.Д. Классификация растительности / В.Д. Александрова. Л. : Наука, 1969. 257 с.
8. Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М. : Сельхозгиз, 1938. 620 с.
9. Кучерявий В.П. Фітомеліорація / В.П. Кучерявий. Львів : «Світ». 2003. 540 с.
10. Попович В.В. Фітомеліорація як засіб виведення сміттєзвалищ із експлуатації / Вісник ЛДУ БЖД № 11, 2015. С. 126–130.

ЕКОЛОГІЧНІ ФАРМАЦЕВТИЧНІ УПАКОВКИ З НАПОВНЕНОГО ТЕРМОРЕАКТИВНОГО ФЕНОЛ-ФОРМАЛЬДЕГІДНОГО ПОЛІМЕРУ

Становська І.І.¹, Кравченко І.А.¹, Науменко Є.О.¹, Монова Д.А.²

¹Одеський національний політехнічний університет
пр. Шевченка, 1, 65044, м. Одеса
stanovskairaida@gmail.com;

²Черкаський державний технологічний університет
бульв. Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси

Розглянуто і систематизовано наукові підходи, принципи і критерії аналізу та дослідження таблетованих лікарських засобів, що надходять до лікарських установ та в аптечну мережу, упакованих у так звані блістери. Блістери – це контурно-чарункове пакування, яке виконане з полімерної плівки і має форму, близьку до форми таблетки. Блістери найчастіше виготовляють із полімерної плівки, яка, як правило, утворює досить жорсткий каркас. Завдяки таким властивостям вона захищена від механічних пошкоджень, потрапляння вологи і забруднень. Матеріали для виготовлення полімерної плівки можуть бути різні: поліпропілен, поліетилен, полівінілхлорид, полівінілденхлорид та інші. На жаль, термопластичні поліетиленові вироби завдають величезної шкоди екології довкілля, адже період розпаду, наприклад, поліетилену перевищує 100 років, тоді як час використання цього ж широко поширеного матеріалу становить у середньому не більше 30 хвилин. При цьому, згідно з дослідженнями, в Україні на одну людину припадає понад 500 поліетиленових виробів на рік, тоді як, наприклад, житель Німеччини використовує всього близько 40. Поліетиленові вироби в усьому світі вже визнані шкідливими і небезпечними. Залежно від щільності вони розкладаються від 100 до 400 років і водночас призводять до загибелі риб і тварин. Багато країн або взагалі заборонили поліетилен як тару і упаковку, або ввели обмеження на нього. У роботі для розв'язання поставлених завдань рекомендовано перехід від використання стовідсоткового (суцільного, наповненого) полімеру до полімеру, наповненого відносно хімічно нейтральним і міцним мінеральним наповнювачем, наприклад пудроподібним окисом кремнію. Рекомендація випливає з того безсумнівного факту, що зменшення кількості полімеру, який у підсумку опиняється в довкіллі, пропорційне його зменшенню в складі полімерних виробів, що викидаються. Цій мінімізації протидіють кілька чинників, найголовнішими з яких є механічні властивості пакувального матеріалу та газопроникність плівок із нього. Проведено огляд різних видів первинної лікарської упаковки. Створено лабораторні установки для експериментального дослідження механічних і герметичних властивостей наповнених полімерів різного складу. Рекомендовано оптимальний склад пакувальної фармацевтичної плівки: основа – 10% термореактивної фенолформальдегідної смоли; наповнювач – 90% порошок оксиду кремнію (SiO₂).
Ключові слова: полімерні блістери, загроза довкіллю, наповнені полімери, оптимальний склад, герметичність, міцність.

Environmental pharmaceutical packaging from filled thermoreactive phenol-formaldehyde polymer. Stanovska I., Kravchenko I., Naumenko Y., Monova D.

The scientific approaches, principles and criteria for the analysis and research of tableted medicinal products supplied to medical institutions and the pharmacy network packaged in so-called blisters have been considered and systematized. Blisters are a contour-cell pack that is made of polymer film and has a shape similar to a tablet. Blisters are often made of polymer film, which usually forms a rather rigid frame. Thanks to these properties, it is protected from mechanical damage, moisture and contaminants. The materials used to make the polymer film may be different: polypropylene, polyethylene, polyvinyl chloride, polyvinyl chloride, and the like. Unfortunately, thermoplastic polyethylene products do a great deal of damage to the environment. After all, the decay period, for example, of polyethylene exceeds 100 years, while the use of the same widespread material is on average not more than 30 minutes. At the same time, according to research, in Ukraine, more than 500 polyethylene products per year are used per person, whereas, for example, a German resident uses only about 40. Polyethylene products worldwide are already recognized as harmful and dangerous. Depending on their density, they decompose from 100 to 400 years, and at the same time lead to the death of fish and animals. Many countries either banned or imposed polyethylene as packaging or packaging at all. In order to solve these problems, it is recommended to switch from using 100% (solid, unfilled) polymer to a polymer filled with a relatively chemically neutral and strong mineral filler, such as powdered silicon oxide. The recommendation follows from the undoubted fact that the decrease in the amount of polymer that is ultimately found in the environment is proportional to its decrease in the composition of the emitted polymer products. This minimization is counteracted by several factors, the most important of which are the mechanical properties of the packaging material and the gas permeability of the films from it. Various types of primary medicinal product have been reviewed. Laboratory installations for experimental investigation of mechanical and hermetic properties of filled polymers of different composition have been created. The optimal composition of the pharmaceutical packaging film is recommended: the base is 10% thermosetting phenol-formaldehyde resin, the filler is 90% silicon powders (SiO₂).
Key words: polymer blisters, threat to the environment, filled polymers, optimal composition, tightness, durability.

Постановка проблеми. В Україні на одну людину припадає понад 500 поліетиленових виробів на рік, тоді як, наприклад, житель Німеччини використовує всього близько 40. Поліетиленові вироби в усьому світі вже визнані шкідливими і небезпечними. Залежно від щільності вони розкладаються від 100 до 400 років, призводять до загибелі риб і тварин [1].

Багато країн або взагалі заборонили поліетилен як тару і упаковку, або ввели обмеження на нього. Ці країни поступово відмовляються від використання поліетилену. Наприклад, в Європейському Союзі введено норму: 90 виробів на рік для однієї людини, до 2025 року норма зменшиться до 40 виробів.

У деяких країнах поліетилен повністю заборонений. Наприклад, у Китаї такі вироби заборонені ще з 1992 р. Також не можна використовувати поліетиленові вироби в країнах Індокитаю. З 1 липня у двох австралійських штатах набула чинності заборона на використання одноразових пластикових виробів. Штрафи за порушення цієї норми можуть досягати 4,6 тис. доларів.

Трохи раніше заборонили поліетиленові вироби і в Бельгії. Утім, за даними ООН, у світовий океан щорічно викидають 8 млн тон пластику, а екологи побоюються, що до 2050 р. пластику там буде більше, ніж риби.

Актуальність дослідження. Сьогодні велика частина таблетованих лікарських засобів, що надходять до лікарських установ та в аптечну мережу, упакована в так звані *блістери*. Блістери – це контурно-чарункове пакування, яке виконане з полімерної плівки або алюмінієвої фольги та має форму, близьку до форми таблетки [2]. Основна частина капсул і таблеток пакується тільки таким чином. Блістери найчастіше виготовляють із полімерної плівки, яка, як правило, утворює досить жорсткий каркас. Завдяки таким властивостям вона захищена від механічних пошкоджень, потрапляння вологи і забруднень. Матеріали для виготовлення полімерної плівки можуть бути різними: поліпропілен, поліетилен, полівінілхлорид, полівінілденхлорид та інші, що дає простір для прийняття оптимального рішення залежно від результатів вивчення стабільності лікарського засобу.

Але, як сказано вище, такі вироби несуть величезну небезпеку довкіллю. Річ у тому, що період розпаду поліетиленових пакетів, як уже говорилося, перевищує 100 років, тоді як час використання цього ж пакета становить не більше 30 хвилин [3]. Тому навіть зберігання та транспортування великої кількості відпрацьованого поліетилену потребують підвищеної уваги з погляду екологічного навантаження [4].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. *Проблема екології в частині забруднення довкілля фармацевтичними упаковками (блістерами) з поліетилену, які розкладаються вельми повільно.* Блістер-упаковка – упаковка з термопластичних матеріалів, найчастіше з поліетилену [5]. Вона належить до конструкційних полімерів [6; 7]. Зазвичай блістер-упаковка повторює об'ємну форму виробу або продукту.

У нашій країні набули подальшого розвитку різні види упаковок. Для збереження якості готових лікарських засобів (далі – ГЛЗ) застосовуються первинна та вторинна упаковки. Головний вплив на ГЛЗ має

первинна упаковка, оскільки вона безпосередньо контактує з лікарським засобом [8; 9].

Отже, головне призначення блістерів – механічна підтримка таблетованих ГЛЗ та захист останніх від небажаних хімічних контактів і світла. Одночасно поліетиленові блістери після використання, як правило, викидаються, поповнюючи довкілля сміттям.

Очевидно, якщо відсоток поліетилену в матеріалі блістера зменшити, то, відповідно, зменшується і негативне екологічне навантаження на довкілля.

Найкоротший і найефективніший шлях до такого зменшення – армування матеріалу для блістерів екологічно безпечними наповнювачами природного походження. Один із шляхів до цього – багаточастикові блістери, в яких полімерна упаковка за допомогою термомпресування з'єднується з картоном або фольгою, що одночасно розв'язує і гігієнічні проблеми, які виникають під час довгого контакту ГЛЗ із полімером [10].

Широко відомі також вироби з наповненого полімеру, в яких наповнювач являє собою різні дисперсні фракції різної форми та розмірів [11], серед яких представлені навіть наноконструкції [12]. Фізико-хімічні явища, які спостерігаються під час виготовлення таких композитів [13], суттєво впливають на властивості готових виробів із них [14].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.

Зменшення кількості поліетилену в елементах упаковки. Очевидно, що згаданий шлях дасть змогу розв'язати проблему утилізації відпрацьованих медичних упаковок. Треба тільки розробити такий склад наповненого полімеру, щоб останній мав достатню міцність і герметичність для дієвого захисту лікарської форми від дії навколишнього середовища.

Тому **метою роботи** є значне підвищення екологічних показників фармацевтичних упаковок шляхом заміни суцільного матеріалу для останніх на наповнені полімери із двадцятикратним зменшенням витрат полімерів і збереженням їхніх споживчих характеристик.

Для досягнення цієї мети в роботі необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Сформулювати завдання оптимізації складу наповненого полімеру для фармацевтичних застосувань.

2. Дослідити міцність композиційних термопластичних полімерних плівок на розрив і визначити придатність наповнених термопластичних полімерів типу поліетилену до виготовлення з них екологічно безпечних фармацевтичних упаковок (блістерів).

3. Дослідити газопроникність наповненого терморективного полімеру та визначити склад і матеріали екологічно безпечних елементів первинних фармацевтичних упаковок для забезпечення механічного та хімічного захисту вмісту готового лікарського засобу від шкідливого впливу навколишнього середовища.

Об'єкт і предмет дослідження. Предмет дослідження – процеси виготовлення блістерних лікарських упаковок із наповненого полімеру.

Об'єкт дослідження – матеріали для виготовлення лікарських упаковок із наповненого полімеру.

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вперше запропоновано використовувати для вироблення лікарських упаковок (блістерів) наповнені полімери на основі термопластичного поліетилену або терморезистивного фенол-формальдегіду шляхом забезпечення їхньої герметичності, що дало змогу запропонувати екологічно чисті упаковки із значно збільшеною ефективністю їх утилізації.

Виклад основного матеріалу.

1. Постановка завдання оптимізації складу наповненого полімеру для фармацевтичних застосувань

Як сказано вище, в роботі для розв'язання поставлених завдань було рекомендовано перейти від використання стовідсоткового (суцільного, ненаповненого) поліетилену до поліетилену, наповненого відносно хімічно нейтральним і міцним мінеральним наповнювачем, наприклад порошкоподібним окисом кремнію.

Висновки когнітивних розмірвань впливають із того безсумнівного факту, що зменшення кількості поліетилену, який у підсумку опиняється в доквіллі, пропорційне його зменшенню в складі поліетиленових виробів, що використовуються, а потім викидаються в навколишнє середовище. На практиці цьому зменшенню протидіють кілька чинників, найголовнішими з яких для фармацевтичних пакувальних матеріалів є *механічні властивості наповнених полімерів* і *газопроникність* плівок із них.

Застосуванням наповнювачів різного хімічного складу (метали, мінерали, органічні матеріали природного та штучного походження) та фізичного стану (порошки, волокна тощо) в широкому діапазоні розмірів фракцій таких наповнювачів можна забезпечити будь-який перехід від властивостей ненаповненого полімеру до властивостей гранично наповнених, за яких відповідний виріб ще зберігає свою форму та здатність підтримувати фізично та хімічно ГЛЗ, який у ньому зберігається.

Це надає можливість ставити та розв'язувати завдання оптимізації складу наповнених полімерів для фармацевтичного застосування, цільовою функцією яких є ступінь забрудненості доквілля.

Такий підхід дає змогу обирати та застосовувати велику кількість варіантів складу наповнених полімерних упаковок залежно від конкретного ГЛЗ, а також форми

та хімічного складу останнього та умов зберігання. Розглянемо конкретний приклад.

Оптимізаційне завдання. Встановити за допомогою експерименту оптимальний склад фармацевтичної упаковки (блістера) з наповненого полімеру, яка забезпечує максимальний екологічний ефект.

Цільова функція – мінімізація вмісту полімеру за обмежень на міцність блістера та його проникність (негерметичність) для небажаних компонент із навколишнього середовища.

2. Дослідження міцності композиційних термопластичних полімерних плівок на розрив

Для отримання експериментальних значень міцності зразків плівки наповненого полімеру та дослідження залежності цієї міцності від складу композиційного матеріалу (за інших рівних умов) використовували прилад ТТ-1100. Це вимірювальний прилад, розроблений для випробування різних матеріалів, надає широкий діапазон можливостей, включно з вимірюванням міцності на розрив, подовження, напруження під час розтягування, відрив і липкість плівок.

Результати дослідження міцності плівок із наповненого поліетилену наведено на рис. 1.

Вони отримані за таких умов: склад і форма ГЛЗ – таблетований *норматенс*, який за наявної технології пакується в поліетиленові блістери по 20 таблеток в одному блістері, які після використання хворими, як правило, викидаються.

На першому етапі дослідження було експериментально встановлено, як поліетилен високого тиску, межа міцності під час розриву плівки товщиною 0,03 см, з якого не менше 113–137 Па, втрачає цю міцність під час додавання наповнювача з меленого плавленого кварцу фракції 0,01 см (рис. 1). Як видно з рис. 1, додавання до поліетилену навіть незначної

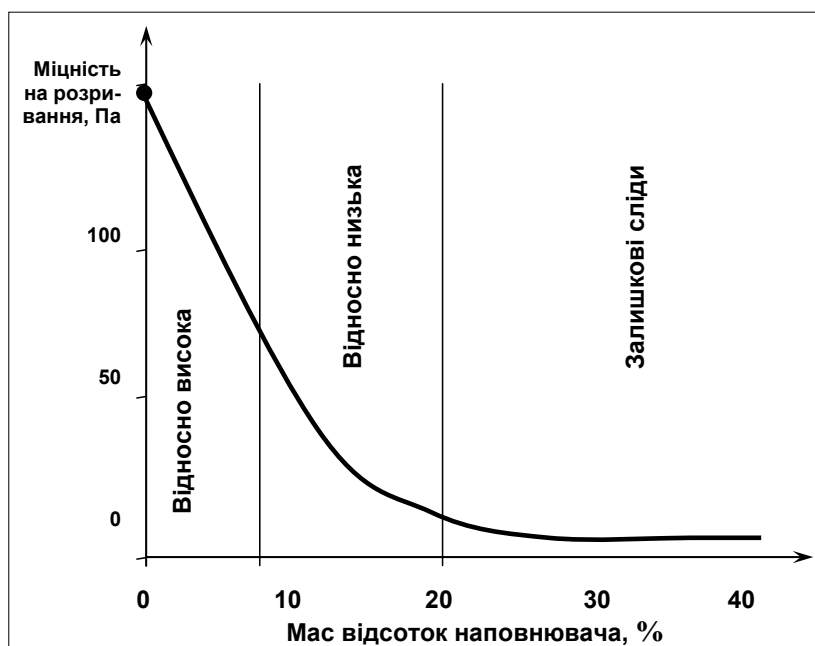


Рис. 1. Залежність міцності композиційної поліетиленової плівки від масового відсотка наповнювача

частки наповнювача швидко призводить до втрати міцності упаковки (уже 8 % наповнювача зменшують початкову міцність удвічі, а за відсотка, який становить 20 і більше, міцність армованого таким чином поліетилену практично падає до вельми низьких значень), що унеможливило використання наповненого поліетилену як екологічного матеріалу для виготовлення фармацевтичних блістерів.

Тому в роботі було запропоновано використання для таких потреб іншого полімеру – термореактивної фенолформальдегідної смоли [15]. Її міцнісні характеристики набагато вищі, наприклад, у ливарному виробництві, де всього 5% цього полімеру виявляються достатніми для механічної підтримки піщаної форми за ударного навантаження та нагріву під час заливання.

Результати дослідження міцності плівок із наповненого фенолформальдегіду наведено на рис. 2 (крива 1).

Вони отримані під час випробування плівки з бакеліту із відповідним відсотком наповнювача: під час додавання наповнювача з меленого плавляного кварцу фракції 0,01 см.

3. Газопроникність наповненого полімеру ($M^4/(H \cdot c)$) – це його здатність пропускати крізь себе задану кількість газів під стандартним тиском.

Вимірювання газопроникності виконували на оригінальному приладі. Під час його створення за основу було взято стандартний прилад для вимірювання газопроникності матеріалів піщаних ливарних форм [16].

Результати дослідження газопроникності плівок із наповненого поліетилену також наведено на рис. 2 (крива 2).

Суміщаючи на цьому рисунку дві криві – 1 та 2, отримуємо можливість когнітивно обрати оптималь-

ний склад упаковки. Зокрема, для нашого прикладу це 20 ± 5 % смоли, інше – наповнювач.

Головні висновки.

1. Для забезпечення якості ЛЗ за міжнародними стандартами потрібно використовувати матеріали, дозволені до застосування під час виробництва первинної упаковки для фармацевтичних препаратів і продуктів харчової промисловості, які відповідають вимогам Європейських директив та FDA, проводити вивчення стабільності ГЛЗ в обраній упаковці з урахуванням регуляторних вимог.

2. Запропоновано заміну суцільного матеріалу для виготовлення полімерних упаковок різного призначення на наповнені полімери, що суттєво (до 20 разів) зменшує екологічне навантаження на довкілля. Експериментально встановлено, що така пропозиція не підходить до поліетиленових упаковок, оскільки вони швидко втрачають свої фізико-хімічні властивості під час додавання наповнювача.

3. Запропоновано перехід від термопластичного полімеру типу поліетилену до термореактивного типу бакеліту, який завдяки підвищеним механічним властивостям забезпечує необхідну стійкість упаковок за екологічно низького вмісту в останніх.

4. Наведено приклад розв'язання завдання оптимізації складу фармацевтичної упаковки для ГЛЗ «Норматенс».

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані в будь-яких галузях, де застосовуються великі об'єми поліетиленових виробів і пакувань (хімічна промисловість, фармакологія, роздрібна торгівля тощо), які в підсумку викидаються та суттєво забруднюють довкілля.

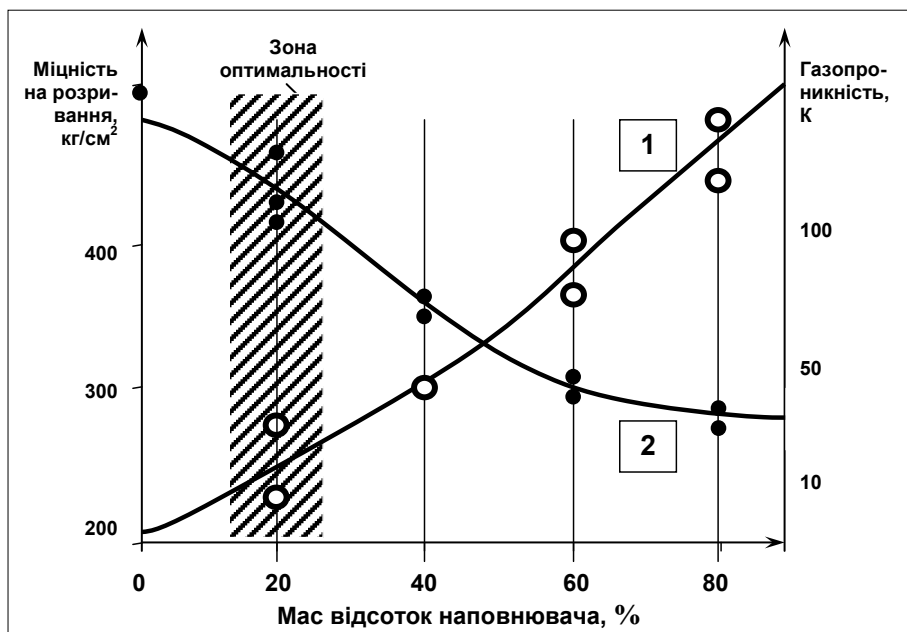


Рис. 2. Залежність міцності (1) та газопроникності (2) композиційної фенолформальдегідної плівки від масового відсотка наповнювача

Література

1. How harmful is Plastic for Humans and Nature? URL: <https://h2oplus.co/2017/02/23/how-harmful-is-plastic-for-humans-and-nature> (дата звернення: 10.12.2019).
2. Гридасов В.І., Оридорога Л.М., Винник О.В. та ін. Лікарські засоби і готові лікарські форми. Організація зберігання фармацевтичних товарів на аптечних складах і в аптечних умовах. Харків, 1999. 72 с.
3. Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Kopeć M. Degradation of Polyethylene and iocomponent-Derived Polymer Materials. *Journal of Polymers and the Environment*. 2019. Vol. 27. P. 600–611.
4. Становська І.І., Кошуляк С.В. Управління проектами будівництва шляхом оптимізації процесів постачання небезпечних вантажів. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. 2018. № 1 (20). Т. 2. С. 121–125.
5. Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ). *Молодой учёный*. 2013. № 5. С. 123–125.
6. Адаменко Н.А., Фетисов А.Ф., Агафонова Г.В. Конструкционные полимерные композиты. Волгоград : ВГТУ, 2010. 99 с.
7. Барашков Н.Н. Полимерные композиты: получение, свойства, применение. Москва : Наука, 1984. 128 с.
8. Гридасов В.І., Винник О.В., Оридорога Л.М. Фармацевтичне товарознавство. Харків, 2002. 171 с.
9. Дем'яненко В.Г., Афанасьєва В.А., Проскочило А.В., Бреусова С.В. Медичне та фармацевтичне товарознавство. Київ : ВСВ – Медицина, 2010. 296 с.
10. Гигиенические нормативы ГН 2.3.3.972-00 «2.3.3. Тара, посуда, упаковка, оборудование и другие виды продукции, контактирующие с пищевыми продуктами. Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами».
11. Спорягін Е.О., Варлан К.С. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів. Дніпропетровськ : Вид-во ДНУ, 2012. 188 с.
12. Optimization of Polymer Nanocomposite Properties. Edited by Vikos Mittol © 2010 WILEY VCH VerlagGmbH & Co. KGaA, Weinheim.
13. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов. Москва, 2010. 99 с.
14. Ершова О.В., Муллина Э.Р., Чупрова Л.В., Мишурина О.А., Бодьян Л.А. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала. *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12. С. 487–492.
15. Фенол-альдегидные смолы. Москва : Большая российская энциклопедия, 2000. Кн. 2. С. 16–63.
16. Оборский Г.А., Становский А.Л., Прокопович И.В., Духанина М.А. Выбор метрологического обеспечения управления сложными объектами литейного производства с трудноизмеримыми параметрами. *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*. Харьков, 2014. № 6/3 (72). С. 41–47.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ

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

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

²Державна космічне агентство України
вул. Московська, 8, 01010, м. Київ
yd@nkau.gov.ua, mashkov_oleg_52@ukr.net

Наукові дослідження присвячені формалізації проблем екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля. Запропоновано системний підхід до вирішення екологічних проблем в авіації, які пов'язані з факторами несприятливого впливу авіації на навколишнє середовище. Надано характеристику викидів забруднюючих речовин в атмосферу повітряних суден, які здійснюють польоти в Україні. Зроблено формалізацію проблеми техногенного впливу авіаційної техніки на навколишнє середовище. Завдання забезпечення необхідного рівня екологічної безпеки повітряного середовища розглядається як одна з найважливіших задач національної безпеки. У якості проблем побудови сучасної системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою повітряного середовища можливо визначити наступні: проблема аналізу екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля; проблема розробки науково-методичного апарату визначення забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів; проблема оцінювання властивостей забруднюючих речовин газотурбінних двигунів літаків та інших мобільних техногенних об'єктів та їх вплив на стан довкілля; проблема прогнозування стану та оцінювання параметрів навколишнього середовища при впливі газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів та розробка науково-практичних рекомендацій щодо їх застосування. Визначається, що системний підхід щодо вирішення екологічних проблем при використанні авіаційної техніки передбачає застосування системи управління екологічною безпекою. Ця система має наступні складові: об'єкт управління, інформаційна підсистема, формувач управління (суб'єкт управління), виконавча підсистема. Для кожної з цих підсистем формалізовані функціональні завдання. Практична значимість запропонованого науково-методичного апарату полягає в тому, з'являється можливість забезпечити функціонування системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою повітряного середовища регіону. *Ключові слова:* авіаційна техніка, аеродром, авіаційний транспорт, викиди, емісія двигунів, екологічна безпека, забруднення, системний підхід, шум двигунів.

System approach to evaluation of environmental impact of aviation technology on the environment. Bondar O., Mashkov O., Mikheev V.

Scientific researches are devoted to formalization of problems of environmental impact of aviation technology on the state of the environment. A systematic approach to solving environmental problems in aviation, which is related to the factors of adverse effect of aviation on the environment, is proposed. Emissions of pollutants into the atmosphere of aircraft operating in Ukraine are given. The formalization of the problem of technogenic impact of aviation technology on the environment is made. The task of ensuring the necessary level of environmental safety is considered as one of the most important national security tasks. The problems of building a modern decision support system for managing environmental safety of the air environment are the following: the problem of analysis of the ecological status and the directions of the impact of gas turbine engines of mobile technogenic objects on the environment; the problem of developing a scientific and methodological apparatus for determining the pollutants of gas turbine engines of mobile technogenic objects; the problem of assessing the pollutant properties of gas turbine engines for aircraft and other mobile technogenic objects and their impact on the environment; the problem of forecasting the state and estimation of environmental parameters under the influence of gas turbine engines of mobile technogenic objects and developing scientific and practical recommendations for their application. It is determined that a systematic approach to solving environmental problems with the use of aviation technology involves the application of an environmental safety management system. This system has the following components: control entity, information subsystem, control generator (control entity), executive subsystem. Functional tasks are formalized for each of these subsystems. The practical significance of the proposed scientific and methodological apparatus lies in the fact that it is possible to ensure that the decision support system operates in managing the environmental safety of the region's air environment. *Key words:* aviation engineering, airfield, aviation transport, emissions, engine emissions, environmental safety, pollution, systematic approach, engine noise.

Постановка проблеми

Відомо, що одним з джерел забруднення атмосфери є транспорт. Сьогодні авіація істотно (приблизно в 15 разів) поступається автомобільному транспорту за кількістю що викидаються в повітря

забруднюючих речовин, однак вона щодня впливає на екологію верхньої тропосфери і нижньої стратосфери. На відміну від інших видів транспорту авіація впливає на якість повітря в локальному, регіональному і глобальному відношенні

[1; 2] і. При цьому вплив авіації на атмосферу можна розділити на акустичний та хімічний. Ще у 1972 році в Стокгольмі на Конференції Організації Об'єднаних Націй з проблем навколишнього середовища позиція Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) була викладена наступним чином: «Виконуючи свою роль, ІКАО усвідомлює шкідливий вплив на навколишнє середовище, яке може бути пов'язане з експлуатацією повітряних суден, а також свої обов'язки і обов'язок держав-членів ІКАО досягти максимальної сумісності між безпечним і планомірним розвитком цивільної авіації і якістю навколишнього середовища» [3].

Дотримуючись цієї позиції, в 1983 році був створений САЕР (Committee on Aviation Environmental Protection) – технічний комітет Ради ІКАО щодо захисту навколишнього середовища від впливу авіації. Комітет допомагає Раді формулювати політику і приймати нові регламентуючі документи ІКАО – «Стандарти та Рекомендована Практика» (SARPs), пов'язані з авіаційним шумом, емісіями авіаційних двигунів і більш загальним впливом авіації на навколишнє середовище. В основному ці документи оформлені у вигляді Додатку 16 «Охорона навколишнього середовища» Конвенції про міжнародну цивільну авіацію [3; 4].

Екологічні проблеми в авіації пов'язані з факторами несприятливого впливу авіації на навколишнє середовище. Вирішення цих проблем ґрунтується на існуючій структурі міжнародної системи охорони навколишнього середовища від несприятливого впливу авіації.

Результати проведеного аналізу свідчать, що повітряні судна цивільної та військової авіації негативно впливають на екологічну обстановку аеродромних і приаеродромній території. Результатом впливу авіації на навколишнє середовище є забруднення атмосфери продуктами згоряння авіаційного, автомобільного та інших видів палива, забруднення ґрунтів і підземних вод паливно-мастильними матеріалами (аварійні сливи палива з літаків, протоки під час заправки та ін.), Шумове забруднення і ряд інших чинників.

Викиди від авіації відбуваються через використання палива для реактивних двигунів (гасу) і авіаційного бензину (для поршневих двигунів), які використовуються в якості палива для повітряних суден. При цьому основними забруднюючими речовинами є ті, які виникають в результаті спалювання (CO, CO₂, вуглеводні і оксиди азоту, а також викиди SO₂, які залежать від рівня сірки в паливі). Іншими шкідливими речовинами, які виділяються у відносно невеликих концентраціях, є N₂O і CH₄.

У теперішній час розглядаються питання про техногенному впливі на навколишнє середовище і здоров'я людей авіаційної техніки (літальних апаратів, засобів наземного обслуговування та ін.) аеродромів, дислокованих на території України.

Аналіз публікацій за проблематикою та визначення невіршених раніше частин загальної проблеми

Вирішенню питань забруднення атмосфери двигунами літальних апаратів присвячені роботи Борисова Н.І., Жестовської Ю.М., Іванова В.І., Цунко Н.І.

У працях таких вчених, як Азаров С.І., Аверін Г.В., Белявській Г.О., Бондар О.І., Бугор А.Н., Бусігін Б.С., Ващенко В.М., Ємець М.А., Лялько В.І., Машков О.А., Мокін В.Б., Петрук В.Г., Попов М.О., Рудько Г.І., Соколов Ю.М., Тараріко О.Г., Федоровський О.Д., Фролов В.Ф., Чумаченко С.М., Шапар А.Г., Шмандій В.М., Шматков Г.Г., і інших сформульовані основні принципи побудови і функціонування екологозалежних систем підтримки прийняття рішень. Однак в даний час ці системи не в повній мірі відповідають вимогам практики.

Проведений аналіз свідчить, що, ступінь розробки тематики досліджень у відповідній предметній галузі знаходиться на недостатньо високому рівні. В першу чергу це пов'язано з відсутністю в більшості регіонів України ефективної технології моніторингу повітряного середовища, орієнтованої лише на побудову мережі різних приладів та датчиків. Інформація від цих датчиків передається особі, що приймає рішення, яка, в рамках інтуїтивно-емпіричного підходу робить суб'єктивне висновок про вплив різних природно-господарських систем на екологічний стан досліджуваної території.

Мета статті – формалізація проблем екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля.

Результати дослідження

Для захисту навколишнього середовища Міжнародною організацією цивільної авіації (ІКАО) введені обмеження на шум літаків і емісію (викиди) шкідливих речовин від авіаційних двигунів. Міжнародні стандарти по екології цивільних літаків існують у вигляді томи I «Авіаційний шум» і томи II «Емісія авіаційних двигунів» Додатки 16 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію.

Відомо, що авіаційний шум – найважливіший фактор негативного ставлення до авіації населення на територіях, що є сусідами з аеропортом. Під його вплив потрапляє порівняно велике число людей, що проживають в околицях, а також працівники аеропорту і пасажери. Авіаційний шум негативно впливає на здоров'я людей (найчастіше це погіршення слуху, стресові стани, проблеми, пов'язані з концентрацією уваги).

Політика ІКАО з проблеми авіаційного шуму передбачає розвиток заходів щодо пом'якшення акустичного забруднення: впровадження технологій скорочення шуму, наземне планування (наприклад, заборони на польоти в нічний час), жорсткість стандартів по шуму для існуючого парку літаків і розробку стандартів для нових моделей повітряних суден (ПС).

В даний час розробляються принципово нові конструкції ПС і концепції двигунів [5]. Виробники літаків прагнуть до того, щоб їх продукція відповідала найвищим вимогам екологічних стандартів. Стандарти і рекомендована практика щодо авіаційного шуму викладені в першому томі Додатки 16 [4]. Тут сформульовані допустимі рівні шуму і методика їх вимірювання для ПС різних категорій (враховується рік випуску, кількість двигунів і їх тип, значення максимальної сертифікованої злітної маси ПС).

Для розвитку технологій зниження шуму Група незалежних експертів, (створена САЕР), сформулювала середньострокові (до 2020 року) і довгострокові (до 2030 року) технологічні параметри. Вони являють собою стандарти, які в 2030 році будуть обов'язковими для повітряних суден. Ці параметри показані у вигляді значень зниження рівнів шуму щодо граничних параметрів номінальної і максимальної злітної маси [6]. Рівень шуму вимірюється в одиницях EPN – ефективно сприймаємий рівень шумів в децибелах. З огляду на, що в 2014 році [4] ці рівні, в залежності від типу ВС, становили 89–106 EPN, стає очевидним, наскільки радикально ІКАО збирається боротися з акустичним забрудненням атмосфери.

Нормованим параметром авіаційного шуму літаків є максимальне значення EPN – ефективного рівня сприйманого шуму в дБ (децибелах), що визначається за вимірюваннями шуму при зльоті, наборі висоти і посадці літака. Норми на авіаційний шум дозвукових реактивних літаків, заявка на сертифікацію яких прийнята до 6 жовтня 1977 року (з деякими винятками), вказані в Главі 2 і більш жорсткі норми – в Главі 3 томи 1 Додатка 16 (якщо заявка на сертифікацію прийнята після 6 жовтня 1977 р.).

Якість повітря в аеропортах. Інтерес до забруднення повітря в аеропортах почав зростати з початку 1970-х років, коли різко активізувалися комерційні перевезення з використанням турбогвинтових літаків. Хімічне забруднення повітря в аеропортах представлено такими авіаційними емісіями як оксиди вуглецю (CO , CO_2), азоту (NO_x), сірки (SO_x), вуглеводнями (НС) і зваженими частинками, що утворюються в результаті роботи двигунів і спалювання авіаційного палива. Джерела емісій, які пов'язані з авіацією, здатні поширюватися і приводити до погіршення якості повітря в прилеглих населених пунктах. Ці емісії представляють потенційний ризик здоров'ю людей і навколишньому середовищу, оскільки можуть викликати збільшення концентрації приземного озону, приводити до випадання кислотних дощів.

Національні та міжнародні програми моніторингу якості повітря постійно вимагають від уповноважених авіаційних і урядових організацій проводити контроль якості повітря поблизу аеропортів. Особливу увагу також приділяється впливу авіації на навколишнє середу, на якість води, створенню відхо-

дів, і впливу на локальну екологію поблизу аеропортів (особливо актуально запобігання витоків палива).

За останні кілька десятиліть були досягнуті значні успіхи в питанні скорочення емісій в зв'язку з підвищенням екологічності авіаційних палив (часткову заміну гасу на скраплений природний газ або біопаливо) і технічними удосконаленнями авіаційних двигунів (збільшенням їх тягової ефективності та зменшення споживання палива).

Методи оцінки емісій авіаційних двигунів в аеропорту, засновані на врахуванні трьох параметрів.

Перший параметр – тривалість у хвилинах, яку ПС витрачає на встановлення одного з режимів злітно-посадкового циклу: при роботі двигуна на режимі малого газу, при Западе на посадку, при наборі висоти та зльоті.

Другий параметр – індекс емісії EI (маса речовини, що виділяється при згорянні одиниці маси палива) і третій – витрата палива.

Сьогодні в цілях сертифікації двигунів повітряних суден здійснюється нормування наступних видів емісії: диму, незгорілих вуглеводнів (НС); окису вуглецю (CO); оксидів азоту (NO_x).

Створений ІКАО банк даних про емісії двигунів (EEDB – ICAO Engine Emission Bank) містить інформацію про значеннях EI для сертифікованих двигунів (в грамах забруднювача на кілограм палива для NO_x , CO та НС), а також про витрату особливих видів палива (в кілограмах в секунду) для різних режимів роботи різних типів двигунів. Крім того, тут вказується число димності – безрозмірний параметр, який обчислюється за 10-бальною шкалою і характеризує емісію диму як «непрозорість» вихлопної струменя.

Спалювання основної частини авіаційного палива відбувається не в приземному шарі поблизу аеропортів, а в більш високих шарах атмосфери. Фахівці вважають, що щорічно зростаюча емісія вуглекислого газу, води і метану двигунами комерційних літаків змінює хімічний і радіаційний баланс атмосфери [7–9], що поряд з емісією сажових сульфатних аерозолів може впливати на клімат.

Особливе значення мають такі компоненти, як двоокис вуглецю і оксиди азоту. Оксиди азоту беруть участь в хімії озону. Його збільшення може призводити до нагрівання верхньої тропосфери та збільшення кількості гідроксильних радикалів, основного атмосферного окислювача. Збільшення кількості гідроксильних радикалів призводить до зменшення часу життя метану CH_4 . Результатом цього може стати охолодження, і навіть скорочення тропосферного озону [7]. Оксиди сірки і сажа призводять до утворення аерозолів. Аерозолі і їх попередники (сажа та сульфати) збільшують хмарність в формі конденсаційних слідів і перистих хмар.

Залежно від стану навколишньої атмосфери ці сліди можуть існувати іноді кілька хвилин, а іноді – годин. Вони розтікають в ширину на кілька кілометрів і нагадують перисті чи високо хмари.

Також вельми значний вплив на радіаційний баланс слід очікувати в результаті викидів частинок сажі – твердотільних продуктів неповного згоряння палива, які грають роль ядер конденсації [10].

У верхній тропосфері сажові аерозолі мають розмір 0,1–0,5 мкм і складаються з агломератів первинних частинок з діаметром 20–40 нм. Їх середня концентрація змінюється в межах від 0,004 до 0,5 см³. Раніше при оцінках кліматичних наслідків емісії сажових аерозолів основна увага приділялася зміні складу атмосфери, обумовленого протіканням гетерогенних хімічних реакцій на поверхні часток саж. Однак помітного впливу емісії цих частинок на газовий склад атмосфери до сих пір не виявлено [11; 12].

У теперішній час вважається, що вплив емісії часток саж на клімат обумовлено формуванням довгоживучих конденсаційних слідів (прямий ефект) і ініціюванням утворення перистих хмар (вторинний ефект) [11]. Радіаційний ефект від таких хмар оцінити вкрай важко.

Особливу увагу серед продуктів спалювання авіаційного палива займають парникові гази, чий емісії можуть вносити вклад в процес глобального потепління. Для їх зменшення у авіакомпаній є, по суті, всього дві можливості.

Перша – збільшення зростання паливної ефективності (тобто питомої витрати палива).

Друга – використання альтернативних палив: синтетичного пального з кам'яного вугілля, природного газу або біомаси. Природне паливо не містить сірки і ароматичні вуглеводні, що значно скорочує емісії летких аерозолів і хмарних ядер конденсації, послаблюючи таким чином вплив на радіаційний баланс.

Крім того, дослідження визначили, що застосування палива, очищеного від сірки, призводить до значного екологічного «оздоровлення» тропосфери з точки зору концентрацій озону, сульфатів і нітратів.

Фахівці попереджають, що повний перехід на біопаливо загрожує поступовим знищенням тропічних лісів і подорожчанням продуктів харчування. Крім того, при його застосуванні в довгостроковій перспективі не доведений ефект зниження викидів CO₂. Проте біопаливо для потреб авіації вже проводиться в США, Великобританії, Німеччині, Франції, Фінляндії (<https://www.aviaport.ru/news/2012/07/27/238185.html>). До 2020 року Китай, який налагодив виробництво палива з пальмового масла, також має намір довести частку біопалива до однієї третини від усього використовуваного авіацією пального [13].

В останні роки в ряді країн, які борються за екологію, відбувається активна заміна традиційного авіаційного гасу на криогенне паливо (водень, зріджений природний газ). При його використанні літак стає більш економічним (витрата палива зменшується), викиди CO₂ в атмосферу знижуються. Авіаційні емісії діоксиду вуглецю складають, за різними оцінками,

від 2 до 2,5% від загальної кількості антропогенних викидів CO₂ в атмосферу. При спалюванні 1 кг авіаційного гасу виділяється 3,16 кг CO₂. Передбачається, що до 2040 року при оптимістичному прогнозі, пов'язаному з поліпшенням технологій паливної ефективності, кількість авіаційних емісій CO₂ може досягти майже півтори тисячі мегатон в рік.

З 2016 року CAEP рекомендував два нові стандарти: щодо емісій діоксиду вуглецю і нелетких зважених часток. Рекомендований стандарт по CO₂, запропоновано для стимулювання більш ефективних технологій спалювання палива при виробництві літаків і аналогічний існуючим стандартам щодо емісій і авіаційному шуму [3; 4].

Стандарти будуть застосовуватися до моделей нового типу дозвукових і турбогвинтових літаків, які будуть вводитися в експлуатацію з 2020 року, а до вже існуючим – з 2023 г. Якщо експлуатовані моделі, які не відповідають вимогам по стандартам CO₂, не зможуть бути модифіковані належним чином до 2028 р., то після цього терміну вони не зможуть використовуватися.

Регулювання емісій буде проводитися за допомогою запропонованої Глобальної системи ринкових заходів. Перевищення квот емісії (за базовий рівень передбачається прийняти емісії 2019–2020 рр.) буде обкладатися значним штрафом, який піде на відновлення навколишнього середовища і компенсаційні заходи.

Такий підхід до квотування емісій не новий, він застосовувався в країнах Євросоюзу з початку 2000-х років [14]. Наприклад, в квітні 2014 року Німеччина виставила штрафів за перевищення емісійних квот на 2,7 млн. євро 61 авіакомпанії з Росії та ін. Країн, 44 з яких базувалися поза європейської території [15]. Нові стандарти щодо емісій CO₂ викладені в новому третьому томі до Додатка 16 «Охорона навколишнього середовища».

Рекомендовані стандарти для нелетких зважених часток (non-volatile particulate matter – nvPM) будуть застосовуватися до двигунів, виготовлених з 1 січня 2020 року. Повний опис процедури сертифікації для вимірювання nvPM, а також обмеження для їх масових концентрацій будуть включені у вигляді окремої глави в другій тому Додатки 16 «Емісія авіаційних двигунів».

В даний час ІКАО нормує емісію незгорілих вуглеводнів (HC), оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x) і диму від турбореактивних і турбовентиляторних двигунів цивільних літаків в зоні аеропортів, а також забороняє навмисний викид палива після зупинки двигуна. Вимоги міжнародного стандарту для дозвукової авіації поширюються по диму на двигуни, виготовлені після 1982 року, по газоподібних речовин – на двигуни з тягою більше 26,7 кН, виготовлені після 1985 р.

ІКАО приступила до розробки штрафних санкцій за емісію авіадвигунів на кілька років пізніше в порівнянні з санкціями за авіаційний шум.

Найближчим часом буде створена система обмежень і заборон на експлуатацію авіаційних двигунів, що перевищують норми на емісію, аналогічна системі по шуму.

Літальні апарати є потужним джерелом забруднення повітряного середовища газоподібними речовинами. У порівнянні з забрудненням, внесеним в навколишнє середовище наземним транспортом, частка від двигунів повітряних суден невисока, проте питомі викиди, наведені одного літального апарата, на порядки вище ніж від двигунів внутрішнього згорання.

Характеристика викидів забруднюючих речовин в атмосферу повітряних суден, які здійснюють польоти в Україні наведена в таблиці.

З початку 2020 року введено обмеження на викиди шкідливих речовини, а до 2050 року планується скоротити викиди вуглекислого газу на 50% в порівнянні з показниками 2005 року. Крім того, Європейська комісія наполягає на тому, щоб з 2020 року в авіаційній галузі використовувалося близько 4% палива, отриманого з біологічних джерел. Сьогодні в якості екологічно чистого палива розглядається водневе паливо, яке при згоранні виділяє воду і незначний обсяг оксидів азоту [16–19].

Формалізація проблеми техногенного впливу авіаційної техніки на навколишнє середовище.

Завдання забезпечення необхідного рівня екологічної безпеки повітряного середовища є однією з найважливіших задач національної безпеки. Техногенна діяльність, зокрема, обумовлює викиди забруднюючих речовин в атмосферу, які на сучасному етапі досягли в ряді регіонів критичних значень. При цьому в останні роки негативний вплив антропогенних чинників на повітряне середовище виявилось порівняним з екологічною кризою і екологічною небезпекою.

Літальні апарати є потужним джерелом забруднення повітряного середовища газоподібними речовинами і в місцях зосередження на аеродромах і стартових майданчиках можна порівняти за потужністю викидів з роботою великих промислових підприємств. У порівнянні з забрудненням, внесеним в навколишнє середовище наземним транспортом, частка від двигунів повітряних суден невисока, проте питомі викиди, наведені одним літальним апаратом, на порядки вище ніж від двигунів внутрішнього згорання.

Моніторинг навколишнього середовища приаеродромної території вимагає значних витрат, тому прогнозування забруднення повітряного середовища двигунами літальних апаратів на основі аналітичних залежностей є актуальним завданням. Крім того, до теперішнього часу не вирішена проблема акустичного впливу повітряних суден на персонал аеродромів та населення приаеродромної території.

Аналіз результатів, отриманих в процесі численних екологічних досліджень повітряного середовища різних регіонів, вказує на необхідність розробки і проведення комплексу заходів щодо підвищення ефективності функціонування системи екологічної безпеки. При цьому особливої уваги потребують завдання зменшення негативного впливу на повітряне середовище антропогенних факторів. Обумовлено це тим, що саме діяльність людини в окремих випадках надає руйнівний вплив на екологічні системи, що при відповідному збігу обставин може створити катастрофічну ситуацію. Недопущення такого розвитку подій вимагає побудови і організації ефективного функціонування системи підтримки прийняття рішень (СППР) щодо екологічної безпеки повітряного середовища регіону. Ця система повинна надавати набір обґрунтованих рекомендацій по системним випереджувальним заходам, спрямованим на недопущення розвитку надзвичайних ситуацій за рахунок дотримання розумного компромісу між економіко-технічними та екологічними аспектами розвитку регіону.

Актуальність вирішення завдання забезпечення належної екологічної безпеки повітряного середовища обумовлена і розмірами територій, схильних до негативного впливу антропогенних факторів. Так, наприклад, циркуляція атмосферного повітря, що забезпечує перенесення хімічних сполук, що надходять від окремих джерел забруднення, призводить до погіршення екологічної ситуації в масштабах цілих регіонів.

Тому перший аспект управління екологічною безпекою повітряного середовища регіону полягає в тому, що завдання екологічної безпеки повітряного середовища повинні вирішуватися комплексно на територіях, межі яких знаходяться на значній відстані від розглянутих аеродромів.

В даний час також розглядаються питання щодо техногенного впливу на навколишнє середовище і здоров'я людей авіаційної техніки (літальних апаратів,

Таблиця 1

Тип повітряного судна	Викиди CO	Викиди CH ₄	Викиди NO _x
Airbus-310	28,8	0,5	23,2
Boing-737(400)	11,8	0,1	8,3
Boing-777	61,4	2,3	53,6
Airbus-320	17,6	0,2	10,8
Douglas-81	6,5	0,2	12,3

засобів наземного обслуговування та ін.) в авіаційних військових частинах, дислокованих на території України. Так, до теперішнього часу не вирішена проблема акустичного впливу повітряних суден на персонал аеродромів та населення приаеродромної території.

Інженерно-екологічна оцінка навколишнього середовища в зоні розташування військового авіаційного містечка передбачає вирішення наступних завдань:

- аналіз джерел забруднення і розмірів техногенного навантаження на навколишнє середовище в районі аеродромів;

- визначення якісного і кількісного складу продуктів емісії авіаційних двигунів в процесі запуску, рулювання, зльоту і посадки; аналіз викидів в атмосферу від авіаремонтних заводів, складів пально-мастильних матеріалів і резервуарів для зберігання палива;

- визначення впливу на забруднення природного середовища допоміжного наземного обладнання та спецавтотранспорту;

- виявлення впливу метеорологічних умов і інтенсивності польотів на забруднення навколишнього середовища.

- встановлення рівнів авіаційних шумів і визначення акустичної обстановки в районі аеродромів.

Таким чином, можна виділити дві проблеми техногенного впливу авіаційної техніки на навколишнє середовище.

1. Емісія шкідливих продуктів при роботі авіаційних двигунів, аварійні сливи палива з літаків, акустичний вплив на прилеглі території та інші фактори.

Відчутний внесок у забруднення природного середовища вносять об'єкти наземного обслуговування авіації, спеціальний автотранспорт, ремонтні бази, резервуари зберігання авіаційного палива і склади пально-мастильних матеріалів, системи розливу і розподілу пального. Тому дослідження впливу авіаційної техніки на стан приземної атмосфери, гідросфери та ґрунт, а також акустичне забруднення території дуже актуальні.

2. Проблема захисту людей і природного середовища від шкідливого впливу авіаційної техніки є досить складною і повинна вирішуватися шляхом здійснення комплексу заходів з урахуванням технічних, фінансових та організаційних можливостей. Перед місцевими органами влади постає завдання раціональної організації цих територій з урахуванням їх екологічного стану.

Методологічною базою для створення системи екологічного управління при застосуванні авіаційної техніки є нормативні дані для цивільної авіації (Конвенція про міжнародну цивільну авіацію ІКАО), державні стандарти тощо.

У якості проблем побудови сучасної системи підтримки прийняття рішень при управлінні еколо-

гічною безпекою повітряного середовища можливо визначити наступні.

1. Проблема аналізу екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля.

Вирішення цієї проблеми передбачає виконання наступних заходів:

- визначення загроз впливу газотурбінних двигунів на стан навколишнього природного середовища;

- врахування властивостей газотурбінних двигунів авіаційної техніки для оцінювання стану довкілля;

- обґрунтування та визначення напрямків розвитку газотурбінних авіаційних двигунів;

2. Проблема розробки науково-методичного апарату визначення забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів.

Цю проблему може бути вирішено наступними заходами:

- визначення особливості впливу забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля;

- створення моделі взаємодії та визначення властивостей екологічних режимів роботи двигунів мобільних техногенних об'єктів на навколишнє природне середовище;

- удосконалення моделі впливу на стан довкілля забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів.

3. Проблема оцінювання властивостей забруднюючих речовин газотурбінних двигунів літаків та інших мобільних техногенних об'єктів та їх вплив на стан довкілля.

Вирішення цієї проблеми передбачає виконання наступних заходів:

- розробка науково-практичного підходу до визначення закономірностей впливу газотурбінних двигунів літаків та інших мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля;

- розробка науково-методичного апарату визначення індексу забруднення довкілля та оцінювання ризиків впливу газотурбінних двигунів на навколишнє середовище;

- розрахунки екологічних ризиків для оцінювання впливу забруднюючих речовин газотурбінних двигунів на стан довкілля.

4. Проблема прогнозування стану та оцінювання параметрів навколишнього середовища при впливі газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів та розробка науково-практичних рекомендацій щодо їх застосування.

Цю проблему може бути вирішено наступними заходами:

- синтез моделі розповсюдження забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів;

- прогнозування екологічних впливів на стан довкілля газотурбінних двигунів літаків та мобільних техногенних об'єктів;

– розробка науково-практичних рекомендацій щодо застосування екологічних режимів роботи газотурбінних двигунів.

Системний підхід щодо вирішення екологічних проблем при використанні авіаційної техніки

Складність і відкритість системи забезпечення екологічної безпеки призводить до того, що в окремих випадках її складові функціонують недостатньо ефективно.

Вихід з цього становища пропонується знайти шляхом розробки науково-методичного забезпечення системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою. Зазначений апарат повинен враховувати особливості моделювання процесів управління еколого-економічними системами, а також ґрунтуватися на результатах порівняльного аналізу даних про стан існуючих екосистем і систем управління екологічною безпекою (рис.1).

Важливо відзначити, що ефективне функціонування діючих екосистем в ряді випадків виявляється скрутним. При цьому моніторинг і управління екологічною безпекою не в повній мірі відповідають вимогам практики.

Тому сьогодні в якості шляхів розв'язання проблем, що виникають при впливі авіаційного транспорту на навколишнє середовище, доцільне визначити наступні:

- використання присадок до палива;
- зменшення числа працюючих двигунів при рулюванні;
- модернізація двигунів;
- розробка альтернативних видів палива;
- адміністративні заходи.

Системний підхід щодо вирішення екологічних проблем при використанні авіаційної техніки передбачає застосування системи управління екологічною безпекою. Ця система визначає наступні складові: об'єкт управління, інформаційна підсистема, формувач управління (суб'єкт управління), виконавча підсистема (рис.2).

А. Об'єкт екологічного управління.

У якості об'єкта управління розглядається екологічний стан авіаційної техніки та приаеродромної території.

Б. Інформаційна підсистема в системі екологічного управління.

Інформаційна підсистема в системі екологічного управління повинна виконувати наступні завдання.

Аналіз джерел забруднення та розмірів техногенного навантаження на навколишнє середовище в районі авіаційних частин.

Визначення якісного і кількісного складу продуктів емісії авіаційних двигунів в процесі запуску, рулювання, зльоту і посадки; аналіз викидів в атмосферу від авіаремонтних заводів, складів пально-мастильних матеріалів і резервуарів для зберігання палива.

Отримання аналітичних залежностей для визначення категорій джерел викидів і оцінки ступеня

впливу двигунів повітряних суден на забруднення атмосферного повітря.

Визначення впливу на забруднення природного середовища допоміжного наземного обладнання та спецавтотранспорту.

Виявлення впливу метеорологічних умов і інтенсивності польотів на забруднення навколишнього середовища;

Встановлення рівнів авіаційних шумів і оцінка акустичної обстановки в районі аеродромів.

Встановлення якісного складу і кількісних співвідношень продуктів вихлопів авіаційних двигунів, розрахунок значення емісії забруднюючих речовин від літальних апаратів в атмосферу авіамістечка.

Розробка методики розрахунку щодо визначення рівня забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції обслуговування повітряного судна.

Розрахунок полів концентрацій шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери при аеродромно-технічному забезпеченні польотів.

Визначення концентрацій шкідливих речовин в робочій зоні на технічній позиції обслуговування повітряних суден при роботі силових установок засобів аеродромно-технічного забезпечення і повітряних суден.

Розробка методик розрахунку концентрацій забруднюючих речовин над приаеродромної території в циклі «зліт-посадка» повітряних суден і визначення категорії джерел викидів.

Облік взаємного впливу джерел забруднюючих речовин, що дозволяє з високою точністю визначати поля концентрацій шкідливих речовин.

Розробка науково-методичного забезпечення локальної системи екологічного моніторингу атмосфери територіально-виробничого комплексу.

Побудова моделі ідентифікації промислового джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферу з урахуванням метеорологічних даних, що відрізняється застосуванням інформації про комплекс метеорологічних характеристик при визначенні умов розповсюдження і трансформації потоку забруднюючих речовин.

В. Формувач управління в системі екологічного управління.

Формувач управління в системі екологічного управління призначений для виконання наступних завдань.

Проведення комплексного аналізу впливу авіації та об'єктів її обслуговування на навколишнє середовище. Аналіз сучасних напрямків розвитку систем екологічної безпеки повітряного середовища регіону.

Побудова моделі системи підтримки прийняття рішень щодо забезпечення екологічної безпеки природно-господарських систем, що відрізняється адаптивністю управління до поточних змін еколого-економічних характеристик досліджуваних систем.

Розробка науково-методичного апарату підтримки прийняття рішень при забезпеченні екологічної безпеки регіону в умовах нечіткої вихідної інформації, що відрізняється адаптивністю цілей

і стратегій поведінки складових природно-господарської системи, що забезпечують необхідний рівень безпеки повітряного середовища регіону. Відмінною особливістю такого підходу є застосування апарату штучних нейронних мереж при налаштуванні параметрів системи в умовах, що змінюються еколого-економічних і метеорологічних умовах.

Проведення комплексних досліджень якості приземної атмосфери, водних ресурсів, ґрунтового покриву, акустичної обстановки в районі конкретної авіаційної частини військово-повітряних сил. Екологічне оцінювання впливу авіаційної частини на навколишнє середовище і здоров'я людини. Встановлення інтенсивності впливу на навколишнє середовище різних джерел техногенного навантаження в авіамістечку. Проведення класифікації джерел забруднення навколишнього середовища в авіаційній частині.

Прогноз просторового формування рівнів забруднення приземного шару атмосфери в зоні обслуговування повітряного судна.

Моделювання і прогнозування просторового забруднення навколишнього повітряного середовища приаеродромної території газоподібними викидами від двигунів повітряного транспорту, розробка та обґрунту-

вання математичної моделі просторового формування забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції обслуговування повітряного судна, створення методики розрахунку викидів забруднюючих речовин від засобів наземного забезпечення польотів.

Встановлення нових емпіричних залежностей для розрахунку забруднення повітря від працюючих двигунів літаків і засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів з урахуванням їх кількості, місця розташування і погодно-кліматичних умов.

Розробка методики прогнозування забруднення повітряного середовища від двигунів повітряних суден.

Розробка математичних моделей прогнозування забруднення повітряного середовища аеродромів, з урахуванням чинника розсіювання шкідливих речовин, що викидаються двигунами повітряних суден з метою визначення категорії джерел викидів і оцінки ступеня впливу двигунів повітряних суден на забруднення атмосферного повітря.

Формування емпіричних залежностей, що характеризують динаміку поширення шкідливих газоподібних речовин під час роботи засобів наземного забезпечення польотів і синтез алгоритму і методики розрахунку поля концентрації шкідливих речовин на майданчику обслуговування повітряного судна.

Отримання аналітичних залежностей для розрахунку необхідної витрати повітря в режимі «зліт-посадка», що знижує концентрації забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери до гранично допустимого рівня.

Розробка математичної моделі прогнозування рівнів забруднення навколишнього середовища від двигунів літальних апаратів, що відрізняється від застосовуваних використанням при розрахунку фактору розсіювання шкідливих речовин.

Розробка математичної моделі забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції обслуговування повітряного судна під час аеродромно-технічного забезпечення польотів, що враховує дифузійне розсіювання продуктів згоряння авіаційного та автомобільного палива і нес-тационарність джерела.

Отримання інженерної методики для розрахунку емісії продуктів згоряння палива до різних режимів роботи засобів аеродромно-технічного забезпечення під час забезпечення польотів і кліматичних умов.

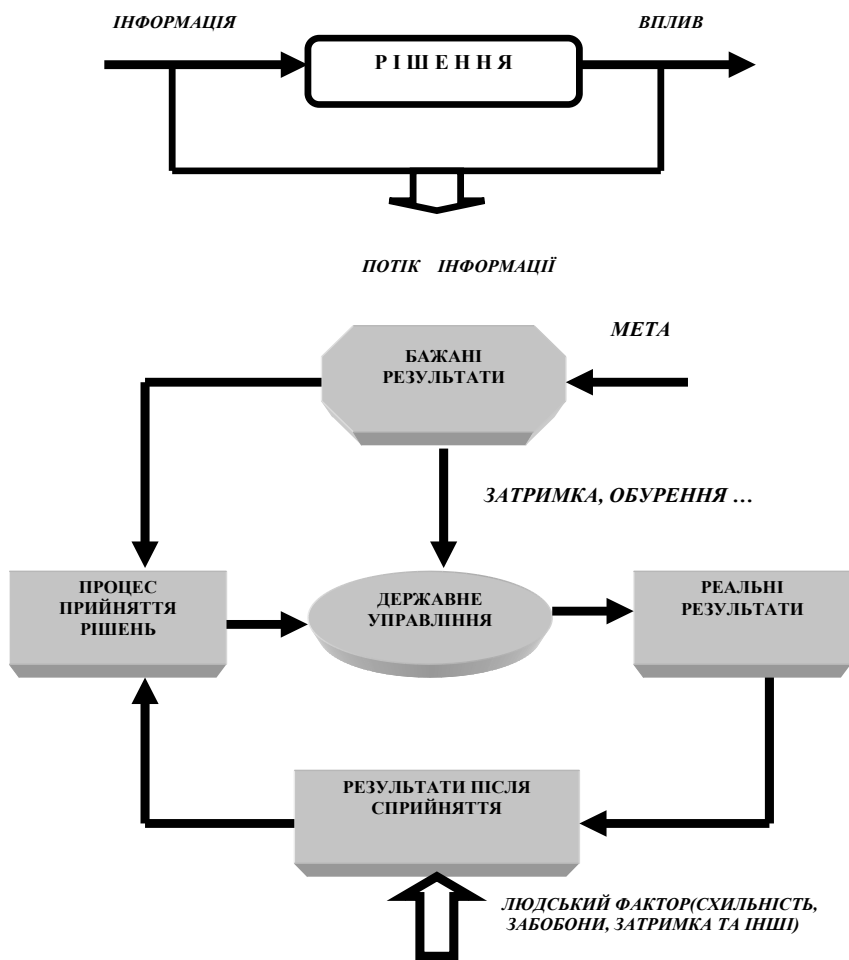


Рис. 1. Структура системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою

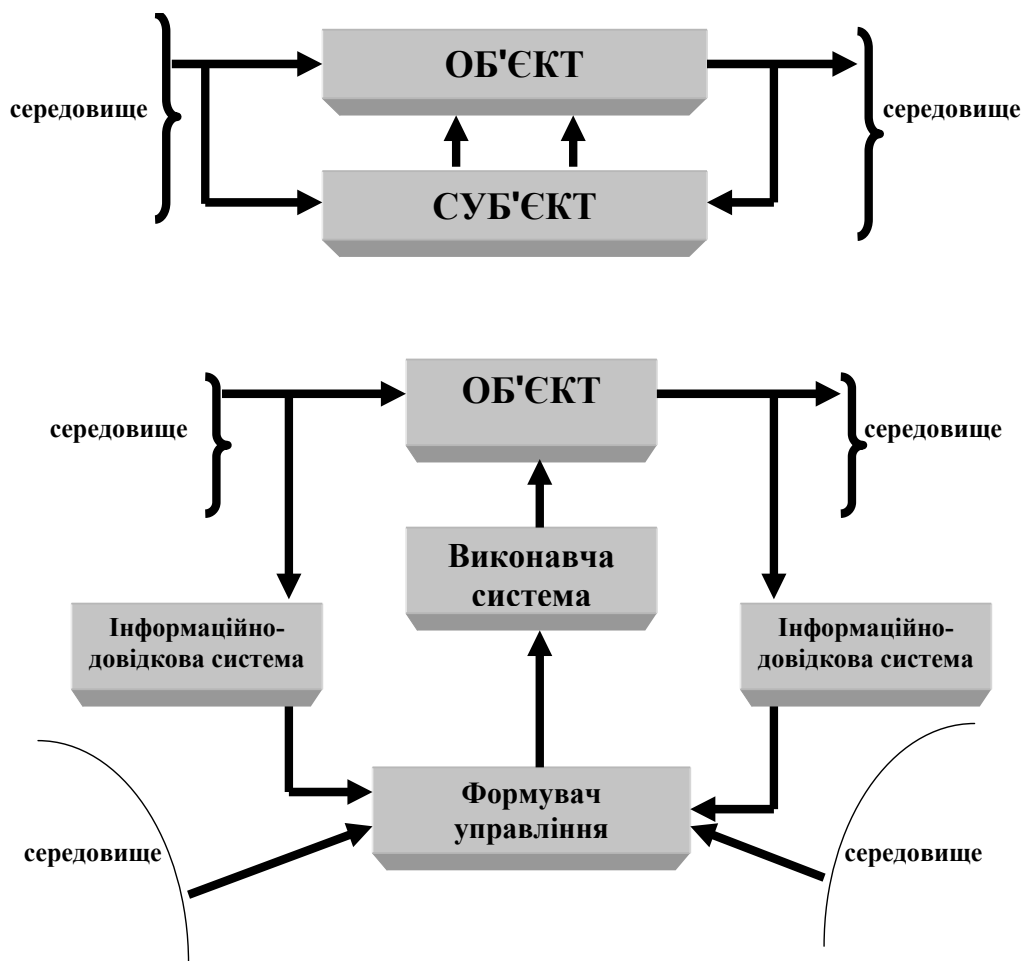


Рис. 2. Структура системи управління екологічної безпекою

Розробка математичної моделі комплексної оцінки забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції обслуговування повітряного судна.

Розробка залежності для розрахунку викидів шкідливих газоподібних речовин в атмосферу при експлуатації засобів наземного забезпечення польотів.

Розробка алгоритму розрахунку поля концентрації шкідливих речовин на майданчику обслуговування повітряного судна.

Г. Виконавча підсистема в системі екологічного управління.

Виконавча підсистема в системі екологічного управління призначена для виконання наступних завдань.

Постановка і проведення експерименту по апробації та аналізу отриманих наукових результатів.

Розробка заходів щодо зниження шкідливого впливу газоподібних викидів і генерується шуму від літальних апаратів на навколишнє середовище приаеродромної території.

Формування пропозицій щодо здійснення екологічного моніторингу навколишнього повітряного середовища приаеродромної території.

Формування пропозицій заходи щодо зниження шкідливого впливу шумів літальних апаратів на

навколишнє природне середовище приаеродромної території; а також рекомендацій щодо дотримання мінімальних відстаней від зони посадки і зльоту повітряних суден до будівель поза територією аеродромів, рекомендацій щодо застосування шумозахисних конструкцій будівель і споруд.

Розробка методики експериментальних досліджень рівня забруднення навколишнього середовища, що полягає в удосконаленні схеми розміщення постів спостережень і контролю, а також додаткових постів на злітній смузі і приаеродромної території.

Пропозиція заходів по зниженню шкідливого впливу шумів повітряних суден на навколишнє природне середовище приаеродромної території, які рекомендують дотримання мінімальних відстаней від зони посадки і зльоту повітряних суден до будівель поза територією аеродромів, а також застосування шумозахисних конструкцій будівель і споруд.

Розробка комплексу заходів щодо зниження емісії шкідливих речовин від засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів в процесі обслуговування повітряного судна та щодо забезпечення повітряного судна чистим повітрям, що подається в салон (кабіну) аеродромним кондиціонером.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Незважаючи на те, що авіація, в порівнянні з іншими, є відносно «чистим» видом транспорту, її вплив на клімат і екологію може з часом стати відчутним через постійно зростаючого повітряного трафіку, що приводить до зростання забруднення в верхніх шарах тропосфери. Хоча в даний час оцінки такого впливу є досить невизначеними, Міжнародна організація цивільної авіації вживає заходів для скорочення негативного впливу авіації на навколишнє середовище. Для цього розробляються нові стандарти, що посилюють вимоги до експлуатованих літаків з авіаційного шуму та емісій, а також розширюється список авіаційних емісій, за якими проводиться сертифікація двигунів повітряних суден. В якості основного інструменту регулювання негативного впливу авіації на навколишнє середовище Комітет ІКАО пропонує механізм Глобальних ринкових заходів. Тому необхідно впровадження в авіаційній галузі нових технологій, які сприятимуть зниженню екологічного навантаження повітряного транспорту на навколишнє середовище, очевидна.

Теоретична значимість нових технологій полягає в розробці взаємопов'язаної сукупності моделей і методик підтримки прийняття рішень при забезпеченні екологічної безпеки регіону при використанні авіаційної техніки з урахуванням метеорологічних даних.

Відповідний науково-методичний апарат розвиває елементи геоекології і базується на наукових теоріях математики, дослідження операцій, географії, фізики атмосфери в частині оцінки та мінімізації негативного впливу техногенної діяльності на навколишнє середовище.

Практична значимість нових технологій полягає в тому, що вони дозволяють на основі розробленого науково-методичного апарату забезпечити функціонування системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою повітряного середовища регіону. Результатом зазначеного функціонування системи підтримки прийняття рішень є комплекс достовірних і регулярно поновлювальних даних про екологічну обстановку; оперативна підтримка прийняття управлінських рішень в області екології та природокористування; зіставлення і системний аналіз інформації, структурованої за природно-ресурсної, соціально-економічної, метеорологічної та екологічної складових.

Результати запропонованого підходу також доцільно використовувати в агроекономічній і хіміко-аналітичній діяльності, в системі контролю за використанням органічних добрив внаслідок негативного впливу авіаційної техніки. На основі даних екологічного моніторингу здійснюється прийняття управлінських рішень щодо попередження прояву антропогенного чинника екологічної небезпеки.

Література

1. Присяжний В.І., Міхеев В.С. Аналіз екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К. ДЕА, 2019. С. 5–10.
2. Машков О.А., Жукаускас С.В., Нігородова С.А., Міхеев В.С. Розвиток теорії функціональної стійкості екологічних систем, як стійкості функціонала екологічної безпеки / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К. ДЕА, 2019, С. 62–76.
3. Охрана окружающей среды. Том 2. Эмиссия авиационных двигателей: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Издание 5, июль 2014 г.
4. Охрана окружающей среды. Том 1. Авиационный шум: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Издание 3, июль 2008 г.
5. Халецкий Ю.Д. ИКАО: новый стандарт на шум самолетов гражданской авиации // Двигатели. 2014. No 2 (92). С. 8–11.
6. События в гражданской авиации и окружающая среда: Рабочий документ 38-й сессии Ассамблеи ИКАО – www.icao.int.
7. Lee D., Fahey D.W., Forster P.M. et al. Aviation and global climate change in 21st century // *Atm. Environ.* 2009. Vol. 43. P. 3520–3537.
8. Olsen S.C., Brasseur G.P., Wuebbles D.J., Barret S.R.H. et al. Comparison of model estimates of the effects of aviation emissions on atmospheric ozone and methane // *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40. P. 6004–6009. doi:10.1002/2013GL057660.
9. On Board. A sustainable future. Environmental Report. ICAO, 2016.
10. Старик А.М., Фаворский А.Н. Авиация и атмосферные процессы // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. 2015. Т. 20, No 1 (40). С. 1–20.
11. Поповичева О.Б., Старик А.М. Авиационные сажевые аэрозоли: физико-химические свойства и последствия эмиссии в атмосферу // Известия РАН. ФАО. 2007. Т. 43, № 2. С. 147–164.
12. Поповичева О.Б., Персианцева Н.М., Зубарева Н.А., Шония Н.К., Старик А.М., Савельев А.М. Сажевые аэрозоли в верхней тропосфере: свойства и последствия эмиссии авиации. НИИЯФ МГУ, 2005, 83 с.
13. (http://www.bioethanol.ru/bioethanol/news/kitajj_nachinaet_ispolzovat_bioplivo_v_grazhdanskojj_aviatsii/).
14. Liu X., Penner J.E., Wang M. Influence of anthropogenic and black carbon on upper tropospheric clouds in the NCAR CAM3 model coupled to the IMPACT global aerosol model // *J. Geophys. Res.* 2009. Vol. 114. D03204. doi:10.1029/2009JD010492.
15. EU states tread warily on naming and shaming aircraft operators that have failed to comply with EU ETS rules. <http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=2021>
16. Бондар О.І., Новосельська Л.П., Івашенко Т.Г., Основи біологічної безпеки (екологічна складова). – Херсон: ФОП Гринь Д.С., 2014. 324 с.
17. Андреев В.А., Солобозов В. Топливо для летательных аппаратов XXI века // Наука и жизнь. 2001. No 3. С. 23–25.
18. ICAO Aircraft engine emission Databank. November 2016. <https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>
19. Экологические проблемы в авиации и пути их решения / В.А. Миягашева, Д.Р. Иншаков, А.В. Пономарев, О.Г. Бойко / Актуальные проблемы авиации и космонавтики. М. 2016 Т. 1. С. 808–810.

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОЗГАНЯННЯ АВТОМОБІЛІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НА МІСЦЕВИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДАХ ПАЛИВА

Ємець Б.В.

Житомирський національний агроекологічний університет
Старий бульвар, 7, 10008, м. Житомир
bogdan1199@ukr.net

Проблема забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами від роботи (в першу чергу бензинових) двигунів автомобілів притаманна багатьом країнам, у тому числі Україні. Багато українських громад можуть стати енергетично незалежними за рахунок використання місцевих відновлюваних джерел, альтернативних нафтопродуктам. Місцевим паливом для Полісся завжди була деревина та її відходи, які можуть бути перетворені на генераторний газ для автомобілів. Але зміна експлуатаційних показників двигунів, переобладнаних для роботи на генераторному газу і встановлених на вантажних автомобілях, зумовлює зміну показників розганяння цих автомобілів, що мають бути досліджені відповідно до виробничих умов.

У сучасній технічній літературі немає єдиних критеріїв і показників розганяння автомобіля. Найбільш поширені з них: час розганяння на шляху 400 і 1000 м; час розганяння до заданої швидкості; прискорення при розганянні; рідше інші. Встановлено, що для автомобілів під час роботи на генераторному газу погіршуються показники розганяння навіть порівняно з роботою їх на дизельному пальному на 52–60%. Оскільки використання спеціальних газогенераторних двигунів у найближчі роки не передбачається, то слід шукати різні шляхи підвищення показників розганяння переобладнаних газогенераторних автомобілів. Це пропонують робити за рахунок оптимізації параметрів системи «газогенераторна установка – двигун – трансмісія», зменшення вантажопідйомності газогенераторного автомобіля, іншого. Найбільш ефективно підвищити показники розганяння автомобілів, які працюють на генераторному газу, можна способом збільшення густини газоповітряної суміші, що надходить до циліндрів переобладнаного двигуна. Такий спосіб збільшує ефективну потужність роботи двигуна щонайменше на 20–35%. Отримані експериментальні дані основних показників розганяння газогенераторних автомобілів, аналіз яких показує достатню точність (до 6%) аналітичних досліджень. *Ключові слова:* показники розганяння, автомобіль, генераторний газ, місцеве паливо.

Improvement of car driving asunder indicators during the work with local alternative fuel types. Yemets B.

The problem of the environmental pollution with the exhaust gases released from the operation of car engines (primarily of gasoline) is the common issue in many countries and in Ukraine as well. A lot of Ukrainian communities can become energy independent through the use of local renewable energy sources, which are the alternative of oil products. Timber and its waste has always been the local fuel in Polissia zone, which can be converted into generator gas for automobiles. However, the modification of the engines operation indexes, which are modified to work with generator gas and installed on trucks, requires the change in driving asunder of these vehicles, which must be investigated in accordance with the production conditions. There are no common criteria and indicators of trucks driving asunder in modern technical literature. The most common of them are: the driving asunder time on the route 400 and 1000 m, time of the driving asunder to the predetermined speed, and acceleration during driving asunder; other ones are rarely used. It is estimated that the driving asunder indexes for trucks while working with the generator gas are worse up to 52–60%, even in comparison with their work with diesel fuel. Since the use of special gas-rotary engines is not expected in the coming years, it is necessary to look for different ways of driving asunder increasing in modified gas-generating vehicles. It is proposed to do this via the system “gas – generating unit – engine – transmission” parameters optimizing, reducing the load capacity of the gas-generating trucks, etc. The most effective way to do this is to increase the driving asunder indexes for gas generating trucks. It is possible to do this through the increasing of the gas-air mixture density, entering the cylinders of the modified engine. This method increases the effective power of the engine at least up to 20–35%. The experimental data of the main gas-generating cars driving asunder indexes have been obtained, and their analysis shows the sufficient accuracy (up to 6%) of analytical investigations. *Key words:* driving asunder indexes, a truck, generator gas, local fuel.

Постановка проблеми. Багато українських громад можуть стати енергетично незалежними за рахунок використання відновлюваних джерел (місцевих за своїм походженням), альтернативних до нафтопродуктів [1]. Проблема забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами від роботи двигунів автомобілів притаманна багатьом країнам і вже набула глобального характеру. В Україні найбільшими забруднювачами повітря є автомобільні транспортні засоби, які використовують бензин у вигляді палива для своїх

двигунів [2]. Місцевим паливом для Полісся (до якого входить також значна частина Житомирської області) завжди була деревина та її відходи, які можуть бути переведені в генераторний газ для автомобілів [3].

Актуальність дослідження. Актуальним є застосування альтернативних видів палива (найкраще місцевого походження), які спершу частково замінюють бензин. Один із способів вирішення проблеми альтернативи експлуатації такого виду нафтопродукту – це можливість роботи двигунів автомобілів

на генераторному газу (далі – ГГ), отриманому шляхом газифікації деревини та її відходів, чи іншого твердого палива. Але зміна експлуатаційних показників роботи переобладнаних двигунів для роботи на ГГ, що можуть бути встановлені, в першу чергу на вантажних автомобілях, зумовлює зміну показників розганяння цих автомобілів, які мають бути досліджені відповідно до виробничих умов.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконана відповідно до Державної науково-технічної програми за номером 5.5 «Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування» за напрямом «Розробка технологій конвертації двигунів на альтернативні види палива», визначених Міністерством освіти і науки України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основи теоретичних досліджень показників тягово-швидкісних властивостей, у тому числі характеристики показників розганяння автомобілів, викладені в наукових роботах Е.А. Чудакова, Г.В. Зимелева, М.С. Туревського, Г.А. Філіпової, О.Д. Бумаги, М.М. Горбахи та багатьох інших [4; 5; 6].

У технічній літературі немає єдиних критеріїв і показників розганяння автомобіля [3]. Найбільш поширені з них: час розганяння на шляху 400 і 1000 м; час розганяння до заданої швидкості; прискорення при розганянні; рідше інші. Показники розганяння можна визначити шляхом розв'язку рівняння руху автомобіля, яке записано Г.В. Зимелевим такою формулою [4]:

$$\frac{dV}{dt} M_a \cdot \delta_{об} = P_{кол}(V) - P_{он}(V, V^2) \pm G_a \cdot \sin\alpha, \quad (1)$$

де M_a – повна маса автомобіля з урахуванням маси газогенераторної установки, кг; $\delta_{об}$ – коефіцієнт, який враховує обертові маси такого автомобіля; $P_{кол}(V)$ – повна колова сила на ведучих колесах автомобіля, Н; $P_{он}(V, V^2)$ – сума сил опору руху автомобіля, Н; $G_a \cdot \sin\alpha$ – сила опору підйому, Н; G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля, Н; α – кут позаднього нахилу полотна дороги; V – швидкість руху автомобіля, м/с; dV/dt – прискорення автомобіля, м/с². Формальну формулу (1) наводять так:

$$\frac{dV}{dt} \cdot M_a \cdot \delta_{об} = a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i, \quad (2)$$

де коефіцієнти a_i, b_i, c_i визначаються параметрами конструкції автомобіля та його двигуна, а також передаточними відношеннями трансмісії. В розрахунках найчастіше використовують таку функціональну залежність [3]:

$$M_{\kappa} = a \cdot \omega^2 + b \cdot \omega + c, \quad (3)$$

де a, b, c – сталі коефіцієнти, які визначають за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа:

$$a = \frac{M_{\kappa, \min}}{A_{11}} + \frac{M_{\kappa, \max}}{A_{12}} + \frac{M_N}{A_{13}},$$

$$b = \left[\frac{(\omega_N + \omega_M) \cdot M_{\kappa, \min}}{A_{11}} + \frac{(\omega_N + \omega_{\min}) \cdot M_{\kappa, \max}}{A_{12}} + \frac{(\omega_{\min} + \omega_M) \cdot M_N}{A_{13}} \right],$$

$$c = \left(M_{\kappa, \min} \cdot \frac{\omega_M \cdot \omega_N}{A_{11}} + M_{\kappa, \max} \cdot \frac{\omega_N \cdot \omega_{\min}}{A_{12}} + M_N \cdot \frac{\omega_{\min} \cdot \omega_M}{A_{13}} \right),$$

де $A_{11} = \omega_{\min}^2 - \omega_{\min}(\omega_N + \omega_M) + \omega_N \cdot \omega_M$;

$A_{12} = \omega_M^2 + \omega_M(\omega_N + \omega_{\min}) + \omega_N \cdot \omega_{\min}$;

$A_{13} = \omega_N^2 + \omega_N(\omega_M + \omega_{\min}) + \omega_M \cdot \omega_{\min}$; ω_{\min} ;

$M_{\kappa, \min}$ – мінімальна стійка кутова швидкість колінчастого вала двигуна, радіус і крутний момент, Н·м при цій кутовій швидкості; $M_{\kappa, \max}, \omega_M$ – максимальний крутний момент двигуна, Н·м і кутова швидкість колінчастого вала двигуна, радіус, що йому відповідає; M_N, ω_N – крутний момент, Н·м і кутова швидкість колінчастого вала двигуна, радіус, що відповідають його максимальній потужності: $\omega_{\min} = (0,3...0,4) \omega_N$.

З урахуванням залежностей, які розглянуті вище, колову силу на ведучих колесах можна визначити за формулою:

$$P_{кол, i} = A_i \cdot V^2 + B_i \cdot V + C_i, \quad (4)$$

$$A_i = a \cdot \frac{U_i^3 \cdot \eta_m}{r_o r_{\kappa}^2}, \quad B_i = b \cdot \frac{U_i^2 \cdot \eta_m}{r_o \cdot r_{\kappa}}, \quad C_i = c \cdot \frac{U_i \cdot \eta_m}{r_o},$$

де U_i – загальне передаточне число трансмісії автомобіля на i -ій передачі; η_m – коефіцієнт корисної дії трансмісії; r_o та r_{κ} – динамічний радіус і радіус кочення колеса, м.

Після визначення колової сили на ведучих колесах диференціальне рівняння руху автомобіля (1) виглядатиме так:

$$\frac{dV}{dt} \cdot M_a \cdot \delta_{об} = A_i \cdot V^2 + B_i \cdot V + C_i - P_{он}(V, V^2) \pm G_a \cdot \sin\alpha, \quad (5)$$

Рівняння (5) використовують для вирішення завдань, пов'язаних як з усталеним (тоді диференціальне рівняння (5) перетворюється в алгебраїчне), так і з неусталеним (прискореним, уповільненим) рухом автомобіля. Воно дозволяє визначити основні показники розганяння автомобіля [2; 3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета дослідження – покращити показники розганяння автомобілів під час роботи на ГГ (отриманого від газифікації місцевого альтернативного виду палива) методом підвищення густини газоповітряної суміші, яка надходить до циліндрів переобладнаного двигуна.

Для досягнення поставленої мети задачі дослідження сформульовані так: виконати аналіз стану теоретичних досліджень показників розганяння автомобілів; розрахувати показники розганяння автомобіля під час роботи на різних видах палива (в тому числі на ГГ, отриманого від газифікації місцевого альтернативного виду палива) та порівняти їх із базовими характеристиками бензинового двигуна; покращити отримані показники розганяння автомобіля

під час роботи на ГГ методом підвищення густини газоповітряної суміші, яка надходить до циліндрів переобладнаного двигуна.

Новизна. Вперше для автомобіля під час роботи на ГГ (отриманого від газифікації місцевого альтернативного виду палива) змодельовано показники розганяння такого автомобіля, які можливо покращити, якщо використати метод підвищення густини газоповітряної суміші, що надходить до циліндрів переобладнаного двигуна цього автомобіля.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Теоретичні дослідження проводилися з використанням основних положень диференціального числення, прикладного математичного моделювання, теорії автомобіля та його експлуатації. Експериментальні дослідження проводилися із використанням газогенераторних установок, змонтованих на шасі автомобілів ГАЗ-52, 53 (Рис. 1) Житомирського національного агроекологічного університету (ЖНАЕУ) відповідно до прийнятої методики і галузевих стандартів із застосуванням вимірювального обладнання лабораторій і конструкторського бюро факультету інженерії та енергетики.

Виклад основного матеріалу. В лабораторіях ЖНАЕУ більше 25 років створювались дослідні зразки транспортних засобів, які працюють на місцевих альтернативних видах палива, насамперед на генераторному газу, отриманому з твердого палива (деревини і її відходів, вугілля, енергетичних рослин тощо).

Згідно вимог нині діючого стандарту ГОСТ 22576-90 показники розганяння автомобіля

визначають на горизонтальних прямолінійних ділянках асфальтованої дороги, для якої кут підйому $\alpha = 0$:

$$a_i = A_i - K_w F,$$

$$b_i = B_i - K_f M_a \cdot g,$$

$$c_i = C_i - f_0 M_a g,$$

де K_w – коефіцієнт обтічності автомобіля, $\text{H} \cdot \text{c}^2/\text{M}^4$; F – площа проекції автомобіля на площину, перпендикулярну його поздовжній осі, m^2 ; K_f – коефіцієнт, який враховує зміну опору коченню залежно від швидкості; f_0 – коефіцієнт опору коченню при швидкостях, близьких до нуля.

Для визначення показників розганяння автомобіля під час роботи на ГГ автор використає диференціальне рівняння (2). Після розділу змінних та інтегрування правої і лівої частин цього рівняння отримує вирази для розрахунку часу розганяння автомобіля на ділянці від початкової швидкості V_n автомобіля до кінцевої V_k :

$$\tau = M_a \cdot \delta_{об} \cdot \int_{V_n}^{V_k} \frac{dV}{a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i} \quad (6)$$

Інтеграл, записаний формулою (6), є табличним і його розв'язують залежно від знаку дискримінанта Δ [2]. Якщо $\Delta = b_i^2 - 4 a_i c_i < 0$, тоді час розганяння автомобіля, в тому числі на ГГ, можна визначити за формулою:

$$\tau = \frac{2 \cdot M_a \cdot \delta_{об}}{\sqrt{-\Delta}} \arctg \frac{2 \cdot a_i \cdot V + b_i}{\sqrt{-\Delta}} \Big|_{V_n}^{V_k}, \quad (7)$$

При $\Delta > 0$ можливі два інші варіанти розв'язку виразу (6), які не мають значення для нашого



Рис. 1. Автомобіль із газогенераторною установкою розробки вчених ЖНАЕУ (установка розміщена на рамі поза кабіною)

випадку. В літературі шлях розганяння пропонують визначати, як [3]:

$$S = \frac{1}{2a_i} \left\{ M_a \cdot \delta_{об} \cdot \ln \left| a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i \right|_{V_n}^{V_k} - b_i \cdot \tau \right\}, \quad (8)$$

У розрахунках часу і шляху розганяння автомобіля початкову швидкість на нижчій передачі автор приймає за $V_{n1} = 0$, а кінцеву швидкість V_{k1} розраховує за формулою:

$$V_{k1} = \frac{\omega_N \tau_K}{U_m}, \quad (9)$$

де ω_N – номінальна кутова швидкість колінчастого вала двигуна. Аналіз літератури з теорії автомобіля показує, що час переключення передач t_n складає від 0,5 до 5 с [3; 4].

Максимальне прискорення в процесі розганяння автомобіля під час роботи на генераторному газу на заданій передачі автор розраховував як:

$$j_{\max} = \frac{1}{M_a \cdot \delta_{об}} \cdot \left(c_i - \frac{b_i^2}{4 \cdot a_i} \right), \quad (10)$$

У Табл. 1 наведено розраховані показники розганяння автомобіля ГАЗ-53 на різних видах палива (прийнято для базової бензинової модифікації: $N_e = 88,5$ кВт; $G_a = 77100$ Н; $K_w = 0,65$ Н·с²/м⁴; $F = 4,45$ м²; $\eta_{mp} = 0,85$; $f_0 = 0,02$ [5]) за аналітичними виразами, які наведено вище.

Аналіз Табл. 1 показує, що використання ГГ як палива для двигуна вкрай погіршує (більше ніж удвічі) показники розганяння автомобіля ГАЗ-53. У автомобілів з газогенераторною установкою погіршуються показники розганяння навіть порівняно з їх роботою на дизельному пальному на 52–60%. У зв'язку з тим, що використання найближчим часом спеціальних газогенераторних двигунів навряд чи можливе, слід шукати різні шляхи підвищення тягово-швидкісних властивостей, зокрема показників розганяння, переобладнаних газогенераторних авто-

мобілів. Різні дослідники пропонують це робити за рахунок оптимізації параметрів системи «газогенераторна установка – двигун – трансмісія», зменшення вантажопідйомності тощо [2; 3].

Найбільш ефективно підвищити показники розганяння газогенераторних автомобілів можна способом підвищення густини газоповітряної суміші, яка надходить до циліндрів переобладнаного двигуна. Тобто використати нагнітання газоповітряної суміші в циліндри газогенераторного двигуна, в результаті чого збільшиться середній ефективний тиск і ефективний ККД, ефективна потужність газогенераторного двигуна.

У лабораторіях ЖНАЕУ попередньо досліджено використання об'ємного нагнітача з механічним приводом (Рис. 2), збільшення ефективної потужності двигуна при його використанні максимально можливе від 20 до 35% [3].

Експериментальні дослідження показників розганяння автомобілів проводять згідно ГОСТ 22576-90. Такі випробування проводяться на рівній горизонтальній ділянці дороги довжиною 4 км і шириною не менше 15 м. Завантаження автомобіля до повної маси здійснюється мішками з піском. Зважування автомобіля після його завантаження здійснюється за методикою ОСТ 37.001.408 на автомобільних вагах середнього класу точності з найбільшою межею зважування 10 т по ГОСТ 14004 [3].

Попередньо були отримані дані основних показників розганяння газогенераторних автомобілів, аналіз яких показує достатню точність (до 6%) аналітичних досліджень (Табл. 2).

Головні висновки. Багато українських громад можуть стати енергетично незалежними за рахунок використання відновлюваних місцевих джерел, альтернативних нафтопродуктам. Місцевим паливом для Полісся завжди була деревина та її відходи, які можуть бути переведені в генераторний газ для автомобілів.

Таблиця 1

Показники розганяння автомобіля при роботі на різних видах палива

Вид палива	Ефективна потужність, кВт	Максимальне прискорення, м/с ²	Час розганяння на шляху 400 м, с	Час розганяння на шляху 1000 м, с	Шлях розганяння до 16,7 м/с, м
Бензин	88,5	0,802	29,6	62,3	358,3
Дизельне пальне*	82,4	0,651	35,3	79,8	544,0
Генераторний газ (ГГ)**	54,9	0,520	69,4	137,3	1048,1

* за умови обладнання автомобіля дизелем; ** за умови обладнання автомобіля газогенераторною установкою масою 450 кг

Таблиця 2

Дані випробувань показників розганяння автомобіля під час роботи на генераторному газу

Показники	$\langle x_{екс} \rangle$	$\Delta_{\langle x_{екс} \rangle}$	ϵ	ϵ_m
Шлях розганяння до 16,7 м/с, м	1084,1	19,4	1,79	3,32
Час розганяння на шляху 1000 м/с	129,7	1,1	0,85	5,53

Примітки: $\langle x_{екс} \rangle$ – середнє з шести вимірювань; $\Delta_{\langle x_{екс} \rangle}$ – довірча межа похибки вимірювання; ϵ – відносна похибка результатів вимірювання, %; ϵ_m – відносна похибка моделювання, %



Рис. 2. Загальний вигляд нагнітача (з механічним приводом) газоповітряної суміші в циліндри двигуна газогенераторного автомобіля

Встановлено, що використання генераторного газу як палива для двигуна автомобіля погіршує більше ніж удвічі величини показників розганяння цього автомобіля. Найбільш ефективно підвищити показники розганяння газогенераторних автомобілів можна способом підвищення густини газоповітряної суміші, яка надходить до циліндрів переобладнаного двигуна. Це збільшує ефективну потужність роботи такого двигуна на 20–35%. Отримані експе-

риментальні дані основних показників розганяння газогенераторних автомобілів, аналіз яких показує достатню точність (до 6%) аналітичних досліджень.

Перспективи використання результатів дослідження. В подальшому доцільно виконати дослідницьку роботу з визначення інших показників тягово-швидкісних властивостей (наприклад, характеристику «розганяння – вибіг») газогенераторних автомобілів різних моделей і марок.

Література

1. Закон України № 1391-VI від 21.05.2009 р. Про альтернативні види палива (редакція від 24.11.2016). *Відомості Верховної Ради*. 2016. № 12. 94 с.
2. Мельник М.В., Ємець Б.В., Поліщук О.С. Обґрунтування продуктивного використання газового палива для бензинових двигунів автомобілів. *Вісник ЖНАЕУ*. 2010. № 2 (27). С. 139–145.
3. Ємець Б.В. Покращення показників розганяння автомобілів сільськогосподарського призначення під час роботи на генераторному газу. *Наукові горизонти*. 2019. № 5(78). С. 31–39.
4. Зимелев Г.В. Теория автомобиля. Москва : Воениздат, 1957. 455 с.
5. Туревский Н.С. Теория автомобиля. Москва : Высш. шк., 2005. 240 с.
6. Філіпова Г.А., Бумага О.Д., Горбаха М.М. Вплив передаточних чисел трансмісії автобуса, що працює на газоподібному паливі, на показники його швидкісних властивостей. *Автошляховик України*. 2003. С. 102–106.

ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН З УРАХУВАННЯМ РЕЖИМІВ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Коваленко Л.О., Гунько І.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків
tr@khadi.kharkiv.ua

Однією з найважливіших екологічних проблем міст є забруднення атмосферного повітря, тому дослідження цього питання є важливим і актуальним. Оцінка викидів забруднюючих речовин від автотранспортних засобів належить до вкрай складної проблеми і залежить від численних факторів: технічного стану й режиму руху автомобіля, структури вулично-дорожньої мережі, якості автомобільного пального й дорожнього покриття, інтенсивності й режимів руху транспорту. Для вивчення впливу умов руху транспортних потоків на забруднення навколишнього середовища в містах була розглянута взаємодія компонентів системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище». Об'єктом для досліджень була обрана одна ділянка магістральної вулиці загальноміського значення Салтівського шосе та три ділянки магістральних вулиць районного значення – Гвардійців Широнінців, проспект Тракторобудівників і проспект Ювілейний. Для оцінки рівнів викидів автомобільним транспортом в атмосферу на дослідних ділянках була розглянута характеристика транспортного потоку із поділом автомобілів на три основних категорії: легкові, вантажні автомобілі, автобуси та їх розподіл за типами двигунів. Автори вважають, що на перегонах швидкість руху транспортного потоку є стабільною. Значення викидів забруднюючих речовин і витрати палива було визначено для режиму руху з постійною швидкістю. Були визначені сумарні викиди діоксиду азоту, оксиду вуглецю та вуглеводнів на дослідних ділянках. Аналіз результатів визначення викидів і концентрацій забруднюючих речовин показав перевищення допустимих значень концентрацій оксиду вуглецю на двох ділянках. При інтенсивності руху до 400 автомобілів на годину концентрація оксиду вуглецю на відкритій території на відстані 20–30 м від проїзної частини знижується приблизно вдвічі-втричі і досягає нормальної або граничної концентрації. Для зниження шкідливого впливу вихлопних газів і їхньої нейтралізації запропоновані комплексні заходи, які включають організаційні, технологічні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні та інші. *Ключові слова:* автомобільний транспорт, атмосферне повітря, режими руху, викиди, концентрації забруднюючих речовин.

Determination of pollutant emissions taking into account traffic flow patterns. Kovalenko L., Hunko I.

One of the major environmental problems of cities is air pollution, so research into this issue is important and relevant. The estimation of pollutant emissions from motor vehicles is an extremely difficult problem and depends on numerous factors: the technical condition and mode of traffic of the car, the structure of the road and road network, the quality of automobile fuel and road surface, the intensity and modes of traffic. To study the effect of traffic flow conditions on environmental pollution in cities, the interaction of the components of the driver-car-road system was considered. One section of the main street of the "city – wide" value of Saltivskoe highway and three sections of the main street of district importance – the Shironintsev Guardsmen, Tractor Builders Avenue and Jubilee Avenue were selected as the object of research. In order to estimate the levels of emissions by motor transport into the atmosphere at the experimental sites, the characteristics of the traffic flow were divided by division of cars into three main categories: cars, trucks, buses and their distribution by engine types. We believe that the speed of movement, traffic flow is stable in the race. The values of pollutant emissions and fuel consumption are determined for constant speed driving. The total emissions of nitrogen dioxide, carbon monoxide and hydrocarbons at the test sites were determined. An analysis of the results of the determination of pollutant emissions and concentrations showed an excess of the permissible values of carbon monoxide concentrations in the two sites. When the intensity of the movement of up to 400 cars per hour, the concentration of carbon monoxide in the open area at a distance of 20–30 m from the roadway is reduced by about 2-3 times and reaches a normal or maximum concentration. To reduce the harmful effects of exhaust gases and their neutralization, comprehensive measures are proposed, including: organizational, technological, technical, sanitary, economic and others. *Key words:* car transport, atmospheric air, movement modes, emissions, concentration of pollutants.

Постановка проблеми. Протягом останніх років значна кількість промислових об'єктів країни працює не на повну потужність, у зв'язку з чим основним джерелом забруднення атмосферного повітря стає автомобільний транспорт. Забруднення атмосфери викидами автотранспорту посідає третє місце після виробництва електроенергії, газу, води та обробної промисловості за рахунок постійного збільшення кількості автомобілів.

Транспорт завжди був одним із найзначніших джерел забруднення атмосферного повітря, особливо

автомобільний. Основною причиною інтенсивного забруднення атмосфери автомобільним транспортом є щорічне збільшення його загальної кількості, експлуатація технічно застарілого автомобільного парку, низька якість паливно-мастильних матеріалів, незадовільний стан автомобільних шляхів, відсутність об'їзних маршрутів, дорожніх розв'язок, підземних пішохідних переходів і погана організація руху.

Актуальність дослідження. У великих містах світу забруднення довкілля викидами автотранспорту складає 40–80 %. Автомобілі викидають

у повітря велику кількість відпрацьованих вихлопних газів, які складаються більш ніж із 200 різних речовин [1]. Багато з них є сильними отрутами: окис вуглецю, окисли азоту, сполуки свинцю, ароматичні альдегіди, а також канцерогенні вуглеводні, наприклад бенз(а)пирени, що мають дуже високу активність і токсичність.

Однією з найважливіших екологічних проблем міст є забруднення атмосферного повітря, яке відбувається через збільшення обсягів викидів шкідливих речовин і пересувних джерел забруднення, тому дослідження цієї проблеми є важливим і існує потреба в удосконаленні системи управління охороною атмосферного повітря в містах. Дослідження викидів шкідливих речовин автомобілями транспортних потоків є актуальним, а розроблення заходів для покращення екологічного стану населених пунктів є досить важливою сучасною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивченню питань визначення викидів токсичних речовин автомобілями транспортного потоку та пошуку шляхів покращення екологічних показників транспортних засобів в різні часи було присвячено багато досліджень [2–6]. Доведено, що викиди забруднюючих речовин автомобілями залежать від потужності і типу двигуна, режиму його роботи, технічного стану автомобіля, швидкості руху, якості палива.

Викиди шкідливих речовин в окремих фазах руху і на маршруті оцінюються залежно від типу транспортних засобів, режимів роботи двигуна і концентрацій компонентів відпрацьованих газів (CO , C_xH_y , NO_x , CO_2 , твердих частинок), витрат палива [3; 4]. Всі ці показники складають багатопараметрову характеристику, отриману експериментально на моторному стенді [2; 3]. Для оцінки витрати палива (г/ч) у режимі холостого ходу бензинових транспортних засобів можна використовувати формулу [3]:

$$G_x = 0,1079 + 19683,45P - 3046397,75P^2, \quad (1)$$

де P – комплексний показник, який відображає одночасно рівень форсування двигуна за тепловим, динамічним навантаженням, і матеріаломісткість конструкції [кг/л / (кВт²·хв⁻¹)]:

$$P = m_n / (N_e n / V_h), \quad (2)$$

де m_n – питома маса, кг/кВт; N_e , n – номінальна потужність і частота обертання колінчастого вала, хв⁻¹; V_h – робочий обсяг двигуна, л.

У бензинових транспортних засобів при розгоні істотно зростають викиди CO і NO_x , причому зі збільшенням літражу двигуна значення коефіцієнтів k_p знижуються, витрата палива і викиди C_xH_y також зростають. У дизельних транспортних засобів зростають викиди твердих частинок (сажі) і витрата палива, при уповільненні значення питомих викидів знижуються.

Викиди CO газовими транспортними засобами істотно нижче, ніж бензиновими двигунами. Використання газодизельного циклу призводить до

помітного зростання викидів CO і C_xH_y та зниження викидів NO_x і твердих частинок. Викиди CO вантажними транспортними засобами і автобусами з бензиновими двигунами більше, ніж у дизельних автомобілів. Однак в останніх більше викидів NO_x , твердих частинок і SO_2 [2–4].

Не вирішені раніше частини загальної проблеми. Аналіз публікацій доводить, що дослідження питань визначення викидів і концентрацій забруднюючих речовин у населених пунктах є складною та важливою задачею і вимагає комплексного підходу. Для вивчення впливу умов руху транспортних потоків на забруднення навколишнього середовища в містах була розглянута взаємодія компонентів системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище».

Виклад основного матеріалу. Об'єктом для досліджень була обрана одна ділянка магістральної вулиці загальноміського значення Салтівського шосе (ділянка 4) та три ділянки магістральні вулиці районного значення – Гвардійців Широнінців (ділянка 3), проспект Тракторобудівників (ділянка 2) та проспект Ювілейний (ділянка 1).

Салтівське шосе належить до магістральної вулиці загальноміського значення [7]. Вулиця з'єднує центр міста з Салтівським житловим масивом. Довжина – близько 6 км. Розрахункова швидкість руху складає 60 км/год., інтенсивність руху – 1125 авт./год. Ділянка обраною для досліджень вулиці Салтівське шосе має три смуги руху в одному та в зворотному напрямку. Ширина проїзної частини складає 33 м, з яких 7 м – це зелена роздільна смуга. По вулиці проходить лінія трамвая і багато автобусних маршрутів.

Вулиця Гвардійців Широнінців має довжину близько 6,5 км. Ділянкою вулиці, обраною для досліджень, проходять маршрути автобусів і тролейбусів, вона належить до магістральної вулиці районного значення [7]. Розрахункова швидкість руху складає 60 км/год. Інтенсивність руху складає 635 авт./год. Вулиця Гвардійців Широнінців має по дві смуги руху у кожному напрямку. Ширина проїзної частини – 15 м.

Проспект Тракторобудівників належить до магістральної вулиці районного значення [7]. Розрахункова швидкість руху складає 60 км/год., інтенсивність руху – 426 авт./год. Проспект Тракторобудівників має по дві смуги руху у кожному напрямку. Ширина проїзної частини складає 15 м. По вулиці проходить лінія трамвая і автобусних маршрутів.

Проспект Ювілейний належить до магістральної вулиці районного значення [7]. Розрахункова швидкість руху складає 60 км/год., інтенсивність руху – 813 авт./год. Проспект Ювілейний має по три смуги руху в кожному напрямку. Ширина проїзної частини коливається в межах від 22 до 25 м.

Для оцінки рівнів викидів автомобільним транспортом в атмосферу на дослідних ділянках була розглянута характеристика транспортного потоку із поділом автомобілів на три основних категорії: легкові, вантажні автомобілі, автобуси (таблиця 1).

Таблиця 1

Характеристика транспортного потоку на дослідних ділянках за типами двигунів

Дослідна ділянка	Номер ділянки	Кількість автотранспортних засобів, авт./год.					Всього авт./год.
		Легкові	Вантажні		Автобуси		
			дизельні двигуни	бензинові двигуни	дизельні двигуни	бензинові двигуни	
Пр. Ювілейний	1	726	30	22	11	7	813
Пр. Тракторобудівників	2	391	13	8	5	3	426
Вул. Гвардійців Широнівців	3	594	14	10	8	2	426
Салтівське Шосе	4	930	106	43	15	11	1125

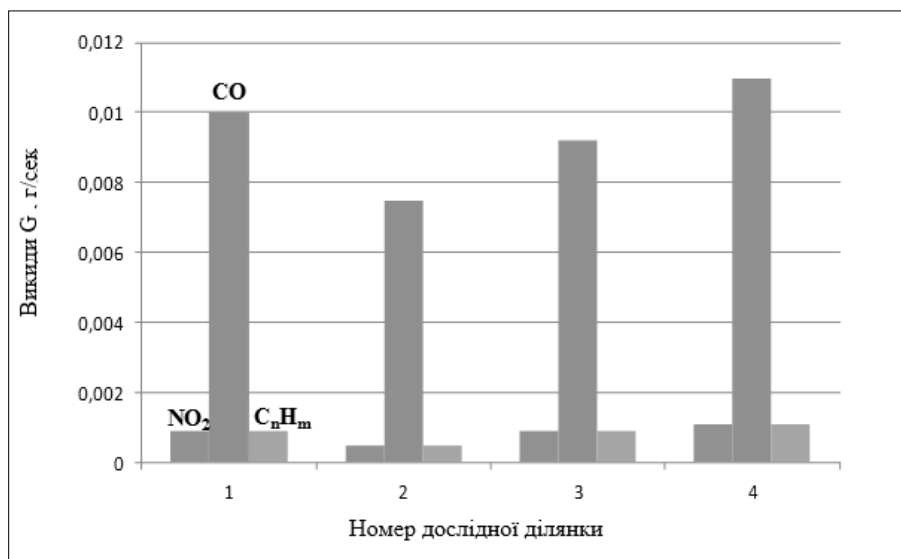


Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин легковими автомобілями на дослідних ділянках м. Харкова

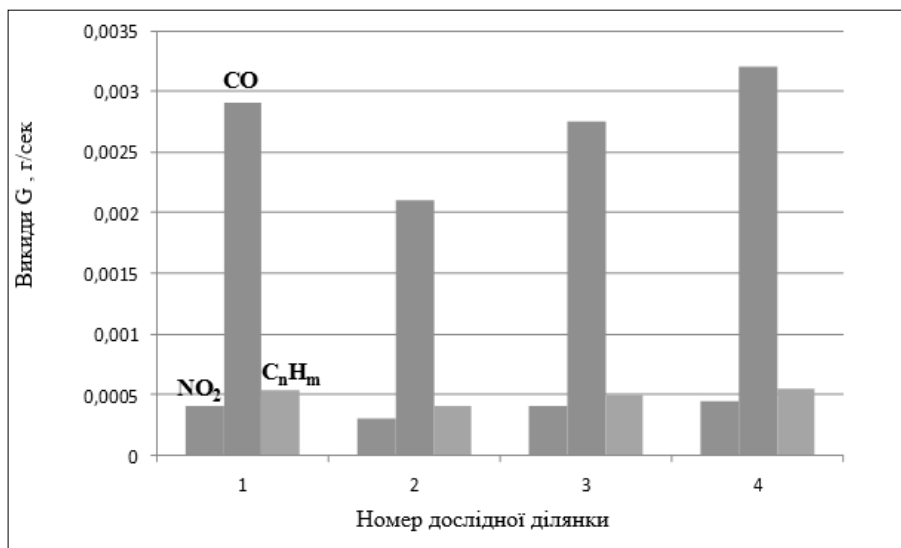


Рис. 2. Викиди забруднюючих речовин вантажними автомобілями з бензиновим двигуном на дослідних ділянках

Кількість викидів автори визначали за методикою оцінки впливу транспорту на навколишнє середовище. Викиди забруднюючих речовин (CO, NO₂, C_xH_y та інших) автомобілями транспортного потоку на перегонах можуть бути визначені за формулою [7; 8]:

$$B = \sum_j \sum_i B_j P_i N, \quad (3)$$

де B_j – викид j -ї забруднюючої речовини окремими групами транспортних засобів, г/км; P_i – доля i -ї групи транспортних засобів у транспортному

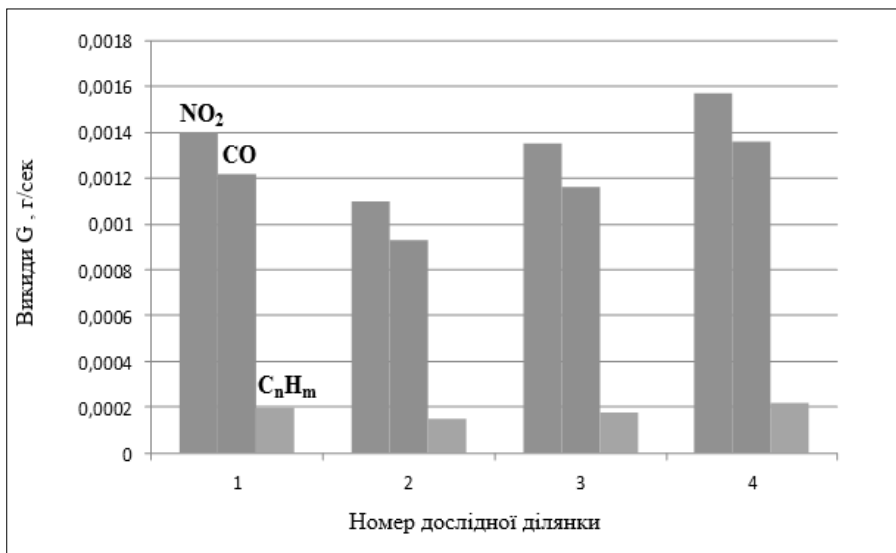


Рис. 3. Викиди шкідливих речовин вантажними автомобілями з дизельним двигуном на дослідних ділянках

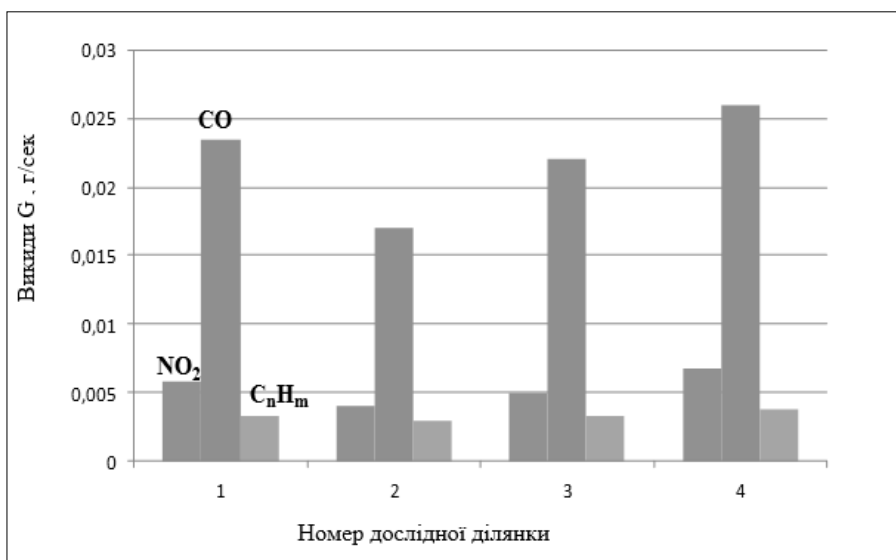


Рисунок 4. Сумарні викиди забруднюючих речовин автомобілями на дослідних ділянках м. Харкова

потоці; N – інтенсивність руху транспортного потоку, авт./год. Автори вважають, що на перегонах швидкість руху транспортного потоку є стабільною. Значення викидів забруднюючих речовин і витрати палива було визначено для режиму руху з постійною швидкістю.

Результати досліджень для різних типів автомобілів, дослідних ділянок і речовин, які викидаються з відпрацьованими газами, наведені у вигляді графічних залежностей на рисунках 1–3.

Було визначено сумарні викиди діоксиду азоту, оксиду вуглецю та вуглеводнів на дослідних ділянках з урахуванням викидів окремих типів автомобілів, які рухаються у складі транспортного потоку густонаселеними районами м. Харкова. Результати обрахунків наведені на графіках сумарних викидів (рисунок 4).

Концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі обчислюється за формулою [8]:

$$C = \frac{2 \cdot M}{\sqrt{2\pi\delta} \cdot V \cdot \sin\phi} + F, \quad (4)$$

де δ – стандартне відхилення розсіювання Гауса у вертикальному напрямі, яке залежить від погодних умов і відстані від дороги; V – швидкість вітру; ϕ – кут між напрямом вітру та дороги; F – фонові концентрації забруднення.

На відкритій місцевості найбільш інтенсивне зменшення концентрації шкідливих речовин відбувається в інтервалі 12÷20 м від джерела забруднення. Аналіз результатів визначення викидів і концентрацій забруднюючих речовин на дослідних ділянках показав перевищення допустимих значень концентрацій оксиду вуглецю на двох ділянках – пр. Ювілейний і Салтівське шосе (таблиця 2). Для зниження рівня забруднення на цих ділянках необхідно розглянути заходи щодо покращення екологічного стану міських вулиць.

Таблиця 2

Результати визначення викидів і концентрацій забруднюючих речовин на дослідних ділянках

Дослідна ділянка	Номер ділянки	Сумарні викиди забруднюючих речовин, г/с			Концентрація CO, мг/м ³
		NO ₂	CO	C _n H _m	
Пр. Ювілейний	1	0,0058	0,0235	0,0033	10,1
Пр. Тракторобудівників	2	0,004	0,017	0,0029	5,3
Вул. Гвардійців Широнівців	3	0,005	0,022	0,0033	7,5
Салтівське Шосе	4	0,0068	0,026	0,0038	12,5

Для покращення екологічного стану на цих вулицях в якості першочергових заходів можна запропонувати висадження зелених насаджень на ділянках зелених газонів між проїзною частиною і житловою забудовою. Запропоновані заходи дозволять знизити концентрації оксиду вуглецю із 12,5 мг/м³ до 5 мг/м³ на лінії забудови по вулиці Салтівське шосе, на пр. Ювілейному зниження концентрації оксиду вуглецю складе від 10 мг/м³ до 3,5 мг/м³.

Головні висновки. Рівень загазованості доріг і прилеглої території залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини і рельєфу вулиці, швидкості вітру, частки вантажного транспорту та автобусів у загальному потоці тощо. При інтенсивності руху до 400 автомобілів на годину концентрація оксиду вуглецю на відкритій території на відстані 20-30 м від проїзної частини знижується приблизно вдвічі-втричі і досягає нормальної або граничної концентрації. На швидкість поширення забруднення і концентрацію його в окремих зонах міста значно впливають погодні умови, здебільшого за штильової погоди (75 % випадків) або при слабких вітрах (від 1 до 4 м/с). На вузьких вулицях міст розсіювання викидів автомобілів ускладнюється, а мешканці населених пунктів відчувають шкідливий вплив забруднення атмосферного повітря.

Перспективи використання результатів дослідження. Для зниження шкідливого впливу вихлопних газів і їхньої нейтралізації в індустріально розвинених містах України, зокрема й у м. Харкові,

автори пропонують такі комплексні захисні заходи, які включають організаційні, технологічні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні й соціально-правові.

До основних заходів можна віднести:

- установку датчика показань вмісту шкідливих викидів вихлопних газів на щитках приладів кожного водія;
- вирішення проблеми паркувань автомобілів на вулицях із метою запобігання звуженню проїзної частини та погіршення умов руху;
- поліпшення складу палива, відмову від етилових бензинів, застосування добавок до палива, які зменшують виникнення токсичних компонентів;
- застосування електромобілів та інших екологічних типів двигунів;
- розробку й використання ефективних нейтралізаторів вихлопних газів, які знижують токсичність автотранспорту в Україні, зокрема й у м. Харкові;
- обов'язковий винос транзитного транспорту за межі міста;
- обмеження ввозу й експлуатації транспортних засобів іноземного виробництва старше п'яти років, тому що їхні двигуни вже не відповідають світовим стандартам;
- рекомендувати міській адміністрації направити кошти на придбання трамваїв, тролейбусів і електромобілів, а не на закупівлю автобусів, які на 80 % забруднюють атмосферу (особливо канцерогенними й токсичними викидами).

Література

1. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун та ін. Київ : Арістей, 2006. 292 с.
2. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте : учеб. пособ. Москва : Транспорт, 1990. 135 с.
3. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология : учеб. для вузов. Москва : Высшая школа, 2001. 273 с.
4. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посіб. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Київ, 2008. 296 с.
5. Пляцук Л.Д., Васькін Р.А., Соляник В.О., Васькіна І.В. Методика розрахунку викидів від автотранспортних засобів залежно від структури транспортного потоку. *Екологія безпеки*. 2011. № 2 (21). С. 116–118.
6. Матейчик В.П., Гришук О.К., Вайганг Г.О., Блажчук О.В. Визначення викидів забруднюючих речовин з урахуванням режимів руху транспортного потоку. *Вісник НТУ. Серія: Технічні науки*. 2015. Вип. 2 (32). С. 174–181.
7. ДБН В.2.3-5:2018. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів. [Чинний від 2018-09-01]. Київ, 2018. 54 с. (Національний стандарт України).
8. Гаврилов Э.В., Гридчин А.М., Ряпухин В.Н. Системное проектирование автомобильных дорог : Учебное пособие, Ч. I. Москва – Белгород : Издательство АСВ, 1998. 152 с.

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО КЛАСТЕРА НА ЕКОЛОГІЮ МІСТА

Лямзін А.О., Ніколаєнко І.В.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
вул. Університетська, 7, 87500, м. Маріуполь, Донецька область
alyamzin7791@gmail.com, iryna.vnikolaienko@gmail.com

У статті досліджується фізична природа рухомого складу як складника транспортного кластера та механізми визначення його екологічної стійкості. Рухомий склад розглянутий як фізичний багаторівневий об'єкт, що освоює природні ресурси і виділяє забруднюючі речовини в навколишнє середовище міста. Аналогом цього об'єкту запропоновано прийняти елементарну фізичну частку «фрідмон». Запропонована формула оцінки екологічної стійкості транспортного засобу як споживача «брудного ресурсу» в середовищі міста. Розглянуто залежність обсягу споживання «брудного ресурсу» від характеристик експлуатації двигуна рухомого складу. Дослідження умов експлуатації рухомого складу в навколишньому середовищі міста показало, що 80% автомобілів працюють у режимі холостого ходу поза межами штатного режиму роботи двигуна, що обумовлює зростання шкідливих викидів в атмосферу та ґрунт. Сформована та проаналізована дендрограма транспортного кластера за ступенем впливу на екологію міста. За даними дослідження рухомий склад поділено на п'ять основних груп: вагони, вантажні автомобілі з бензиновими двигунами, вантажівки з дизельними двигунами, автобуси з бензиновими двигунами, автобуси з дизельними двигунами. На прикладі вулично-дорожньої мережі м. Маріуполь розроблена графічна модель транспортного кластера на ділянці перед вузловим елементом. Запропонована формула оцінки забруднюючих речовин від транспортного кластера в навколишньому середовищі міста. Експертним шляхом встановлені значення коефіцієнтів вагомості різних показників властивостей транспортних засобів. Основними вимірниками прямого впливу на екологічну стійкість є забруднення води і ґрунту, теплове та шумове забруднення. До вимірників непрямого впливу віднесено тягово-швидкісні та гальмівні властивості транспортних засобів, потреби конструкційних і експлуатаційних матеріалів, трудовитрати та інше. *Ключові слова:* навколишнє середовище міста, екологічна стійкість, транспортний кластер, рухомий склад.

Estimation of the transport cluster impact on the city ecology. Lyamzin A., Nikolaienko I.

The rolling stock physical nature as a component of the transport cluster and mechanism for determining of its ecological sustainability are researched in the article. Rolling stock considered as a physical multi-level object that exploits natural resources and releases pollutants into the city environment. An analog of this object is proposed to take an elementary physical particle "friedmon". The formula for assessing the environmental sustainability of a vehicle as a consumer of "dirty resource" in the city environment is proposed. The dependence of the amount of "dirty resource" consumption on the rolling stock engine operating characteristics is considered. The importance score values for different characteristics of vehicle indicators are expertly substantiated. The research of the rolling stock operating conditions in the city environment is showed that eighty percent of the vehicles are idling outside the standard engine operating mode, which causes an increase in polluting emissions into the atmosphere and soil. The transport cluster dendrogram by the impact degree on the city ecology is worked out and analyzed. According to the research rolling stock is divided into five basic groups: cars, trucks with gasoline engines, trucks with diesel engines, buses with gasoline engines, buses with diesel engines. On the example of Mariupol road network, the transport cluster graphical model on a section in front of roads intersection was developed. The formula for estimating pollutants from a transport cluster in the city environment is proposed. The cluster is characterized by its density, has heterogeneous time-space structure and damping speed before the intersection. Pollutants assessment in the atmosphere from the transport cluster is measured. The main measures of direct impact on environmental sustainability are: water and soil pollution, thermal and noise pollution. Indicators of indirect impact include: traction-speed and braking properties of vehicles, the need for structural and operational materials, labour costs, etc. *Key words:* city environment, ecological sustainability, transport cluster, rolling stock.

Постановка проблеми. Сучасні умови розвитку промисловості, економіки та суспільства міста зумовлюють необхідність всебічного дослідження та аналізу його транспортної системи з подальшою метою виявлення основних тенденцій та екологічних загроз, пошуку можливих шляхів зниження негативного впливу на навколишнє середовище міста.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню проблем впливу автомобільного транспорту на розвиток міста та його екологію присвячено низку наукових доробків як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників [2–5]. Ряд наукових робіт розкриває питання координованого регулювання дорожнього руху залежно від екологічних характеристик транспортного

потоків [2; 3]. Моделі прогнозування транспортних потоків використовуються для оцінки впливу на вулично-дорожню мережу та житлові райони [6–9].

Умови розвитку та функціонування сучасних міст залежать від наявності транспортних потоків, які складаються з транспортних кластерів із різними функціональними та цільовими характеристиками [1; 4]. Втім, незважаючи на чисельність публікацій із тематики екології міста, недостатньо вивченими є питання оцінки екологічної стійкості рухомого складу транспортних кластерів.

Постановка завдання. Метою статті є розробка методики оцінки впливу транспортного кластера на навколишнє середовище міста.

Виклад основного матеріалу. В сучасних умовах рухомий склад – це складна електротехнічна система, яка може бути розглянута як фізичний багаторівневий об’єкт, а саме як об’єкт, що освоює природні ресурси і виділяє забруднюючі речовини в навколишнє середовище міста. Аналогом такого фізичного об’єкту запропоновано прийняти елементарну фізичну частку «фрідмон». Визначення фрідмона надано М.А. Марковим у 1966 році: «фрідмон – це гіпотетична частинка, зовнішня маса і розміри якої малі, а внутрішні розміри і маса можуть перевершувати зовнішні у багато разів...». Не дивлячись на незначну масу, фрідмон є об’єктом, що може виділяти та поглинати необмежений обсяг ресурсу [5; 6].

Для отримання оцінки екологічної стійкості транспортного засобу як споживача «брудного ресурсу» в середовищі міста автори перетворили базову формулу розрахунку споживання умовного ресурсу фрідмоном (Г.В. Домогацький, І.М. Железних):

$$V_{сп.рес.} = V \cdot \frac{K_{свро5}}{\sqrt{K_{ек.н.}}} \cdot \frac{S_{мз}}{S_{енб}} \cdot \frac{m}{M} \cdot \frac{n_{ф}}{n_{н}}, \quad (1)$$

де V – обсяг двигуна уніфікованого транспортного засобу, [см³];

$K_{свро5}$ – кількість транспортних засобів, які відповідають екологічним критеріям Євро-5 і вище, [од.];

$K_{ек.н.}$ – кількість транспортних засобів, що відповідають екологічним критеріям менш ніж Євро-5, [од.];

$S_{ТЗ}$ – площа, яку займає рухомий склад, [м²];

$S_{енб}$ – габарити наближення будівель для автомобільного рухомого складу в умовах міста, [м²];

m – маса уніфікованого транспортного засобу, [т];

M – фактична маса транспортного засобу, [т];

$n_{ф}$ – фактичний обсяг споживання ресурсу транспортним засобом в умовах міста [од. вим.];

$n_{н}$ – нормативний обсяг споживання ресурсу транспортним засобом [од. вим.].

Порівняння показників, які визначають умови експлуатації рухомого складу в навколишньому середовищі міста, показало таке: 80% рухомого складу працює в режимі холостого ходу поза межами штатного режиму роботи двигуна, а обертаючий момент дорівнює 850 хв./об., що обумовлює зростання шкідливих викидів в атмосферу та ґрунт (рис. 1).

Для оцінки екологічної стійкості транспортних кластерів як «постачальника брудного ресурсу» автори будуть вважати, що кластер характеризується своєю щільністю, є неоднорідним за своєю структурою просторовим утворенням, яке має загасаючу на момент виміру швидкість руху ($V = 5$ км/год). Найбільший вплив на вулично-дорожнє середовище від кластера здійснюється в районі перехрестя.

Графічна модель транспортного кластера, розроблена на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Маріуполь на ділянці перед вузловим елементом, відображає параметричні характеристики кластера (рис. 2).

Визначення відстаней між групами автотранспортних одиниць досліджуваного кластера

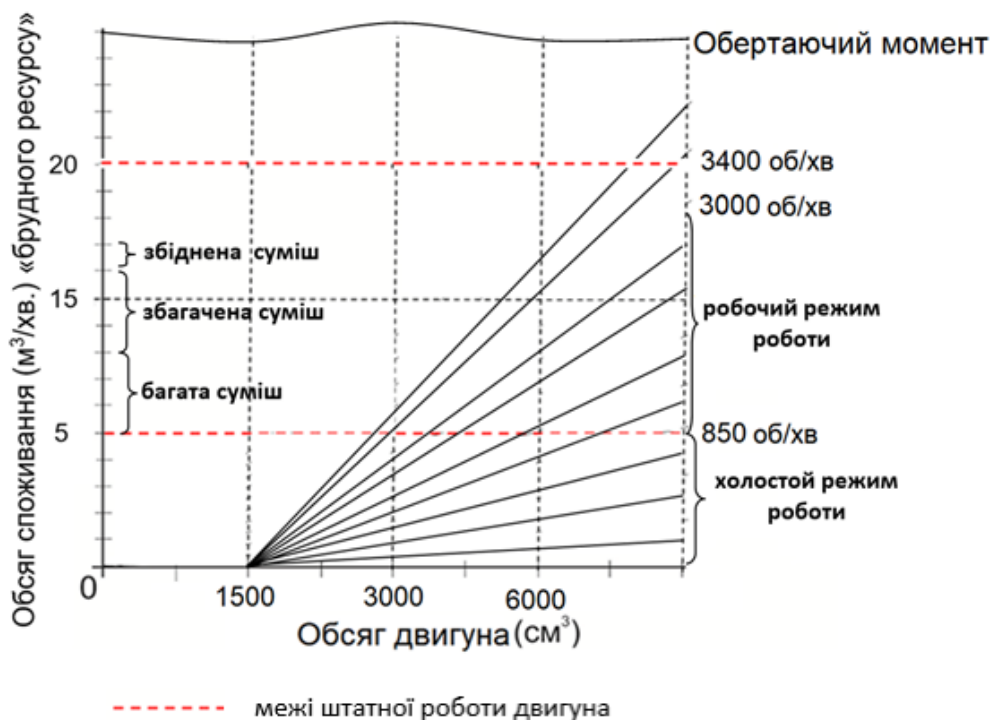


Рис. 1. Залежність обсягу споживання «брудного ресурсу» від характеристик експлуатації двигуна рухомого складу

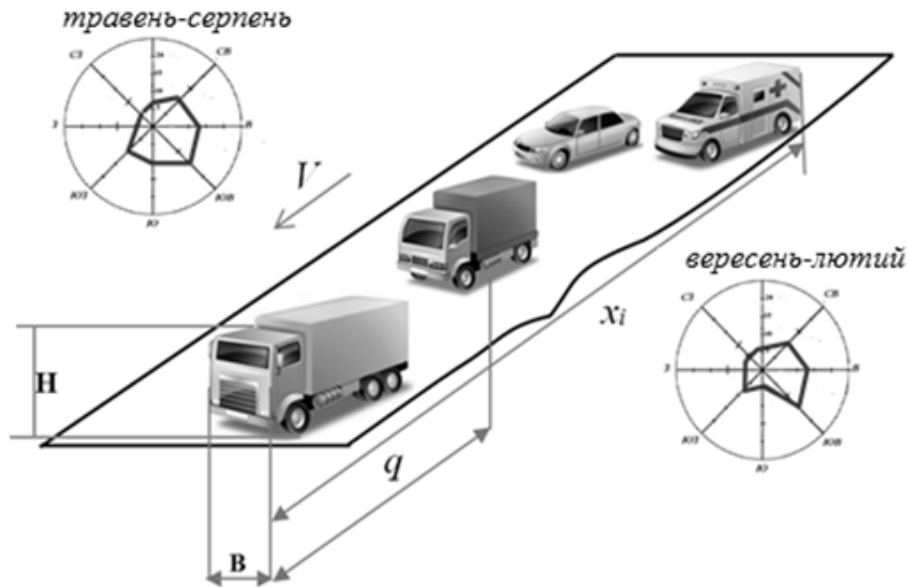


Рис. 2. Графічна модель, що відображає параметричні характеристики транспортного кластера

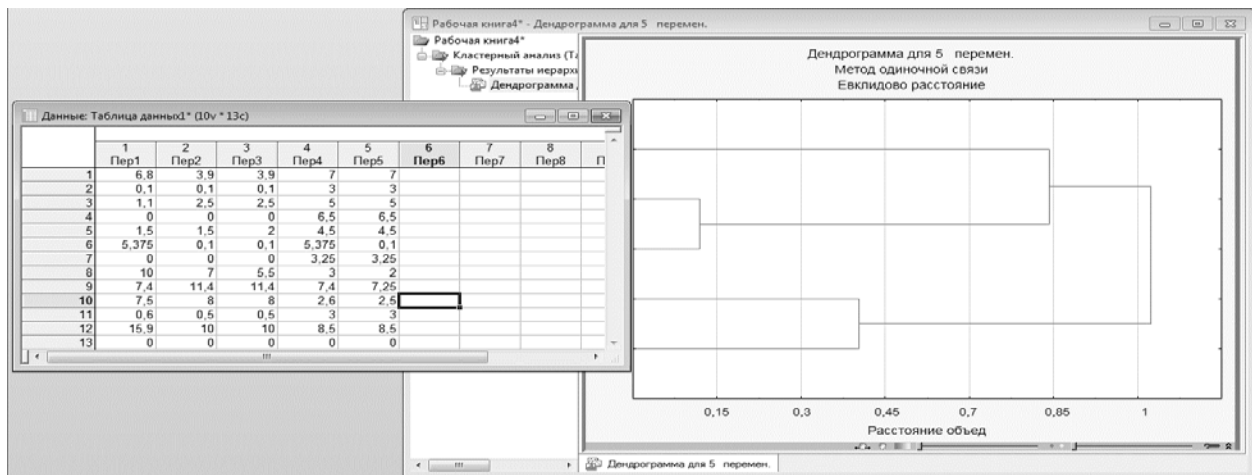


Рис. 3. Дендрограма транспортного кластера за ступенем впливу на екологію міста

здійснюється за допомогою програмного продукту Statistica. Розрахункова функція виглядає так:

$$d(r, s) = \min \left[\text{dist}(X_{ri}, X_{sj}) \right], \quad (2)$$

$$i \in (1, \dots, n_r), j \in (1, \dots, n_s)$$

де n_r – число складників (пасажирських транспортних засобів) у кластері r , [од.];

n_s – число складників (вантажних транспортних засобів) у кластері s , [од.];

x_{ri}, x_{sj} – відповідно i -й та j -й об'єкти у кластерах r і s , [м].

Оцінка прямого та непрямого впливу автотранспорту, що формує транспортний кластер, на навколишнє середовище міста наведена у вигляді дендрограми (рис. 3).

Рухомий склад поділено на групи: 1 – легкові автомобілі, 2 – вантажні автомобілі з бензиновими двигунами, 3 – вантажні з дизелями, 4 – автобуси з бензиновими двигунами, 5 – автобуси з дизелями.

Аналіз дендрограми транспортного кластера за ступенем впливу на навколишнє середовище міста (рис. 3) дозволяє зробити висновок, що прямий вплив від діяльності транспорту становить близько 48,55%, а основні забруднювачі – вантажівки з дизельними двигунами і легкові автомобілі (табл. 1).

Таблиця 1

Складники транспортного кластера (на прикладі м. Маріуполь)

Межі складових транспортного кластера		Рухомий склад, що досліджується
від, %	до, %	
82,4	100	Вантажний транспорт з дизелями
33,1	72,5	Легкові транспортні засоби

Оцінка забруднюючих речовин в атмосфері від транспортного кластера може бути визначена так:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i \cdot H \cdot B}{N \cdot v} \left(\Phi[\theta(A_j)] \cdot M \right), \quad (3)$$

де w_i – коефіцієнт ізоєфективності згідно існуючого класу безпеки речовини, до якого вона належить;

x_i – загальна довжина кластеру, що є «носієм» i -ї речовини, [м];

B – ширина рухомого складу (згідно ISO 612-1978 дорівнює 2,6 м);

H – висота рухомого складу (згідно ISO 612-1978 дорівнює 4 м);

N – кількість рухомого складу в досліджуваному кластері, [од].;

v – швидкість кластеру, [м/с];

$\Phi[\theta(A_j)]$ – функція значущості обраного екологічного критерію j з існуючої множини критеріїв;

A_j – фактична середньодобова (середньорічна) концентрація i -ї речовини, [мг/м³];

M – умовна вага забруднювача як хімічного елемента, який впливає на ступінь екологічної безпеки міста (експертна оцінка).

Функція $\Phi[\theta(A_j)]$ ставить у відповідність кожному значенню x якесь дійсне число – параметр

Таблиця 2

Вагомість показників експлуатаційних властивостей транспортних засобів в умовних групах (експертні оцінки)

Вимірювачі	Вагомість вимірників, %				
	1	2	3	4	5
Непрямий вплив на екологічну стійкість					
Гальмівні властивості	6,8	3,9	3,9	7,0	7,0
Керованість, стійкість	0,1	0,1	0,1	3,0	3,0
Оглядовість, освітлення	1,1	2,5	2,5	5,0	5,0
Травмобезпека	0	0	0	6,5	6,5
Вібронавантаженість	1,5	1,5	2,0	4,5	4,5
Ергономічність салону	5,375	0,1	0,1	5,375	0,1
Габарити салону	0	0	0	3,25	3,25
Потреба конструкційних матеріалів	10,0	7,0	5,5	3,0	2,0
Потреба експлуатаційних матеріалів	7,4	11,4	11,4	7,4	7,25
Трудовитрати	7,5	8,0	8,0	2,6	2,5
Прийосованість до надання транспортних послуг	0,6	0,5	0,5	3,0	3,0
Тягово-швидкісні властивості	15,9	10,0	10,0	8,5	8,5
Маневреність, прохідність	0	0	0	0	0
Прямий вплив на екологічну стійкість					
Забруднення води	2,54	3,14	3,29	2,18	2,2
Забруднення ґрунту	1,0	1,0	1,0	1,0	1,25
Теплове забруднення	2,0	2,0	1,5	2,385	2,375
Шумове забруднення	6,9	6,9	7,4	5,35	5,5
Електромагнітне забруднення	2,0	2,0	1,5	2,385	2,375
Забруднення повітря сумарне	22,96	28,36	29,71	19,72	22,3
у тому числі:					
СО	3,0	3,5	4,15	2,75	2,5
СН	10,0	10,5	7,35	5,5	4,25
NO _x	7,35	10,35	8,3	8,17	8,0
Тверді частки	0,5	0,5	5,56	0,5	4,5
SO ₂	1,56	2,46	2,8	1,75	2,0
РЬ	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Споживання енергоресурсів	6,0	5,0	5,0	4,0	2,25
Вплив на біоту і відчуження земель	0	0	0	0	0
Водоспоживання	1,1	1,1	1,1	0,5	0,5
Споживання кисню повітря	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Пускові властивості	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0
ВСЬОГО	100	100	100	100	100

цінності $\theta(x)$. Причому x краще x' за умови, що $\theta(x) > \theta(x')$, а x рівноцінно x' тільки у випадку виконання умови:

$$\theta(x) > \theta(x') \quad (4)$$

Якщо функція адитивна, то для всіх $i = 1, \dots, n (n > 3)$ параметр цінності можна навести так:

$$\vartheta(X_1, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \vartheta_i(X), \quad (5)$$

де ϑ_i – показники властивостей, виражені значеннями в безрозмірному вигляді;

γ_i – вагові (за шкалою) коефіцієнти, що характеризують ціннісні співвідношення між показниками і задовольняють умови:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1, \quad (6)$$

Значення коефіцієнтів вагомості окремих показників властивостей транспортних засобів як складників транспортних кластерів встановлені експертним шляхом (Табл. 2).

У таблиці 2 наведені коефіцієнти вагомості для п'яти груп транспортних засобів як і в дендрограмі. Отримана кількісна оцінка кластерів, утворюючих транспортний потік, дозволяє підкреслити важливість проблеми, що досліджується, та необхідність розробки механізму прогнозу впливу транспортних кластерів на екологічну систему вулично-дорожнього середовища міста.

Головні висновки. У статті проведено дослідження рухомого складу як складника транспортного кластера в міській системі розроблена графічна модель кластера на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Маріуполь. Дендрограма транспортного кластера за ступенем впливу на екологію міста сформована на основі аналізу залежності обсягу споживання «брудного ресурсу» від характеристик експлуатації двигуна рухомого складу. За допомогою експертних оцінок представлені групи непрямих і прямих показників експлуатаційних властивостей транспортних засобів і значення коефіцієнтів їх вагомості.

Література

1. Лямзін А.О., Ніколаєнко І.В. Прогнозування впливу транспортних потоків на вулично-дорожню мережу міста // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського: Серія технічні науки. Київ, 2018. Том 29 (68) № 1. Частина 3. С. 109–114.
2. Поліщук В.П., Бакуліч О.О. Застосування координованого регулювання дорожнім рухом залежно від екологічних характеристик транспортного потоку // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів : зб. наук. пр. / Український транспортний університет. Київ, 1998. Вип. 5. С. 214.
3. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ : Знання України, 2008. 175 с.
4. Хрутьба В.О. Формування критеріїв оцінки екологічних проектів забезпечення сталого розвитку транспортно-дорожнього комплексу // Вісник Національного транспортного університету. 2014. № 29 (2). С. 113–123.
5. Stathopoulos A., Karlftis M.G. A multivariate state space approach for urban traffic flow modeling and prediction // Transportation Research Part C : Emerging Technologies. 2003. Vol. 11, № 2. P. 121–135.
6. Edussuriya Pr., Chan A., Malvin A. Urban morphology and air quality in dense residential environments: correlations between morphological parameters and air pollution at street-level // Journal of Engineering Science and Technology. 2014. Vol. 9, № 1. P. 64–80.
7. The application of space-time ARIMA model on traffic flow forecasting / S.-H. Lin, H.-Q. Huang, D.-Q. Zhu, T.-Z. Wang // Machine Learning and Cybernetics, 2009 International Conference on. 2009. Vol. 6. P. 408–412.
8. Min W, Wynter L. Real-time road traffic prediction with spatiotemporal correlations // Transportation Research. Part C : Emerging Technologies. 2011. Vol. 19, № 4. P. 606–616.
9. Guorong, G., Yanping L. Traffic Flow Forecasting based on PCA and Wavelet Neural Network // Information Science and Management Engineering (ISME). 2010. Vol. 1. P. 158–161.

ОРГАНІЗАЦІЯ РЕЗЕРВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СМУГИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Шелудченко Л.С.¹, Комарницький С.П.¹,
Поліщук Д.В.², Замойський С.М.¹, Семенишена Р.В.¹

¹Подільський державний аграрно-технічний університет
вул. Шевченка, 13, 32300,

м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область

²ТД ВО Машинобудівний завод

вул. Героїв України, 94, 27500, м. Світловодськ, Кіровоградська область
sheludcenkolesa@gmail.com, mash-zavod@i.ua, alexrusl@ukr.net

У роботі розглядається питання екологічно раціональної системи ландшафтної організації придорожніх ландшафтів. Визначено, що головним методом управління екологічною безпекою природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею є науково-обґрунтоване рішення конструкційного облаштування безпосередньо резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. На основі теоретичних та експериментальних досліджень доведено, що до основних факторів впливу відносяться також конструкційні особливості, технічний рівень та експлуатаційний стан автомобільної дороги. Окрім того, транспортна здатність автодороги, яка визначається способом організації руху, забезпечує як достатню безпеку кожного з його учасників, так і в свою чергу, визначає рівень техногенної та екологічної безпеки автотранспортного комплексу вцілому. На підставі висновків підтверджено, що рівень екологічної безпеки території з щільною мережею автомобільних доріг носить комплексний характер, для розв'язання якого необхідний пошук нових ефективних методів конструювання всіх без винятку об'єктів автотранспортної інфраструктури. Дане рішення забезпечить можливість управління повітряними потоками, які виступають транспортуючим середовищем для забруднюючої домішки, та здійснюватиме достатній захист придорожніх ландшафтів. За результатами досліджень динаміки процесів масопереносу і депонування забруднюючих речовин в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг встановлено, що важливу роль відіграє шорсткість поверхні природних ландшафтних та штучно створених об'єктів профілю резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. Окрім того встановлено, що внаслідок антропогенної зміни ландшафту і специфічних термодинамічних умов атмосфери, які зумовлені впливом автотранспортних потоків, створюється особливий мікроклімат. В зоні смуги відведення автомобільної дороги спостерігається стратифікаційний поділ атмосфери, який необхідно використовувати для управління повітряних потоків, що в свою чергу містять забруднюючу домішку транспортних викидів та їх максимального депонування в поперечному профілі автомобільної дороги. Таким чином буде досягнута основна кінцева мета: здатність території забезпечувати господарські потреби регіону без порушення екологічної рівноваги. *Ключові слова:* екологічна безпека, автотранспортна мережа, придорожній ландшафт, забруднення довкілля.

Organization of the technological line of the highway for improvements environmental safety. Sheludchenko L., Komarnitskyi S., Polishchuk D., Zamoisky S., Semenyshena R.

The paper deals with the issue of ecologically rational system of landscape organization of roadside landscapes. It is determined that the main method of managing the ecological safety of a natural-technogenic geo-ecosystem with a developed road transport network is a scientifically-grounded solution of the structural arrangement of a direct reserve technological highway. This solution will allow for the management of air pollutant streams and provide adequate protection for the roadside landscapes. On the basis of theoretical and experimental studies it is proved that the main factors of influence include structural features, technical level and operational condition of the highway. In addition, the transport capacity of the road, which is determined by the way the traffic is organized, provides both sufficient safety for each of its participants, and in turn, determines the level of technogenic and environmental safety of the motor transport complex as a whole. Based on the findings, it is confirmed that the level of environmental safety of the area with a dense network of roads is complex. It requires the search for new and effective methods of constructing all vehicles without exception. According to the results of studies of the dynamics of mass transfer and deposition of pollutants within the reserve technological roads, it is established that the surface roughness of the natural landscape and artificially created objects of the profile of the reserve technological road lane plays an important role. Furthermore, a special microclimate is created due to the anthropogenic changes in the landscape and the specific thermodynamic conditions of the atmosphere, which are caused by the influence of traffic flows. A stratification of the atmosphere is observed in the area of the highway. It should be used to control the airflows containing contaminants of transport emissions and their maximum deposition in the transverse profile of the highway. Structural support for the stratification of atmospheric layers adjacent to the roadway lane is realized through the use of gas-dust protective strips in the form of two-sided "geochemical" barriers. They should be fractal-consistent with natural landscapes with respect to their scientifically structural features and planting patterns of wood and shrubs. Also, in the dissertation research there has been proposed the landscape-ecological optimization of the design of reserve-technological lanes of highways on sections with special traffic conditions (intersections, streamlines, etc.). In this way, the ultimate goal will be achieved: the ability of the territory to meet the economic needs of the region without disturbing the ecological balance. *Key words:* ecological safety, roadside landscape, road network, pollution.

Постановка проблеми. Робота спрямована на вирішення прикладної проблеми, яка полягає у підвищенні рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем (ПТГЕС) з високою щільністю автодорожньої мережі. Функціонування та рівновага будь-якої ПТГЕС, яка утворена в результаті активної господарської діяльності, визначається як природними складовими, так і техногенними об'єктами, які забезпечують задоволення потреб суспільства. Саме тому, використання екологічно раціональної системи ландшафтної організації придорожніх ландшафтів є головним методом управління екологічною безпекою природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею. В загальному кінцевою метою досліджень є здатність території забезпечувати транспортні потреби регіону при перевезенні вантажів та пасажирів без порушення екологічної рівноваги ПТГЕС та при цьому забезпечувати найбільший економічний ефект господарської діяльності.

Актуальність дослідження. Слід відмітити, що специфіка підходу у вирішенні зазначеної проблеми відрізняється в різних країнах в залежності від масштабу проблеми в даній галузі. Необхідно здійснити акцент на технологічну та як наслідок екологічну культуру діяльності. Як приклад, експлуатаційний ресурс автомобільної дороги в США до 1-го капітального ремонту становить 30–35 років, що автоматично віддаляє на достатньо тривалий термін такі поширені в Україні проблеми як: мережа тріщин на поверхні дорожнього одягу автомобільної дороги та утворення ям (каверн); поперечна дислокація конструкції автомобільної дороги; поздовжня колія; мікролокальне пошкодження поверхні дорожнього одягу. Для порівняння слід відзначити, що гарантійний термін експлуатації автомобільної дороги в Україні становить 5 років до першого капітального ремонту. Проте даний термін не дотримується уже після року експлуатації, що призводить до підвищення небезпеки для усіх учасників дорожнього руху. В Україні найбільш поширені показники незадовільного транспортно-експлуатаційного стану автошляхів становлять: 51,1 % не відповідають вимогам за рівністю, 39,2 % – за міцністю, що в загальному призводить до зниження середньої швидкості руху на автошляхах у 2-3 рази у порівнянні із західноєвропейськими країнами. Окрім того, слід відмітити і глобальність процесу автомобілізації, який характерний як для України (202 одиниці), так і для країн ЄС (400-500 одиниць на тисячу жителів). Проте в Україні рівень забруднення атмосферного повітря в результаті функціонування автотранспорту значно вищий ніж в країнах ЄС і є серйозною проблемою, яка потребує вирішення.

Однією із причин ситуації, що склалася в Україні, є парк транспортних засобів, який за останні 10 років також суттєво застарів. Згідно даних [1]

близько 60 % автомобілів мають термін експлуатації 10 років, 30 % – понад 15 років і лише 5 % до 10 років. Причиною є масове ввезення автомобілів застарілої конструкції, і відповідно застарілими екологічними вимогами до них. В результаті автотранспортний комплекс є основним джерелом викидів канцерогенних забруднюючих речовин. Така ситуація носить комплексний характер та призводить до ряду екологічних проблем: шумового забруднення, емісії забруднюючих речовин, їх поширення та депонування в об'єктах навколишнього середовища, загрози здоров'ю людей тощо [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Обґрунтування основ екологічно безпечної функціонування мережі автомобільних доріг та методів їх практичної реалізації є актуальним питанням, яке відповідає пріоритетним напрямкам діяльності визначених в «Основних напрямках державної політики України в області охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки» відповідно до Постанови Верховної Ради України № 188/98-ВР від 05.03.1998 року та основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року затверджених Законом України № 2818-IV від 21.12.2010 року, Закону України «Про автомобільний транспорт» від 17.07.2015 року, Закону України «Про автомобільні дороги» від 01.01.2018 року та Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вивчення впливу та захисту навколишнього середовища від негативного впливу автотранспортного комплексу є актуальним серед науковців. Зокрема, вагомі результати з проблеми екологічної безпеки автотранспортного комплексу викладені в роботах Н.В. Внукової (розроблення науково-методологічних основ екологічної безпеки комплексу «автомобіль-дорога-середовище»), Г.І. Рудька та О.М. Адаменка (визначення основних принципів конструювання ландшафтів природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею), В.М. Шмандія (розроблення принципів та методів управління природоохороною діяльністю), С.М. Степаненка (дослідження міграційних та дифузійних процесів газо-пилових повітряних аерозолей, в тому числі викидів, які продукуються автотранспортними потоками).

Досвід закордонних науковців переважно спрямовується на вирішення таких проблем як: використання безпечних хімічних сумішей для боротьби з обледенінням дорожнього покриття автомобільної дороги; зменшення фрагментації природних екосистем, шляхом створення екодуків та екопереходів в місцях природних міграцій диких тварин та зменшення можливості їх потрапляння на проїжджу частину тощо.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Питання наукового обґрунтування щодо забезпечення екологічної безпеки території з щільною мережею автодоріг шляхом організації резервно-технологічних смуг (конструкцій захисних смуг), узгоджених за фрактально-інваріантними ознаками з ландшафтно-територіальними ознаками конкретних ПТГЕС, їх кліматичними та метеорологічними характеристиками з урахуванням транспортно-експлуатаційних властивостей автомобільної дороги є новим підходом до рішення загальної проблеми.

Новизна. Наукова новизна результатів досліджень полягає у забезпеченні екологічно безпечного функціонування автотранспортного комплексу, що передбачає системний підхід до розроблення концепції його розвитку в межах конкретних природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею. Проблемою сучасних досліджень є вивчення окремих об'єктів досліджуваної системи, які несуть штучно виділений фрагмент та результати яких в повній мірі не відображають реального стану та не вирішують існуючих проблеми. Розроблення комплексного підходу до системи захисту придорожніх ландшафтів від негативного впливу автотранспортного комплексу уже на стадії проектування автодорожньої мережі забезпечуватиме економічну, транспортну та екологічну доцільність із мінімізацією техногенних трансформацій природно-територіального комплексу вцілому.

Методологічне або загальнонаукове значення. Основні результати роботи досягнені на підставі методів фрактальної інваріантності з урахуванням принципів конструкційної спадковості проектних рішень газо-пилізахисних лісосмуг автомобільних доріг. Міграційні процеси газо-пилівих аерозолів досліджуватимуться на підставі законів термодинаміки та енергомасопереносу.

Викладення основного матеріалу. Процеси міграції та депонування забруднюючих речовин в межах ПТГЕС зумовлені багатьма природними та техногенними факторами. Зокрема, це погодно-клі-

матичні умови, особливості ландшафту та структура біосфери, наявність бар'єрів (у тому числі і штучно створених), як особливих ділянок геоморфооблони, на яких відбувається різке зменшення інтенсивності міграційних потоків та інтенсифікація депонування забруднюючих речовин в конкретних зонах [3].

Вважається, що автотранспортний комплекс ПТГЕС сформовано з заданим рівнем екологічної безпеки природно-територіального комплексу, якщо в приземних шарах атмосферного повітря над всією контрольованою територією концентрації окремих компонентів викидів, які продукуються автотранспортними потоками не перевищують середньо-добових значень їх ГДК. Тому створення штучних геохімічних бар'єрів [4] є одним із основних методів управління екологічною безпекою природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею [5]. Відповідно, врахування таких факторів як категорія автомобільної дороги, кліматичні умови регіону, екологічні та біологічні особливості деревних та чагарникових порід, особливості ландшафту та характеру трасування автомобільних доріг забезпечать можливість керування повітряними потоками та здійснювати захист придорожніх ландшафтів від викидів забруднюючих речовин автотранспортних потоків.

Аеродинамічні характеристики конструкцій газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг мають бути забезпечені як геометричними параметрами профілю поперечного перерізу (рис. 1-а), так і схемою посадки деревних і чагарникових порід (рис. 1-б), сприятимуть виведенню газо-пилівих забруднювачів із зони проїжджої частини автодороги, та подальшому їх депонуванню безпосередньо в резервно-технологічній смузі, що, в свою чергу, значно покращить умови праці водіїв та режим експлуатації автотранспортних засобів [6].

В межах смуг відведення автомобільної дороги фонові кліматичні умови зазнають суттєвих змін внаслідок трансформації ландшафту, що призводить до формування специфічного мікроклімату автодорожньої мережі.

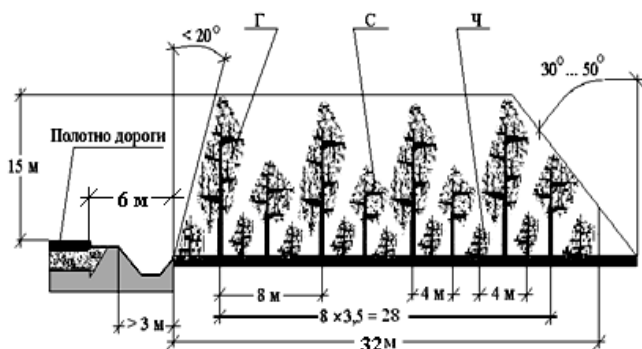


Рис. 1-а. Фрактально-інваріантні моделі лісових газо-пилізахисних смуг автошляхової мережі

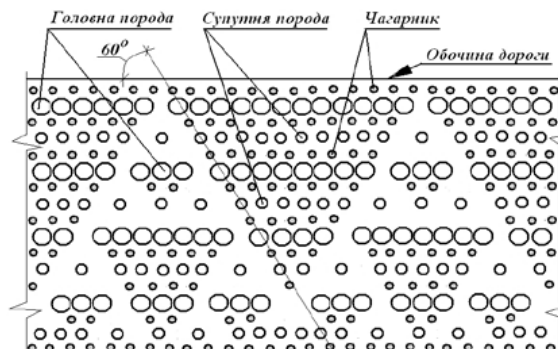


Рис. 1-б. План структурної організації посадки деревних і чагарникових порід

Лінійно-розгалужена структура автодорожньої мережі визначає, що процеси формування мікроклімату кожної конкретної ділянки автомобільної дороги визначаються, в першу чергу характером вертикальних рухів елементарних об'ємів повітряних мас в зоні смуги відведення. Головним чинником вертикальних рухів елементарних об'ємів повітряного аерозолу є різниця температури (T_i) елементарного об'єму повітряного аерозолу і температури (T_e) навколишнього середовища. Відповідно, прискорення елементарного об'єму аерозолу газо-пилової хмари викиду у вертикальному напрямі буде визначатись:

$$\frac{dv_i}{dt} = g \frac{T_{i0} - T_{e0}}{T_e} + g \frac{\gamma - \gamma_a}{T_e} \Delta h \quad (1)$$

де v_i – вертикальна швидкість переміщення елементарного об'єму повітряного аерозолу в кожній конкретній точці;

t – час;

g – прискорення вільного падіння;

T_{i0} – температура елементарного об'єму повітряного аерозолу в момент викиду;

T_{e0} – температура повітря на рівні поверхні автомобільної дороги;

Δh – вертикальний розмір розглядуваного шару повітря;

$\gamma - \gamma_a$ – різниця температурних градієнтів в Δh .

Представимо (1) у вигляді:

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{dv_i}{dt} \Big|_{h=h_0} + \frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} \quad (2)$$

Очевидно, що вертикальне прискорення елементарного об'єму аерозолу газо-пилової хмари викиду у рівнянні (2) визначається другим доданком його (рівняння) правої частини, тобто:

$$\frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} = g \frac{\gamma - \gamma_a}{T_e} \Delta h \quad (3)$$

За характером вертикального переміщення елементарного об'єму аерозолу газо-пилової хмари викиду, відповідно (3), розрізняється три варіанти за станом стійкості атмосфери (рис. 2):

– якщо $\frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} < 0$ вертикальні рухи аерозолу

відбуваються з певним прискоренням, швидкість вертикального (спрямованого догори) переміщення елементарного об'єму газо-пилової хмари викиду зростає і, в цьому випадку, за означенням стратифікація шарів атмосферного повітря є нестійкою;

– якщо $\frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} < 0$ вертикальні рухи аерозолу

відбуваються з певним уповільненням (від'ємне прискорення), швидкість вертикального (спрямованого догори) переміщення елементарного об'єму газо-пилової хмари викиду зменшується і за означенням такий випадок визначає стратифікацію шарів атмосферного повітря як стійку;

– якщо $\frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} = 0$ повітряні маси, які оточують

газо-пилову хмару викиду, характеризуються значенням градієнтів температури $\gamma = \gamma_a$, а отже не призводять до змін вертикальної швидкості елементарних об'ємів аерозолу і за означенням визначають даний стан стратифікації атмосфери як байдужий.

– Отже, конструкційне забезпечення стратифікаційних відмінностей шарів атмосфери, прилеглих до полотна проїжджої частини автодороги, реалізується шляхом використання природно-ландшафтних або облаштування штучних захисних споруд смуги відведення автомобільної дороги (наприклад, у нашому випадку газо-пилозахисних смуг), які будуть виконувати роль двобічних «геохімічних» бар'єрів.

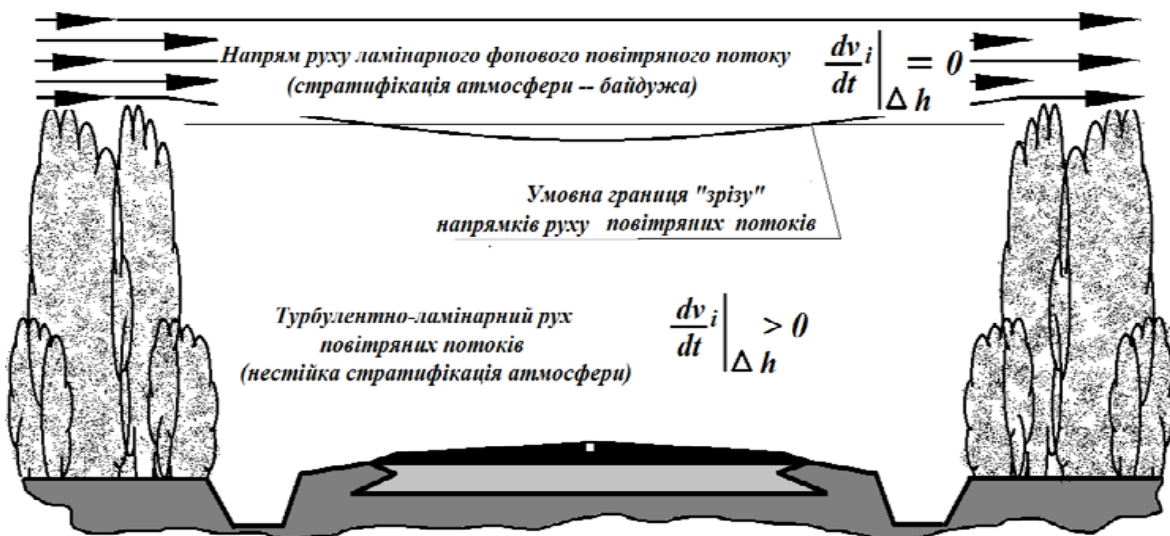


Рис. 2. Стан стійкості атмосфери відповідно до характеру стратифікації атмосфери над полотном проїжджої частини автомобільної дороги

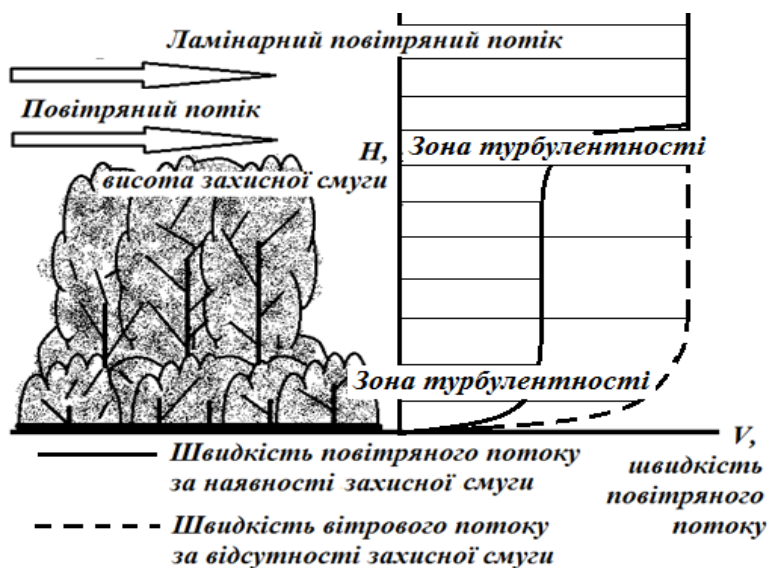


Рис. 3. Характер зміни швидкостей повітряних потоків за наявності і відсутності механічної перешкоди у вигляді елементів ландшафту

Для забезпечення надійного депонування транспортних викидів (особливо викидів мінерального пилу та технічного вуглецю у вигляді сажі) в поперечному профілі автомобільної дороги необхідно врахувати принцип стратифікаційного поділу атмосфери та характеристики повітряних потоків в зоні прилеглий до полотна проїжджої частини автодороги (рис. 3).

Головні висновки: Екологічна оптимізація конструкційних рішень резервно-технологічної смуги автомобільних доріг має передбачати максимально можливе обмеження динамічних процесів енерго-масопереносу забруднюючих речовин через контрольну поверхню цієї системи, яка повинна бути визначена її науково-обґрунтованими параметрами. При цьому, обов'язковою умовою є узгодження інженерної інфраструктури автодорожньої мережі з територіально-ландшафтними ознаками ПТГЕС віцілому.

Ефективним заходом підтримання екологічної рівноваги природно-техногенних геоєкосистем з високою щільністю автотранспортних мереж є створення штуч-

них лінійно-двобічних геохімічних бар'єрів у вигляді газо-пилізахисних смуг деревно-чагарникового типу, структура посадки яких передбачає наявність лабіринту штучно створюваних лакунарних порожнин у вигляді фітоценотичних ніш [7].

Перспективи використання результатів досліджень. Отримані результати досліджень можуть бути використані в галузі дорожнього будівництва та спрямовуватися на забезпечення екологічної безпеки в галузі дорожнього будівництва, при розробці відповідних нормативних документів та методичних рекомендацій, щодо будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

Подальші дослідження передбачатимуть обґрунтування видового складу та структури деревних і чагарникових порід захисних смуг з урахуванням транспортного навантаження, дорожньо-кліматичного районування території, конструкційних особливостей резервно-технологічної смуги профілю автомобільної дороги тощо.

Література

1. Батурич В.К. Техногенное химическое воздействие автомобильных дорог на экосистемы придорожной полосы. Воронеж: изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. 112 с.
2. Шелудченко Л.С., Поліщук Д.В. Екологічна оцінка шумового забруднення міста, спричиненого діяльністю автотранспортних засобів і стаціонарних джерел. *Екологічні науки: науково-практичний журнал № 4 (23)*. Київ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2018. С. 10–14.
3. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. Москва: Высшая школа, 2001. 296 с.
4. Лукіша В.В. Проблеми полезахисних лісосмуг в агроландшафтах України в контексті змін клімату. *Екологічні науки: науково-практичний журнал 2 (25)*. Київ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2019. С. 64–68.
5. Бахарев В.С., Шмандий В.М., Шмандий Е.В. Особенности формирования экологической опасности на региональном уровне и социогенные аспекты управления экологической безопасностью. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: Міжрегіональні проблеми екологічної безпеки*. Одеса: ОДАБТА, 2008. № 29. Ч. 1. С. 381–388.
6. Овчарук О.В., Шелудченко Л.С., Гуцол Т.Д. Экологическая характеристика конструкций газо-пылещазитных лесополос автомобильных дорог. *European Journal of Intelligent Transportation Systems 1(1)*, November 2018/ P. 7–14.
7. Вознюк С.В. Обґрунтування параметрів конструкції лабіринту лакунарних порожнин в структурі газо-пилізахисних лісосмуг автомобільних доріг: автореф. дис ... канд. техн. наук: 21.06.01. Кам'янець-Подільський, 2017. 27 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ АНОМАЛЬНОСТІ СТАНУ РІВНЯ ВОДИ ШАЦЬКИХ ОЗЕР У 2019 РОЦІ

Корлятович Т.Ю., Тартачинська З.Р., Покотило І.Я.

Інститут геодезії

Національного університету «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів

tetiasek@gmail.com, ztartachynska@yahoo.com

У статті проаналізовано низку природних та антропогенних чинників, які впливають на екологічний стан Шацьких озер. Серед природних можна зазначити метеофактори та сонячну активність, а щодо антропогенних, то тут великий вплив на екобезпеку регіону має розробка Хотиславського піщано-крейдового родовища та активне використання Шацьких озер як рекреаційної зони. Це спонукає до виконання постійного комплексного гідро-екологічного моніторингу. На території Шацького національного природного парку (далі – ШНПП) виконано обстеження та оновлення геодезичної мережі, яка складається з трьох полігонів. Обладнано тимчасові водомірні пости на 9 озерах: Пісочне, Мошне, Кримне, Перемут, Соменець, Чорне Велике, Люцимер, Пулемецьке та Острів'янське. Для дослідження динаміки зміни рівня води сконструйовано мобільний водомірний пост, перевагами якого є мобільність і низька собівартість, та запропоновано методику виміру рівня води з його допомогою, що дозволяє підвищити точність вимірювання рівня води до 1 мм. Моніторингові дослідження рівнів поверхневих вод Шацького поозер'я виконувалися щомісяця, крім зимових періодів, протягом 2016–2017 років не лише на тимчасових постах, але й на постійному водомірному пості на озері Світиязь. Досліджено взаємозв'язок між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води та метеорологічними факторами. Встановлено закономірності взаємозв'язку сонячної активності та багаторічної динаміки зміни рівня води озера Світиязь за період 1985–2019 років. Обчислено середні значення коефіцієнтів кореляції між метеорологічними факторами та рівнем води за період з 1985 по 2019 рік. Зроблено висновки та окреслено перспективи подальших досліджень. *Ключові слова:* геодезична основа, поверхневі води, мобільний водомірний пост, рівень води, коефіцієнт кореляції, метеорологічні фактори, сонячна активність.

Investigation of abnormal water level status Shatsk lakes in 2019. Korliatovych T., Tartachynska Z., Pokotylo I.

The article analyzes a number of natural and anthropogenic factors that influence the ecological status of Shatsk lakes. Among the natural ones are meteorological factors and solar activity, while for anthropogenic, the development of the Khotytslavsk sand-cretaceous deposit and the active use of Shatsk lakes as a recreational zone have a major impact on the ecological safety of the region. This leads to the implementation of continuous integrated hydro-environmental monitoring. Surveying and updating of the geodetic network was carried out on the territory of the Shatsk National Nature Park (SNNP). A high-altitude geodetic network consisting of 3 polygons was created. Temporary hydrometric station were equipped on 9 lakes: PISOCHNE, MOSHNE, KRYMNE, PEREMUT, SOMENETS, CHERNE VEELYKE, LUTSYMER, PULEMETSKE and OSTRIVYANSKE. For the investigation of the dynamics of changing the water level, a mobile hydrometric station was constructed, the advantages of which are mobility and low cost, and a method of measuring the water level using it, which allows to increase the accuracy of measuring the water level up to 1 mm. The investigation of the surface water levels of Shatsk Lake were performed on a monthly basis, except in winter, during 2016–2017, not only on temporary posts, but also on a permanent hydrometric station on Lake Svitiyaz. The relationship between long-term, seasonal variations in water levels and meteorological factors has been investigated. The regularities of the relationship between solar activity and the long-term dynamics of water level changes in Lake Svitiyaz for the period 1985–2019 were investigated. The average values of the correlation coefficients between the meteorological factors and the water level for the period 1985–2019 were calculated. The conclusions were drawn and the prospects for further research were outlined. *Key words:* geodetic basis, surface water, mobile hydrometric station, water level, correlation coefficient, meteorological factors, solar activity.

Постановка проблеми. Натепер існує потенційна загроза знищення унікальної екосистеми Шацьких озер. Причиною є як природні, так і антропогенні фактори. Щодо природних, то це в першу чергу метеофактори, циклічний прояв сонячної активності, можливий вплив глобальних кліматичних змін. Серед антропогенних факторів, які впливають на екобезпеку регіону, велике значення має Хотиславське піщано-крейдове родовище, розробка якого ведеться з 2009 року. Родовище розташоване на території Білорусі біля українсько-білоруського кордону [2]. Оскільки Шацькі озера карстового походження, то дуже вразливі до змін у водоносних горизонтах, які неминуче виникають при освоєнні

родовищ. Освоєння кар'єру також несе загрозу техногенного забруднення поверхневих і ґрунтових вод, зниження рівня ґрунтових вод.

Актуальність дослідження. Ще в 1960–1980 роках внаслідок гідромеліоративних робіт рівень ґрунтових вод у регіоні знизився. Скоротилася площа водного дзеркала водойм, зменшилась їх глибина. Це сприяє інтенсивному розвитку вищої водної рослинності й посиленню процесу замулення. В глибоких озерах швидкість накопичення мулу складає 1-2 мм/рік, у мілководних – 10–20 мм/рік. Зміна екологічного і гідрологічного балансу в регіоні сприяє прискоренню руйнування торф'яників, що призводить до збільшення ризику самозаймання торфу і лісових пожеж.

У цьому регіоні проходять тектонічні і шовні розломи. Навіть незначні підземні поштовхи можуть спричинити збій у системі підземних вод і призвести до утворення карстових пустот, які заповнюються водами Шацьких озер. Одним із вагомих факторів, який загрожує екобезпеці регіону, є інтенсивне використання Шацьких озер як рекреаційної зони. Щорічно територію парку відвідують десятки тисяч людей, і їхня кількість збільшується з року в рік. Відповідно зростає й антропогенне навантаження на довкілля Шацьких озер, особливо озера Світязь і Пісочне. В літній період є проблема з каналізацією та утилізацією сміття в селах Світязь і Мельники, що призводить до органічного забруднення води. Внаслідок цього відбувається інтенсивний розвиток мікрофлори, водоростей, заростання озер. На екологічний стан Шацьких озер також впливає хімічне забруднення води. Всі вище перелічені фактори свідчать про необхідність систематичного і комплексного проведення моніторингу гідрологічного та екологічного станів Шацького поозер'я.

Зв'язок авторського доробку з важливими та практичними завданнями полягає у розробленні загальних рекомендацій для адміністрації Шацького національного природного парку щодо оптимізації моніторингу рівнів води для прогнозування зміни рівня води та виявлення змін у її динаміці спричинених техногенними факторами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом тривалого періоду дослідження рівня води в озерних екосистемах не мали постійного моніторингу, мали епізодичний, обмежений харак-

тер. Дослідження рівня води безперервно виконувалося лише на одному водомірному пості на озері Світязь [3]. Проте ніхто не проводить виміри щодо стабільності реперів водомірного посту, тому невідомо, чи є достовірними результати моніторингу. Дослідження рівнів води на інших озерах проводилися періодично і були опубліковані за матеріалами Волинського обласного виробничого управління водних ресурсів і водного господарства в працях Л. Ільїна [5].

Середньорічні рівні води поліських озер вивчав С. Кутовий [9] і Л. Ільїн [5]. Також озерам досліджуваної території присвячені праці вчених В. Погребеника [4], О. Дятел [6], В. Мокрия [8], Ю. Ситник [14], Н. Карпенко [7], Н. Хомік [1]. Дослідження дна водойм ШНПП описані в роботах [15]. Окремі дослідження динаміки водних мас виконував Інститут гідробіології НАН України [16], проте динаміка зміни рівнів озер вивчена не достатньо.

Новизна. Виявлено залежність багаторічної зміни рівня води озера Світязь від сонячної активності, температури повітря та опадів за період 1985–2019 років. Встановлено залежність сезонної зміни рівня води озера Світязь від метеорологічних факторів за період з 2006 до 2019 року.

Виклад основного матеріалу. У 2015–2017 роках викладачами кафедри геодезії Національного університету «Львівська політехніка» створено висотну геодезичну мережу на території Шацького національного природного парку (ШНПП), яка складається з 3 полігонів (23 пунктів) загальною довжиною 59,4 км (рис. 1). У структуру полігонів входять вже

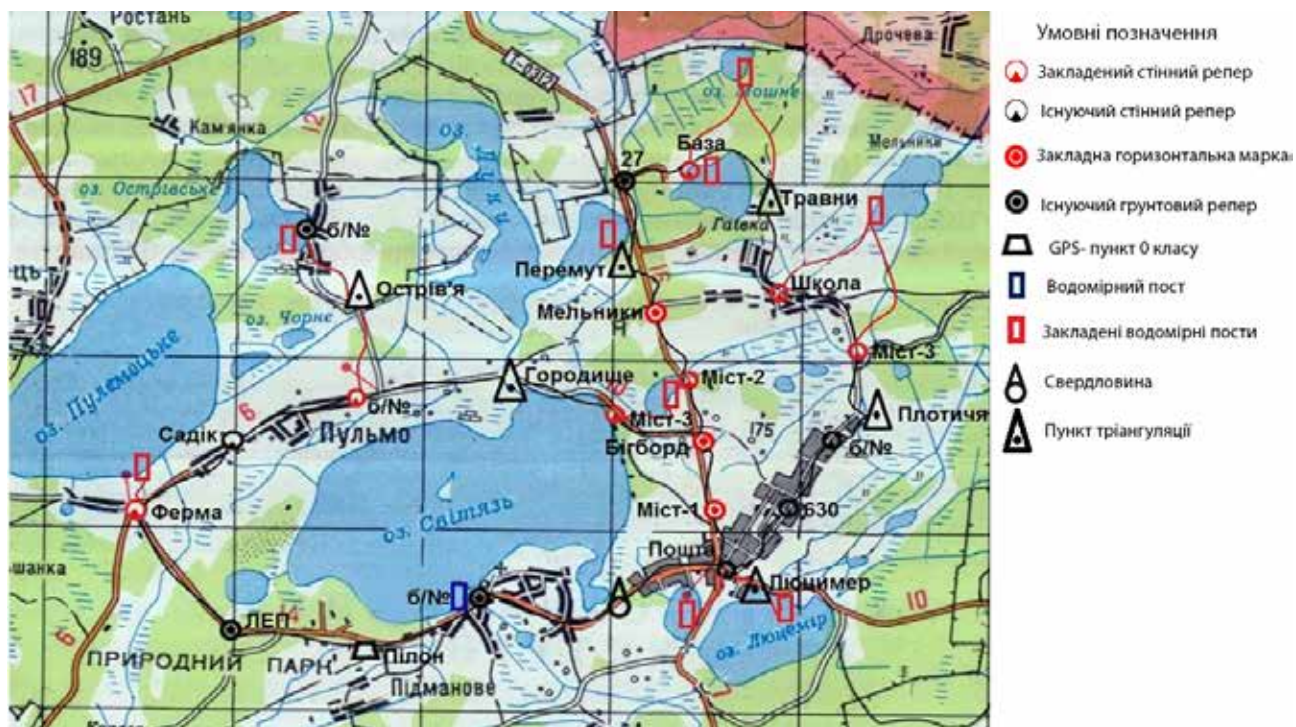


Рис. 1. Схема висотної основи на території ШНПП

існуючі пункти нівелірної мережі, а також додатково закладені репери [10]. Довжина полігону навколо озера Пісочне становить 26,8 км. Складається він з 14-ти пунктів. Полігон навколо озера Світязь складається з 12 пунктів і має протяжність 32,6 км. Щорічно виконується геодезичний моніторинг стійкості пунктів цих полігонів для достовірності отримання даних на водомірних постах [12].

Геодезична основа на території ШНПП дозволила привести висотні відмітки свердловин, водомірних постів і рівнів поверхневих, напірних, ґрунтових вод у єдину систему висот і досліджувати динаміку їх змін. Геодезична мережа може використовуватися також для розв'язку інженерних задач (водовідведення та будівництво очисних споруд, спостереження за рівнем води в меліораційних каналах). Високоточна

нівелірна мережа дозволяє виконувати спостереження за вертикальними рухами земної кори.

На території парку вже понад 30 років проводяться спостереження за відносними коливаннями рівнів поверхневих, ґрунтових і підземних вод. Постійний водомірний пост обладнаний лише на озері Світязь. В селі Світязь діє також метеостанція. Після проведення рекогностування на території ШНПП було визначено місце розташування 6 глибинних і 15 ґрунтових свердловин. Для організації моніторингу додатково були встановлені тимчасові водомірні пости на озерах Пісочне, Мошне, Кримне, Перемут, Соменець, Люцимер, Чорне Велике, Пулемецьке та Острів'янське.

У період 2016–2017 років проводився щомісячний моніторинг рівня води на досліджуваних озерах [11].



озеро Пісочне



озеро Перемут



озеро Світязь



озеро Люцимер



озеро Соменець

Рис. 2. Стан Шацьких озер у серпні 2019 року

Наприклад, за період з квітня по листопад 2016 року найбільші коливання рівня води були зафіксовані на озерах Кримне – 42 см, Мошне – 32 см, Перемут – 28 см і Світязь – 25 см, найменше значення – на озері Пісочне (18 см). За результатами спостережень у 2017 році найбільше значення коливань рівня води було в озері Кримне – 33 см, Мошне – 25 см, Перемут – 23 см, Світязь – 17 см, Пісочне – 20 см, Люцимер – 19 см, Соменець – 20 см, найменше значення зафіксовано в озері Чорне Велике – 15 см.

При вимірюваннях на водомірних постах виникає низка негативних факторів, які впливають на якість і швидкість вимірювання. Неспокійний стан водної поверхні ускладнює процес вимірювання рівня води і збільшує час перебування на водомірному пості, відбувається руйнування палів і тимчасових реперів через замерзання води. Тому було запропоновано модель переносного водомірного посту. Конструкція мобільного водомірного посту дозволяє встановлювати на нього прилад або відбивач і є універсальною для вимірювання перевищень між основним репером і мобільним водомірним постом різними методами (тригонометричним, геометричним нівелюванням і застосування GNSS вимірів. Його перевагою є підвищення точності вимірювання рівня води).

У серпні 2019 року на телебаченні і в пресі активно почала обговорюватися проблема зниження рівня поверхневих вод Шацьких озер, почали з'являтися шокуючі фотографії обмілілого озера Світязь. Кафедра геодезії організувала експедицію, яка виконала повторні виміри рівня поверхневих вод раніше досліджуваних озер. Фото деяких озер ШНПП у серпні 2019 року наведені на рис. 2.

Отримані результати порівнювали з аналогічними вимірами, виконаними в серпні 2016 та 2017 роках (рис. 3). Найбільше зниження рівня води спостеріга-

лося в озері Соменець. Воно складало 29 см порівняно з 2016, 2017 роками. Такі результати свідчать про те, що не лише метеорологічні фактори і зміни природного характеру були причиною обміління Шацьких озер влітку 2019 року, а існують і інші чинники антропогенного характеру, які мають суттєвий вплив на рівень води в Шацьких озерах.

Для дослідження взаємозв'язків між коливаннями рівня води та температурою повітря, вологістю і кількістю опадів авторами були використані результати багаторічних спостережень на постійному водомірному пості на озері Світязь. Середнє значення коефіцієнта кореляції між температурою та рівнем води за період з 1985 по 2019 року становило 0,19. Графіки коливань середньорічних температур і рівня води за досліджуваний період наведені на рис. 4.

Для визначення взаємозв'язку між усередненим за рік рівнем води та кількістю опадів використовували дані за 1985–2019 роки. Середнє значення коефіцієнта кореляції між опадами та рівнем води за цей період становить 0,39. Середнє значення коефіцієнта кореляції між опадами та рівнем води за період з 1985 по 2019 рік із затримкою на рік становить 0,61. Це ілюструє графік на рис. 5. Такий коефіцієнт кореляції вказує на значно більший зв'язок між рівнем води і минулорічними опадами.

Обчислено коефіцієнти кореляції між рівнем води в озері Світязь, вологістю, температурою повітря, кількістю опадів та їх комбінації за період з 2006 по 2019 роки. Середні значення коефіцієнтів кореляції складають:

- між вологістю повітря та рівнем води (В+РВ) – 0,62;
- між температурою повітря та рівнем води (Т+РВ) – 0,28;
- між кількістю опадів і рівнем води (О+РВ) – 0,09;

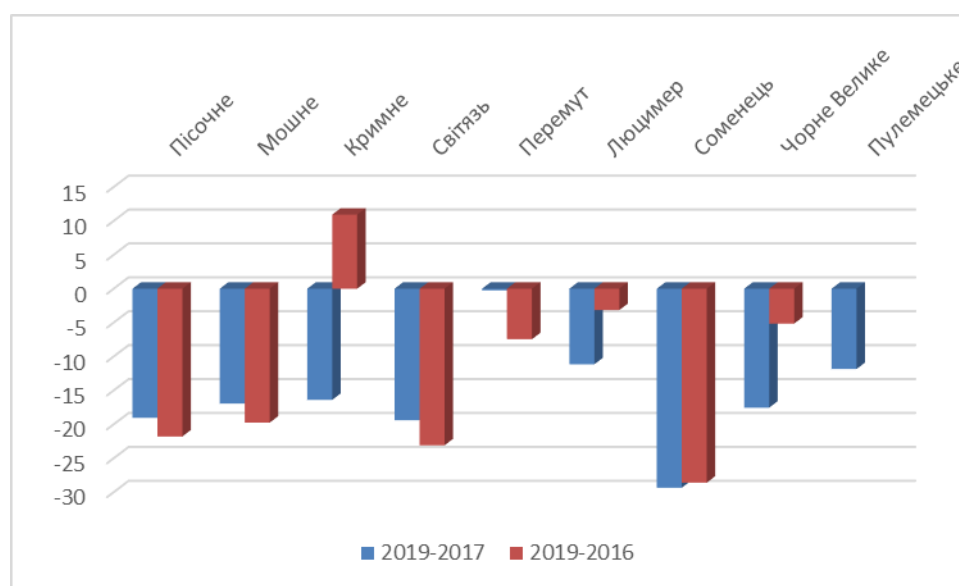


Рис. 3. Порівняння рівнів води у озерах ШНПП у серпні 2016, 2017 та 2019 років



Рис. 4. Залежність між середньорічною температурою повітря та рівнем води в озері Світязь

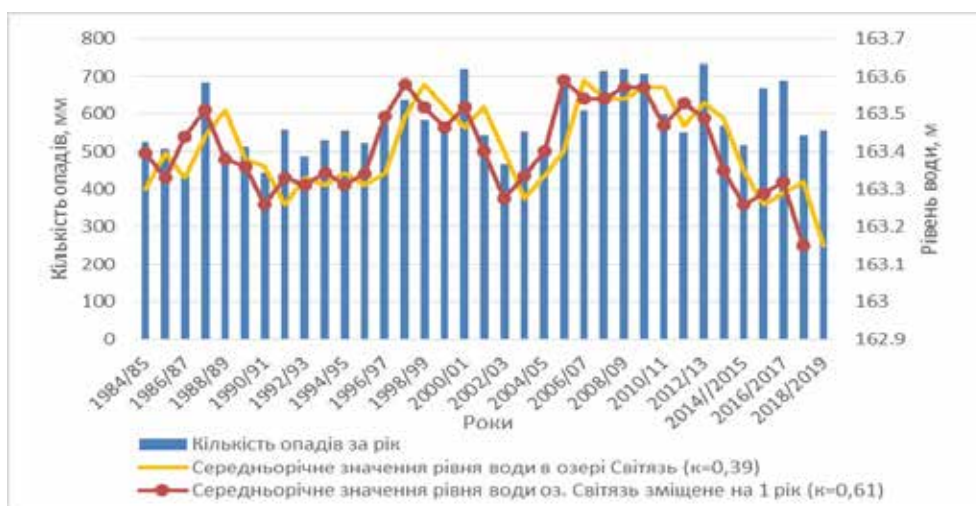


Рис. 5. Залежність між усередненими за 1985-2019 роки опадами та рівнем води в озері Світязь у реальний момент часу та зі зміщенням на рік

– між вологістю повітря, опадами та рівнем води ($B, O+PB$) – 0,67;

– між вологістю, температурою повітря та рівнем води ($B, T+PB$) – 0,76;

– між вологістю, температурою повітря, опадами та рівнем води ($B, T, O + PB$) – 0,80.

Аналіз результатів взаємозв'язків між коливаннями рівня води та температурою повітря, вологістю і кількістю опадів на озері Світязь показав:

1. Малі коефіцієнти кореляції свідчать про те, що кількість опадів у певний момент часу не впливає на рівень води в озерах. Минулорічні опади більше впливають на зміну рівня води.

2. Метеорологічні чинники у 2010, 2015 та 2019 роках мають незначний вплив на рівень води. Причиною цього можуть бути інші природні або антропогенні фактори.

3. При врахуванні сумарного впливу вологості повітря і опадів та вологості і температури повітря на рівень води спостерігається значні коефіцієнти кореляції.

4. Опади разом із вологістю та температурою повітря мають максимальні значення кореляції та впливають на рівень води.

Виконувалися дослідження сезонних (щомісячних) усереднених коливань рівня води озера Світязь за період з 2006 по 2019 роки. Аналізуючи взаємозв'язок між середньомісячною температурою та рівнем води в озері Світязь, за даними 2016 року отримали коефіцієнт кореляції 0,55. Обчислено максимальний коефіцієнт кореляції, який становить 0,96 при зміщенні на 2 місяці. Це наглядно показано на рис. 6.

Такий самий аналіз був виконаний за дискретними даними 2017 року на інших озерах Шацького національного природного парку, оскільки в цей період авторами проводився щомісячний моніторинг

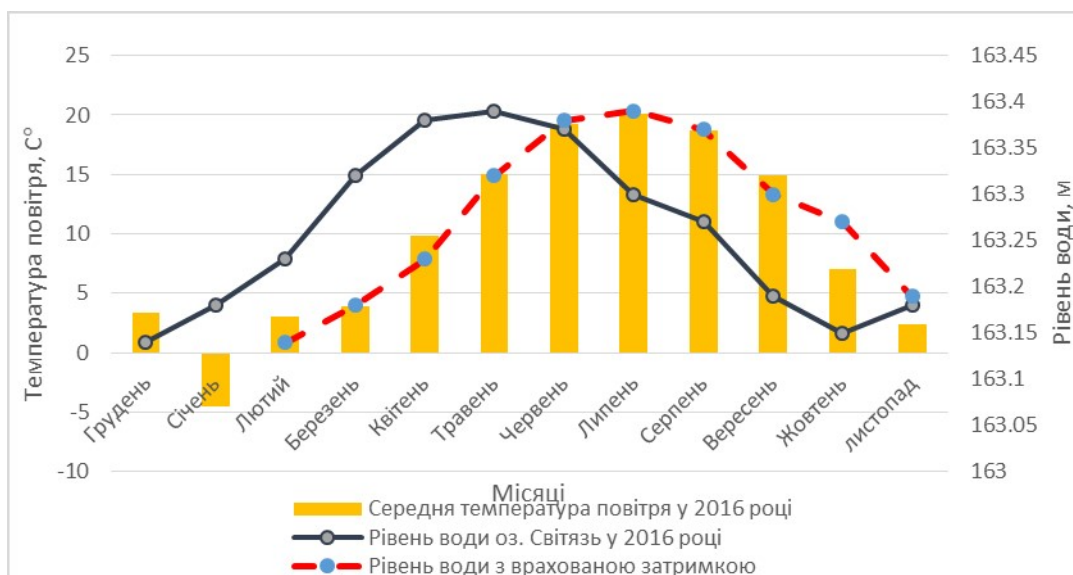


Рис. 6. Залежність між усередненою за 1985-2019 роки температурою повітря та рівнем води в озері Світязь

рівнів води Шацького поозер'я. На всіх досліджуваних озерах максимальний взаємозв'язок спостерігається при зміщенні на 3 місяці. Наприклад, для озера Пісочне коефіцієнт кореляції становить 0,92, для озера Кримне – 0,94, для озера Мошне – 0,96. Було встановлено, що затримка між зміною рівня води та температурою в середньому становить 2-3 місяці. За даним спостережень у 2019 році коефіцієнт кореляції між рівнем води в озері Світязь і температурою повітря становить $-0,27$, а максимальний при зміщенні на 4 місяці становить $0,84$. Це вказує на аномальність порівняно з іншими роками.

На основі середньорічних даних динаміки зміни рівня води на озері Світязь за період 1985–2019 років підтверджено, що цикли зміни рівня води приблизно збігаються із відомими 11-річними циклами сонячної активності. Встановлено, що період проведеного моніторингу рівнів води озер у 2016–2017 роках припадає на завершення циклу зміни рівня води (мінімум) і початок нового циклу. Аналіз залежності динаміки середньорічного рівня води в озері Світязь і сонячної активності за період з 1985 по 2019 роки виявив обернену їх залежність, оскільки за цей період сонячна активність спадає, а рівень води піднімається, на що вказує лінійна апроксимація.

Головні висновки. Аномальність динаміки зміни рівня води у 2019 році простежується не лише на озері Світязь, а й на решті досліджуваних озер. Метеорологічні чинники мають незначний вплив на рівень води. Множинний коефіцієнт кореляції між метеофакторами (вологістю, кількістю опадів і температурою повітря) та рівнем води становить $0,59$ і є найнижчим показником із 2006 року. Причиною цього можуть бути інші природні або антропогенні фактори.

Перспективи використання результатів дослідження. Для того, щоб побудувати модель прогнозу впливу природних факторів на рівень води в Шацьких озерах, необхідно виокремити антропогенний складник. Це можна зробити, проаналізувавши гідрологічний стан подібної екосистеми, яка б була відносно недалеко і розташовувалась у подібних кліматичних умовах. Такою системою є Поліський національний парк на території Польщі, який знаходиться на відстані всього 50 км від ШНПП.

Результати комплексного моніторингу також можна використати як основу геоінформаційної системи на території ШНПП для оцінки ризиків, прогнозування напрямку та інтенсивності перебігу екологічних процесів і розробки заходів для забезпечення умов раціонального природокористування.

Література

1. Хомік Н.В. Водні ресурси Шацького національного природного парку: сучасний стан, охорона, управління : монографія / за ред. П.І. Коваленко. Київ : Аграрна наука, 2013. 239 с.
2. Природа Західного Полісся, прилегло до Хотиславського кар'єру Білорусі : монографія / за ред. Ф.В. Зузука. Луцьк : ПП Іванюк В.П., 2014. 246 с.
3. В.І. Матейчик, П.В. Юрчук, Н.В. Хомік та ін. Літопис Природи : літопис. Книга 29. Світязь, 2017. 163 с.
4. Погребенник В.Д. Гідроекологічні дослідження Шацьких озер (методи, засоби, результати) : Монографія. Л. : Споллом, 2008. 144 с.
5. Ільїн Л.В. Ліснокомплексні Українського Полісся : [монографія в 2-х т.]. Луцьк : Вежа, 2008. Т. 1. 316 с.
6. Дятел О.О. Особливості формування водообміну на меліорованих землях Волинського полісся під впливом кліматичних та антропогенних чинників. *Меліорація і водне господарство*. 2017. Том № 1 106 (2). С. 58-63.
7. Карпенко Н.І. Морфометрична оцінка рельєфу Шацького поозер'я для потреб оптимізації природокористування в регіоні. *Вісн. Львів. ун-ту. Серія: Географ.* 1996. Вип. 20. С. 59–63.

8. Мокрий В.І. Моніторинг, моделювання і прогнозування впливу Хотиславського кар'єру на гідрогеологічні і лісоекологічні умови природно-заповідних об'єктів Західного Полісся. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*, 2012. № 9. С. 284–288.
9. Кутовий С.С. Багаторічні коливання рівня води озера Світязь. *Науковий вісник Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки*. 2007. № 11, Ч. 1. С. 91–98.
10. Мороз О.І., Корлятович Т.Ю., Покотило І.Я., Ямелинець С.П. Створення геодезичного полігона навколо озера Пісочне Шацького національного природного парку. *Вісник геодезії та картографії*, 2015. № 5-6. С. 21–23.
11. Мороз О.І., Тартачинська З.Р., Покотило І.Я., Корлятович Т.Ю. Результати моніторингу за рівнями поверхневих вод Шацьких озер протягом 2016-2017 років. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій. Том I Географія*. 2017. № 14. С. 33–38.
12. Корлятович Т.Ю. Створення та розвиток висотної мережі геодезичного полігону Шацького національного природного парку для прив'язки водомірних постів і свердловин до ДГМ. *Геофорум* : матеріали 21 міжн. наук.-техн. конф. (Львів – Брюховичі – Яворів, 13-15 квітня 2016 р.). Львів – Брюховичі – Яворів : НУ «ЛП», 2016. С. 32–33.
13. Тимченко В.М., Чердниченко Л.В., Ярошевич А.Е. Некоторые аспекты экологии озер Шацкого национального парка : Материалы к семинару-совещанию по координации работ, связанных с организацией природоохранного мониторинга. К., 1990. С. 24–26.
14. Ситник Ю.М., Шевченко П.Г., Засєкін Д.А. Гідрохімічні дослідження озер Шацького національного природного парку (1996-2001рр.). *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія* : Матеріали 3 Всеукр. наук. конф. (Київ, 15-17 листопада 2006 р.). К. : Ніка-Центр, 2006. С. 133–134.
15. Альохіна О.В., Корусь М.М., Кошовий В.В. та ін. Батиметричні дослідження озера Світязь: минуле, сучасність та перспективи. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2014. № 11. С. 24–32.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО СТАНУ ЯКОСТІ З ПРОБЛЕМАМИ ЕКОЛОГІЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД БАСЕЙНУ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ

Рацлав В.В.

Донбаський державний педагогічний університет
вул. Генерала Батюка, 19, 84100, м. Слов'янськ, Донецька область
vvratslav@gmail.com

Здійснено дослідження та аналіз хімічного стану підземних вод у басейні річки Сіверського Дінця шляхом моніторингу стандартів якості підземних вод, а також спробу торкнутися деяких проблем екологічного використання водних ресурсів Донбасу. В статті відображено причини погіршення екологічної ситуації з урахуванням екологічних наслідків конфлікту на сході України. Основна мета дослідження – це моніторинг якості підземних вод басейну для визначення кількості та спроба диференціації забруднювачів за наявними стандартами якості. Дослідження та аналіз стану підземних вод проводилися відповідно до водних стандартів, згідно з принципами Водної Рамкової Директиви ЄС та Постанови Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 р. № 336, а також необхідністю оцінювання стану підземних вод Сіверського Дінця шляхом визначення відповідних граничних значень, встановлених відповідно до Директиви 2006/118/ЄС. Дослідження зумовлені необхідністю наукового пошуку напрямів і механізмів удосконалення водокористування в межах окремо взятого регіону з метою покращення та вдосконалення механізмів моніторингу довкілля для ефективного використання водних джерел і захисту їх від надмірного антропогенного навантаження. Особливо гострою проблемою водних запасів є забруднення підземних водоносних горизонтів викидами вугільного виробництва, яке відбувається від закриття та затоплення шахт, що не працюють. Унаслідок цього відбувається виснаження поверхового водотоку, який гідравлічно зв'язаний із водоносним горизонтом. Отже, відбувається забруднення та зневоднення всієї території Донбасу. Польові дослідження довели, що в останні часи за вмісту значної частки мінералізації та іонів тяжких металів такі води непридатні для питного та технічного водопостачання. Для запобігання масштабній катастрофі, на нашу думку, необхідно ввести екологічний, економічний, політичний та інші принципи регулювання щодо охорони та відтворення водних запасів. Рішення мети дослідження, можливо, приведе до поліпшення екологічної ситуації в басейні річки Сіверський Донець та сприятиме прийняттю екологічних зважених оперативних і стратегічних рішень, які приведуть до поліпшення екологічної ситуації в країні. *Ключові слова:* Директива про підземні води (ДПВ), інтегроване управління, водні ресурси, поверхневий стан, стічні води, водоресурс, антропогенне навантаження, водоресурсний потенціал України, геоінформаційні системи.

Investigation of the chemical condition of water quality and the problems of ecological use of underground waters in Siverskyi Donets river basin. Ratslav V.

Investigation and analysis of the chemical condition of underground lakes in the Siverskyi Donets River Basin through monitoring the quality standards of underground waters and an attempt to touch upon some problems of ecological use of Donbas Water resources, was fulfilled. The investigation and analysis of underground waters' condition was carried out in accordance with water standards with taking into consideration the principles of water limiting Directives of European Community and Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 18.05.2017 №336 and the necessity to evaluate the state of Siverskyi Donets underground lakes by way of defining the corresponding meaning limits defined in accordance with Directive 2006/118/EC. The investigation is stipulated by the necessity of scientific search of directions and mechanisms of improving the water use within the limits of one separate region with the aim of amelioration and perfecting the monitoring mechanisms of environment for the effective use of water sources and their protection from the excessive anthropogenic loading. The most acute problem of water resources is the pollution of ground water-bearing levels with emissions in coal-mining industry; it occurs in the process of closing and flooding the mines that ceased to work. Exhaustion of the surficial water-drain which is hydraulically connected with water-supplying level, takes place as a result. Thus, pollution and dehydration of the entire territory of Donbas occurs. Field investigations proved that lately such waters are unsuitable for drinking and technical water supply because of the considerable amount of mineralization and ions of heavy metals. To our mind, it's necessary to introduce ecological, economical, political and other principles of regulation in the sphere of protection and reproduction of water resources with the aim of prevention of the large-scale catastrophe. Solving the purpose of investigation may lead to the improvement of ecological situation in Siverskyi Donets river basin; it will contribute to ecologically considered operative and strategic decisions and to the improvement of ecological situation in the country. *Key words:* Ground Water Directive (GWD), integrated management, water resources, surface state, wastewater, water resources, anthropogenic loading, water resources potential of Ukraine, geo-information systems.

Постановка проблеми. Сіверський Донець є найважливішою та головною водною артерією сходу України, що забезпечує потреби у воді населення, сільське господарство та промисловий комплекс Луганської, Донецької та Харківської областей. Стан довкілля річки є найважливішим водним ресур-

сом Донбасу – найбільш техногенно навантаженого регіону України.

Значна частина річки примикає до лінії зіткнення і зазнає екологічних порушень і катаклізмів від безпосереднього впливу військових дій. Окрім безпосереднього впливу військової техніки, використання

боєприпасів, загрозу довкіллю спричиняють аварії та забруднення промислових підприємств регіону. Військовий конфлікт на сході України призвів до цілої низки небезпечних подій і наслідків:

- забруднення довкілля і впливів на ґрунти та ландшафти;
- погіршення стану поверхневих і підземних вод;
- надання шкоди рослинному і тваринному світу.

За час конфлікту неодноразово зазначено порушення водопостачання та водовідведення на території Донбасу, які супроводжувались скидами забруднювальних речовин у басейни річок і водосховищ. Результати проведених досліджень Сіверсько-Донецьким басейновим управлінням водних ресурсів (БУВР) показали підвищені концентрації азоту й фосфору у воді річок Сіверський Донець, Клебан-Бик, Кальміус, Бахмутка і Кальміус [3, с. 12]. Тому на замовлення Управління ООН із координації гуманітарних питань (далі – УКГП ООН) швейцарські фахівці провели польову оперативну експрес-аналіз безпеки можливих аварій уздовж лінії зіткнення й комплексний аналіз стану діяльності компанії «Води Донбасу» щодо джерел ризику водопостачання регіону [4, с. 23].

Основна мета досліджень – моніторинг якості підземних вод для визначення кількості та диференціації забруднювачів за наявними стандартами якості підземних і поверхневих вод. Моніторинг якості вод є складовою частиною системи державного моніторингу довкілля та ключовим елементом Плану управління річковим басейном на всіх етапах його розроблення – від визначення референційних умов і сучасного стану водних об'єктів до складання переліку необхідних заходів для досягнення «доброго» стану водних об'єктів, контролю і реалізації запланованих водоохоронних заходів, згідно з принципами Водної Рамкової Директиви ЄС та Постанови Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 р. № 336 «Про затвердження порядку розроблення плану управління річковим басейном» [2, с. 17].

Для моніторингу хімічного стану підземних вод басейну необхідно було оцінити стан підземних водойм Сіверського Дінця шляхом визначення відповідних граничних значень, встановлених відповідно до Директиви 2006/118/ЄС.

За оцінкою експертів у 2017 році, на запит Міністерства екології та природних ресурсів України Координатор проєктів ОБСЄ в Україні розпочав проєкт «Визначення шкоди, заподіяної довкіллю на сході України», завданнями якого став моніторинг впливу конфлікту на природне середовище. У зв'язку з прийняттям Постанови Кабінету Міністрів від 19 вересня 2018 р. № 758 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» з 1 січня 2019 року встановлюються нові вимоги до організації здійснення державного моніторингу вод, взаємодії центральних органів виконавчої влади в процесі

його здійснення та забезпечення органів державної влади й органів місцевого самоврядування інформацією для прийняття рішень щодо стану вод.

Актуальність дослідження. На замовлення Координатора проєктів ОБСЄ в Україні в межах проєктів «Допомога Міністерству екології та природних ресурсів України у вдосконаленні механізмів моніторингу довкілля» було проведено дослідження ТОВ «Інститут довкілля» Словаччина у 2018 році. Мета досліджень була спрямована на проведення моніторингу вод у басейні річки Сіверський Донець відповідно до водного законодавства та з урахуванням екологічних наслідків конфлікту на сході України. Питаннями перевірки якості та моніторингу водних ресурсів басейну постійно займається Сіверсько-Донецьке БУВР, перед яким стоять основні завдання:

- управління річковим басейном та експлуатація водогосподарського-меліоративного комплексу в Донецькій області;
- соціально-економічний розвиток річкового басейну;
- охорона й екологічне оздоровлення річкового басейну та механізми їх фінансування;
- упровадження інтегрованого плану в управлінні водними ресурсами регіону.

Проблеми ефективного державного управління водними ресурсами, природокористуванням та охороною природного середовища досліджувалися у наукових працях В. Голяна, Б. Данилишина, С. Дорогунцова, І. Драгана, Т. Клауссена, Т. Іванової, В. Сташука, М. Хвесика, А. Яцика, О.Яроцької та інших.

Мета статті – визначити потенційну небезпеку, пов'язану із забрудненням басейну річки Сіверський Донець, довести результати моніторингу підземних вод відповідно до вимог законодавства, опублікувати результати хімічного стану вод, виявити теоретичні і методологічні положення щодо інтегрованого державного управління водними ресурсами регіону, здійснити статистичний аналіз використання підземних вод басейну річки Сіверський Донець, які приведуть до поліпшення екологічної ситуації в Україні.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю наукового пошуку напрямів і механізмів удосконалення водокористування в межах окремо взятого Донбаського регіону басейну річки Сіверський Донець із метою покращення та вдосконалення механізмів моніторингу довкілля для ефективного використання водних джерел і захисту їх від надмірного антропогенного навантаження.

Виклад основного матеріалу. Екологічні та економічні проблеми водних ресурсів Донбасу накопичувалися не одне століття, але в останні роки негативні явища можуть призвести до непоправних наслідків. Небезпечний рівень забруднення водних ресурсів Донецької та Луганської областей пов'язаний із великим об'ємом стічних вод, кількість яких близько 2 млрд куб. м щорічно скидається в річки

регіону. Особливо гострою проблемою водних запасів є забруднення підземних водоносних горизонтів викидами вугільного виробництва, яке відбувається від закриття та затоплення шахт, що не працюють. Унаслідок цього відбувається виснаження поверхового водотоку, який гідравлічно зв'язаний із водоносним горизонтом. Отже, відбувається забруднення та зневоднення всієї території Донбасу. В останні часи за вмісту значної частки мінералізації та іонів тяжких металів такі води непридатні для питного та технічного водопостачання. Для запобігання масштабній катастрофі необхідно ввести екологічний, економічний, політичний та інші принципи регулювання щодо охорони та відтворення водних запасів. Обнадійливим є природоохоронний проєкт, розроблений державним управлінням охорони довкілля в Донецькій області на 2013–2020 роки. Мета проєкту – забезпечити екологічну безпеку, звівши до мінімуму негативні явища людини на довкілля. Заплановано спонсорувальні заходи цього проєкту з екологічних фондів довкілля, державного бюджету та коштів підприємств.

Дослідження та моніторинг хімічного стану підземних вод басейну присвячувалося визна-

ченню забруднювачів за наявними стандартами якості підземних вод згідно з Директивою про підземні води (ДПВ) і проводилася за чотирма пробами підземних вод. Опис ділянок відбору проб, а також методику, що використовувалася для визначення попередньо вибраних параметрів, наведено в таблицях 1 і 2.

Особливу увагу було зосереджено на нітратах і перевищенні їхнього стандарту якості за ДПВ (СЯ, 50 мг/л). Всі чотири зразки було піддано цільовому та нецільовому скринінгу за методом LC-HRM, щоб виявити забруднення пестицидами, включно з продуктами їх перетворення. Решта аналізів було зосереджено на регульованих забруднювачах і дотриманні їхніх граничних значень і показників, для яких країни-члени ЄС повинні встановити граничні значення. До останньої групи було включено сполуки/параметри, такі як метали (As, Cd, Pb та Hg), летючі органічні сполуки (трихлоретилен і тетрахлоретилен), загальні фізико-хімічні параметри (рН, розчинений кисень і провідність) та розчинені поживні речовини (аміак, хлориди, сульфати, ортофосфати, нітрити).

Таблиця 1

Ділянки відбору проб підземних вод

Місця для аналізу стану підземних вод	Дата відбору проби	Координати ШИР, ДОВГ	Місто
10 – Попаснянський район, Сиротине (Луганська обл.)	25.09.2018	48.90000000, 38.51666667	Лисичанськ
11 – Кремінський район, Стара Краснянка (Луганська обл.)	25.09.2018	49.03638889, 38.32444444	Рубіжне
11 – Кремінський район, Стара Краснянка (Луганська обл.)	24.09.2018	48.49111111, 38.29444444	Миронівський
13 – Новгородський ТОВ НВО, лівий берег р. Кривий Торець	24.09.2018	48.33211, 37.827222	Новгородське

Таблиця 2

Методи, використані для вибраних параметрів підземних вод

№	Цільові аналізи	Використані методи та прилади
1	Розчинений кисень (РК)	Багатозондовий польовий пристрій
2	Питома провідність (електропровідність)	
3	рН	
4	Миш'як	Спектрофотометрію акредитовано відповідно до EN ISO/EC 17025:2005
5	Аміак	Спектрофотометрію акредитовано відповідно до EN ISO/EC 17025:2005
6	Кадмій	ICP-MS акредитовано відповідно до EN ISO/IEC 17025: 2005
7	Свинець	
8	Ртуть	
9	Нітрати	Спектрофотометрію акредитовано відповідно до EN ISO/EC 17025:2005
10	Нітрити	
11	Хлориди	
12	Сульфати	
13	Фосфор (загальний)/ Ортофосфати	
14	Трихлоретилен	Headspace-GC-MS (SIM) акредитовано відповідно до EN ISO/IEC 17025:2005
15	Тетрахлоретилен	

Результати.

Нітрати. У директиві ДПВ 2006 /118 ЄЕС сказано: «Підземні води або група підземних вод вважаються такими, що відповідають умовам доброго хімічного стану, якщо: значення стандартів якості підземної води або груп підземних вод, наведених у Додатку I, і відповідні порогові значення, встановлені відповідно до Статті 3 та Додатку II, не перевищено в жодному з контрольних пунктів у цих підземних водах або групі підземних вод».

Нітрати в підземних водах

На рис. 1 показано результати визначення нітратів у чотирьох пробах підземних вод; у 3 з 4 проб концентрація була меншою, СЯ 50 мг/л. СЯ було перевищено в точці відбору проб 13 (54,5 мг/л), що вказує на те, що хімічний стан відповідної водоїми не є добрим.

Загальні фізико-хімічні параметри -рН

Не було зафіксовано значних відхилень від середнього значення рН (7,65). Діапазон рН показав хорошу буферну ємкість води, різниця між найвищим і найнижчим значенням рН в усіх вимірних пробах становила 0,4. Детальніше див. Додаток 1.

– Розчинений кисень

Розчинений кисень характеризує рівновагу між процесами, що споживають кисень. Найменше значення РК було виміряне в точці відбору проб 12 (7,99 мг/л), а найбільший вміст кисню було зафіксовано в точці відбору проб 10 (11,44 мг/л).

– Провідність

Значення провідності було в діапазоні від 138 мкСм/см до 169 мкСм/см. Найнижче значення зафіксовано в точці проб 10, а найвище – у точці від-

бору проб 12. Отримані результати лежать у типовому діапазоні, очікуваному для проб підземних вод.

– *Інші забруднювачі підземних вод (нітрити, аміак, хлориди, сульфати, ортофосфати та загальний фосфор).*

Загальний вигляд присутності інших забруднювачів підземних вод наведено на мал. 2. Оцінка отриманих результатів вимагала порівняння з граничними значеннями, які можуть бути встановлені на національному рівні. Для прикладу були використані словацькі граничні значення для підземних вод у басейні р. Горнад. У верхній частині мал. 2 показано конкретні концентрації сульфатів та хлоридів в усіх чотирьох точках відбору проб підземних вод.

Інші забруднювачі підземних вод

Словацьке водне законодавство встановлює граничні значення для сульфатів і хлоридів на рівні 165,05 і 62,75 мг/л відповідно. Рівні концентрації в точках відбору проб 10 та 11 значно нижчі за ці обмеження. Найбільше перевищення обох параметрів було зафіксовано в точці відбору проб 13: сульфати – 653 мг/л і хлориди – 240 мг/л. Граничні величини також були перевищені на ділянці відбору проб 12 (сульфати – 610 мг/л і хлориди – 154 мг/л).

– Летючі органічні сполуки

– *Штучні синтетичні речовини* – трихлоретилен і тетрахлоретилен в усіх пробах мають значення, яке нижче нижньої межі квантифікації (НМК) 1 мкг/л.

– *Метали*

Словацькі граничні значення для басейну р. Горнад було також використано для оцінки забруднення підземних вод досліджуваними металами As, Cd, Pb, Hg.

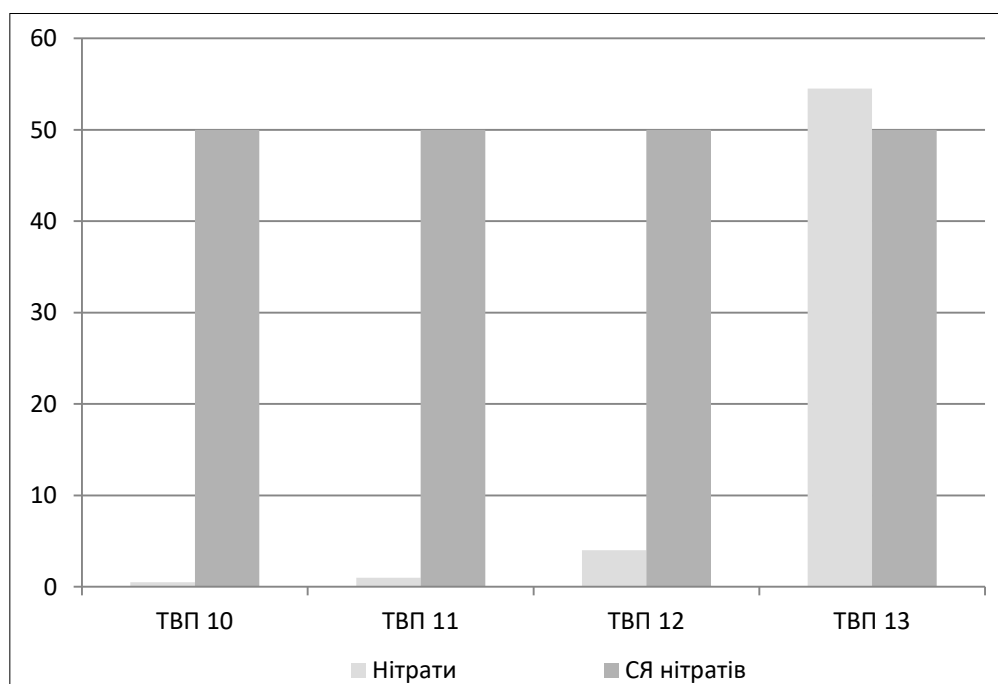


Рис. 1. Огляд концентрацій нітратів у пробах підземних вод, зібраних у басейні р. Сіверський Донець

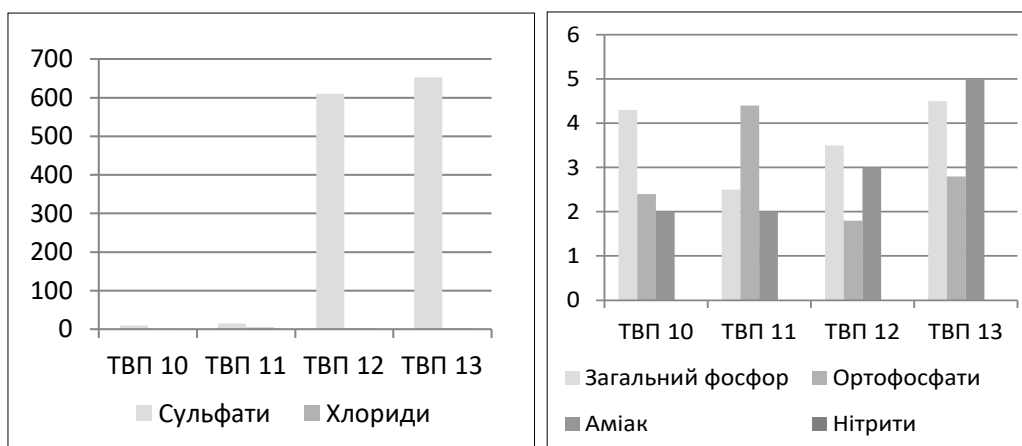


Рис. 2. Огляд концентрацій інших забруднювачів у пробах підземних вод басейну р. Сіверський Донець

Таблиця 3

Зведена таблиця цільових сполук, визначених у пробах підземних вод; < НМК означає, що виявлена речовина мала значення, яке перевищує МВ, але не може бути кількісно визначене

Аналіт	Вода 10 К(нг/л)	Вода 11 К(нг/л)	Вода 12 К(нг/л)	Вода 13 К(нг/л)	ПБК нг/л
Анабасин	1,03	1,87	<МВ	<МВ	64800
Антипірин-4-ацетамідо	<МВ	<МВ	13,6	<МВ	100000
Бентазон	<МВ	<МВ	<МВ	7,87	100
Бензойна кислота-35-дибром-4-гідроксид	<МВ	<МВ	<МВ	54,0	9220
Бісфенол А	76,7	26,8	119	23,1	240
Карбамазепін	<МВ	<МВ	<НМК	2,03	50
Котинін	2,40	3,19	<МВ	<МВ	10000
ДЕТА (Діетилтолуамід)	5,62	0,96	<МВ	<МВ	88000
Динітрофенол-2-4-(ДНФ)	<МВ	2,59	<МВ	<МВ	4000
Дінотерб	<НМК	0,70	<МВ	<МВ	30
Метформін	37,5	25,3	<МВ	<МВ	25740
Метолахлор	<МВ	<МВ	6,63	<МВ	200
Метолахлор-ESA	<МВ	<МВ	15,0	<МВ	8630

Pb виявлено в усіх пробах у концентраціях від 7,5 нг/л (точка відбору проб 10) до 18,9 нг/л (точка відбору проб 12). Концентрації всіх інших металів були нижчими за НМК відповідних методів.

– Цільовий скринінг методом LC – HRMS

Усі екстракти підземних вод було проаналізовано з використанням широкого цільового методу LC – HRMS, з перевіркою кожної проби на наявність більш ніж 2000 контрольних сполук, що охоплюють різні групи, такі як фармацевтичні препарати, пестициди, засоби особистої гігієни, промислові забруднювачі, препарати, що викликають залежність, антипірени та ін. Повний перелік цільових сполук представлено в Додатку V. Сполуки, виявлені щонайменше в одній пробі, наведено в табл. 3.

Найбільша кількість виявлених сполук спостерігалась у точці відбору проб 11 (6). Усі виявлені сполуки належать до груп пестицидів (анабазин, бентазон, ДНФ, динотерб, метолахлор), промислових забруднювачів (3,5-дибром-4-гідроксибензойна кислота, пластифікатор бісфенол А), засобів особистої

гігієни та фармацевтичних речовин (антипірин-4-ацетамідо, карбамазепін, котонін, ДЕТА, метформін).

Бісфенол А був виявлений на всіх майданчиках (частота появи (ЧП) 100%). Бісфенол А переважно використовується для синтезу пластмас. Його ПБК було отримано з бази даних «NORMAN ECOTOX» (240 нг/л). Він визначався в усіх пробах підземних вод у діапазоні від 23,1 нг/л (точка відбору проб 13) до 119 нг/л (точка відбору проб 12). Навіть, попри те, що його значення ПБК не було перевищено, він, безумовно, є сполукою, яка викликає занепокоєння. Всі виявлені пестициди та фармакологічні препарати слід розглянути на доцільність їх включення до подальшого дослідницького моніторингу [7, с. 4–8].

У зв'язку з екологічною ситуацією, що склалася в області та загалом по Україні пріоритетними напрямками з поліпшення стану водних ресурсів Донецької області є такі:

– зменшення негативних наслідків під час закриття шахт, а також фільтрації шкідливих речовин у шахтах, що діють;

– будівництво нових, розширення та реконструкція чинних систем господарчо-побутової каналізації (у Білозерську, Бахмуті, Добропіллі, Дружківці, Макіївці, Маріуполі тощо);

– демінералізація шахтних вод;

– будівництво систем зливової каналізації з очищенням поверхневого стоку з території міст і виробничих промислових майданчиків, постачання виробничих стічних вод;

– розчищення малих річок і водойм області;

– упорядкування водозахисних зон і прибережних захисних смуг.

З метою охорони й раціонального використання водних ресурсів у довгостроковій перспективі було прийнято Програму науково-технічного розвитку Донецької області на період до 2020 року, у якій передбачено:

1) здійснити оцінку сучасного стану прогнозних ресурсів й експлуатаційних запасів підземних питних вод Донецької області з виявленням джерел забруднення;

2) здійснити розроблення принципової схеми водопостачання Донецької області підземними водами та створити конкретні схеми водопостачання окремих міст і районів;

3) здійснити розроблення й забезпечити виконання регіональних цільових програм проти дії підтоплення територій;

4) здійснити будівництво й реконструкцію наявних очисних споруд промислових, господарчо-побутових стоків і каналізаційних ліній;

5) забезпечити впровадження у виробництво передових світових маловодних і безводних технологій, систем повторного використання стічних вод;

6) здійснити перехід на замкнуті системи водопостачання технологічних процесів;

7) забезпечити розроблення і впровадження новітніх технологій із розширення використання мінералізованих підземних і шахтних вод на технологічні потреби;

8) удосконалити технологічні процеси на виробництві;

9) здійснити розроблення дієвих заходів із недопущення аварійних ситуацій.

З метою впровадження цих принципів необхідно: унести зміни до законодавчих актів і впровадити використання геоінформаційних систем басейнів річок з уведенням кадастрової інформації щодо поверхневих вод, підземних вод, водокористування та результатів моніторингу стану навколишнього природного середовища, розробити нормативно-правову та методичну базу сталого функціонування водогосподарських систем і відповідної інфраструктури в басейнах річок. Розв'язати проблему оптимального управління водогосподарським комплексом можливо через системну реалізацію державної політики в галузі водного господарства, використання ресурсів держави та регіонів із

метою забезпечення інноваційно-інвестиційного розвитку водного господарства, що уможливить підвищення ефективності державного управління водними ресурсами на регіональному рівні [4; 8]. Ураховуючи вищевикладене, реалізацію заходів пропонують упровадити через:

– удосконалення нормативно-правової бази щодо забезпечення інноваційного та інвестиційного розвитку водного господарства на регіональному рівні;

– упровадження ефективного, обґрунтованого та збалансованого механізму використання, охорони та відтворення водних ресурсів, забезпечення сталого розвитку регіональної системи моніторингу довкілля, зокрема й водних ресурсів;

– підвищення технологічного рівня водокористування, упровадження маловодних і безводних технологій, розроблення більш раціональних нормативів водокористування, будівництва, реконструкції та модернізації систем водопостачання та водовідведення;

– удосконалення стандартів і нормативів щодо використання водних ресурсів і лімітів забору води й скидання забруднювальних речовин у водні об'єкти та прямого водообліку й технології розподілу води на водогосподарських системах;

– розроблення регіонального інтегрованого плану програм розвитку водного господарства та регіональних схем комплексного протипаводкового захисту;

– реалізацію водо- та енергозберігальних технологій, які забезпечать підвищення функціонування водогосподарського комплексу.

Головні висновки. Виконання запропонованих заходів уможливить:

1) задовольнити потребу населення та галузей економіки в якісних водних ресурсах;

2) зменшити обсяг споживання та відведення води;

3) забезпечити ефективний захист територій та населення від шкідливої дії вод;

4) удосконалити галузеву структуру водокористування, насамперед у комунальному господарстві, хімічній промисловості;

5) знизити рівень водоемності промислового виробництва;

6) підвищити ефективність і забезпечити екологічну безпеку водокористування;

7) зменшити залежність вирощування сільськогосподарських культур від несприятливих погодних умов.

Хімічний аналіз підземних вод басейну річки Сіверський Донець підтвердив, що стан водних запасів на Донбасі не покращився.

З метою поліпшення екологічної ситуації на Донбасі необхідно вжити науково обґрунтованих заходів, які повинні завершуватись їх реалізацією на практиці.

Література

1. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року : Закон України від 24 травня 2012 р. № 4836-VI. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua>.
2. Білоцерківська Н.О., Сидоренко І.В. Якісний аналіз вод басейну р. Сіверський Донець за гідрохімічними показниками. *Водне господарство*. 2018. № 5. С. 50.
3. Сіверський Донець: Басейн Здоров'я – людям життя! Київ : ВАІТЕ, 2018. С. 30.
4. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. Київ : ВАІТЕ, 2017. С. 87–88.
5. Водний Кодекс України. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 213/95.
6. Вострікова Н.В. Аналіз стану законодавчої бази щодо інтегрованого управління водними ресурсами в Україні. *Державне будівництво*. 2014. № 1. С. 45–50.
7. План інтегрованого управління басейном річки Тиса: Міжнародна комісія із захисту річки Дунай. URL: <http://www.icpdr.org>. С. 122.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 712.2:712.41(477.63-21)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.37>

ЗЕЛЕНА МЕРЕЖА ПРАВОБЕРЕЖЖЯ МІСТА ДНІПРО

Бессонова В.П., Іванченко О.Є.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. С. Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро
ivanchenko_78@ukr.net

Розглянуто структуру деревних насаджень та їх стан на вулицях, що можуть відігравати роль зелених коридорів правобережної частини міста Дніпро з метою розробки безперервної зеленої мережі. У Дніпрі нараховується 13 парків, один з яких знаходиться в Новокодацькому районі, по два в Чечелівському, Шевченківському та Центральному, 6 парків у Соборному районі. Насадження загального користування представлені в місті не тільки парками та скверами, але й зеленими зонами в балках, Новокодацьким лісництвом, ботанічним садом Дніпровського національного університету імені Олеса Гончара тощо. Встановлено, що зелені зони не утворюють суцільний екологічний каркас внаслідок їх нерівномірного розміщення на плані міста та відсутності необхідної кількості малих об'єктів озеленення – бульварів, міжквартальних насаджень, а також наявності на вулицях ділянок з загиблими та видаленими деревами. Запропоновані маршрути зелених коридорів, які мають з'єднувати між собою зелені рекреаційні об'єкти в кожному з районів правобережної частини міста, та визначені вулиці, що будуть виконувати роль міжрайонних ланок сполучення. Здійснено аналіз видового складу та життєвості дендрофлори вулиць, що можуть виконувати роль зелених коридорів, які з'єднують між собою різні рекреаційні зони міста. Виявлено, що насадження деяких з них відповідають вимогам, які пред'являються до таких сполучних ланок, але на більшості з них значна частина рослин втратила свою декоративність та функціональне призначення. Створити мережу «зелених коридорів» можливо за рахунок реконструкції зелених насаджень вулиць, які є з'єднують парки і сквери міста Дніпро. Насадження вулиць, що об'єднують головні рекреаційні об'єкти у промислових частинах міста зі значним автотранспортним навантаженням, потребують обов'язкової реконструкції з видаленням старих екземплярів дерев та посадкою молодих рослин з урахуванням відповідності екологічним умовам, а саме стійкості до антропогенного забруднення, невибагливості до родючості ґрунтів та посухостійкості. На вулицях з порівняно невисоким рівнем забруднення необхідно збільшити різноманіття за рахунок рослин з високими декоративними якістьми. *Ключові слова:* місто Дніпро, парки, сквери, зелений каркас, зелені коридори.

Green network of right bank of Dnipro city. Bessonova V., Ivanchenko O.

The structure of tree plantations and their state on the streets which may serve as the green corridors in the right-bank part of Dnipro city was considered for the purpose of continuous green network development. There are 13 parks in Dnipro city, including one park in Novokodatskyi district, two parks in Chechelivskyi, Shevchenkivskyi and Tsenralnyi district respectively and 6 parks in Sobornyi district. Common crops of tree are represented by not only parks and public gardens in the city; they also include green areas in u-shaped valleys, Novokodatske forestry, the Botanic garden under Oles Honchar Dnipropetrovsk National University etc. It was established that the green areas do not form the continuous environmental framework due to their unequal location on the city plan and absence of necessary number of small greening facilities – boulevards, inter-quarter plantations, availability of areas with died trees or the trees that have been cut down on the streets. The routes of green corridors connecting the green recreational objects in each district of right-bank part of the city were proposed and the streets which will serve as the inter-district elements of communication were defined. The floristic composition and living state of dendroflora were analyzed on the streets which may serve as the green corridors connecting various recreation areas of the city. It was detected that the plantations on some of them do not meet the requirements imposed to such connecting elements. However, the considerable part of plants lost its decorative value and functional use on both of them. It is possible to create the network of "green corridors" by means of reconstruction of landscaped areas on the streets connecting parks and public gardens in Dnipro city. Plantations on the streets connecting the main recreation objects in the industrial parts of the city with considerable motor transportation loading require compulsory reconstruction including removal of old trees and planting of young plants with due regard to correspondence to the environmental conditions, in particular, the resistance to man-made pollution, tolerance to soil fertility and the drought resistance. It is also necessary to increase the variety on the streets with relatively low pollution level by means of plants with high ornamental qualities. *Key words:* Dnipro city, parks, public gardens, green framework, green corridors

Постановка проблеми і актуальність дослідження. Зелена зона міста – це сукупність ландшафтів озелених територій, що повинні характеризуватися єдністю і взаємозв'язком структурних елементів, створювати єдиний екологічний каркас. Як і будь-яка система, екологічний каркас має досить складну структуру. Основними компонен-

тами є ядра – зони рекреації і декоративні природні об'єкти, цілісність та зв'язок яких забезпечується екологічними коридорами й буферними зонами. Така структура дозволяє на практиці уникати фрагментації екосистем та сприяє збереженню просторових і функціональних зв'язків між природоохоронними територіями. Особливо важливе значення

це має для такого мегаполісу з розвинутою промисловістю, як Дніпро.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Для стабілізації навколишнього середовища та поліпшення екологічної ситуації урбанізованих територій необхідне функціонування екологічного каркасу міста [1]. Парки, сади й сквери є найбільш важливими вузловими точками екологічного каркасу, які становлять опору для всіх його зон, міжквартальних та зональних зав'язків. Виконуючі важливу рекреаційну роль, вони є основним резервом живої природи на урбанізованій території з цілим комплексом екологічних ніш [2].

Потенційним композиційно-просторовим елементом сполучення системи озеленення міста можуть стати міські «зелені маршрути» або «зелені коридори» [3]. Слід зазначити, що в зарубіжній практиці ландшафтної організації та створення безперервної системи озелених просторів міста «greenways» набувають все більш важливе просторово-рекреаційне значення. М.В. Сидоренко [4] вважає, що типологічно такі ландшафтні об'єкти близькі до зелених пішохідних алей і міських пішохідних набережних. Саме такі зелені насадження створюють особливий мікроклімат, нівелюють несприятливі чинники [5; 6], підтримують здоров'я і благополуччя людей, а також формують у жителів особливе ставлення до міста [7; 8]. Пронизуючи місто, екологічні коридори сприяють міграції представників фауни, обміну речовин та енергії.

Мета дослідження – виявити і прокласти на карті маршрути «зелених коридорів» як сполучних ланок безперервної системи озеленення Правобережжя

м. Дніпро та встановити їх спроможність виконувати ці функції.

Новизна роботи полягає у вивченні складу дендрофлори та її життєвого стану на вулицях, що запропоновані нами як сполучні зелені коридори рекреаційних насаджень Правобережжя м. Дніпро. Стаття буде корисною під час реконструкції вулиць міста, що виконують роль «зелених коридорів» у єдиній зеленій мережі правобережної частини м. Дніпро.

Визначення зелених коридорів між парками та скверами здійснювали маршрутним методом. Під час проведення роботи були використані загальноприйняті методики з урахуванням вимог щодо проведення обліку насаджень. Види визначали за Д.Н. Доброчасовою [9]. Асортимент декоративних деревних рослин на вулицях міста узгоджували з роботами В.П. Бессонової, О.Є. Іванченко, О.А. Пономарьова [10; 11; 12]. Враховували також вимоги Державних будівельних норм 360-92. Площа зелених об'єктів визначалась «графічним методом» (injzashita.com). Зображення карт отримували за допомогою сайтів *Visicom* (<https://maps.visicom.ua>) і *Google Maps* (<https://www.google.com>) та створювали за допомогою програм *Adobe Photoshop* та *Paint*.

Виклад основного матеріалу. Розподіл зелених масивів за районами в Правобережній частині м. Дніпро та їх загальна площа представлені в таблиці. Бачимо (табл. 1, рис. 1), що у Новокадацькому районі розташовані чотири зелені масиви: Новокадацьке лісівництво, сквер ім. І.П. Ключова, Сквер Металургів та Міський молодіжний парк Новокадацький. Прямого «зеленого коридору», який би поєднував

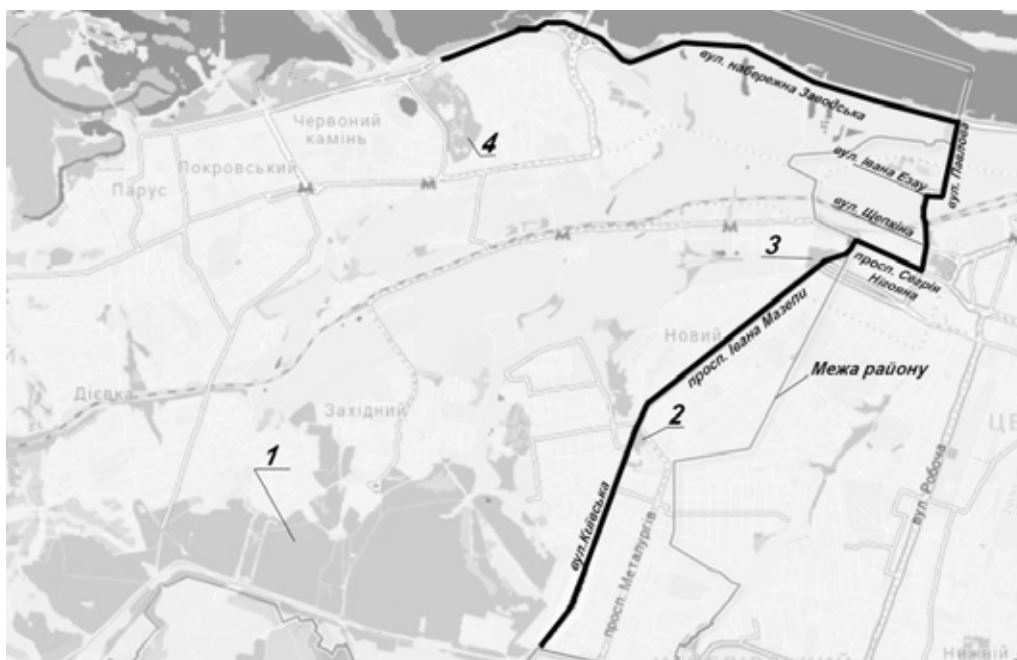


Рис. 1. Схема проектування «зелених коридорів» у Новокадацькому районі

Умовні позначення: 1 – Новокадацьке лісівництво, 2 – сквер ім. І.П. Ключова, 3 – сквер Металургів, 4 – Міський молодіжний парк Новокадацький

всі ці об'єкти, спроектувати неможливо. Тому схема «зелених коридорів» має такий вигляд: вул. Київська → пр. І. Мазепи → пр. С. Нігояна → вул. Щепкіна → вул. І. Езау → вул. Павлова → вул. Набережна Заводська.

Між Новокадацьким лісівництвом та сквером ім. І.П. Ключова роль «зеленого коридора» виконує вул. Київська (рис. 1). Вона є продовженням Криворізького шосе, а закінчується, переходячи у пр. І. Мазепи. Довжина вулиці – 2,6 км. З обох боків автомагістраль оточена житловою приватною забудовою. Із західного боку вулиці придорожні насадження не мають лінійної структури. Напевно, при будівництві траси проектувалося безперервне насадження вздовж вулиці з тополі білої, але через розбудову приватних територій велика кількість дерев була знищена. Загальна кількість тополі білої – 51 шт. Окрім рослин цього виду озеленення вулиці складають такі породи: тополі Болле, пірамідальна та чорна, горіх волоський, вишня домашня, шовковиця біла, береза повисла, слива домашня, абрикос звичайний, гірकोкаштан звичайний, робінія звичайна, клен ясенелистий, верба біла, айлант найвищий. Насадження мають щільну структуру. Всього 386 екземплярів.

З іншого боку вулиці насадження не мають лінійної структури. Основну частину озеленення складають плодови породи, а також липа серцелиста, клен гостролистий, гірकोкаштан звичайний (загальна кількість 95 шт.). Єдина ділянка лінійної смуги насаджень зустрічається в кінці вулиці біля загальноосвітньої школи № 85. Алея для пішоходів озеленена дворядною смугою гірकोкаштана звичайного, клена гостролистого, тополі пірамідальної (загальна кількість дерев у смузі 47 шт.).

Загальний стан насаджень можна вважати задовільним. В особин тополі білої спостерігається суховерхість та морозобоїни. Деревя тополі пірамідальної мають сухі гілки та тріщини на стовбурах. Представники плодкових видів знаходяться у доброму стані. Доцільно стверджувати, що вул. Київська може виступати як «зелений коридор», так як з одного її боку насадження характеризуються широким асортиментом видів та щільною структурою, що дозволяє пересуватися у природньому середовищі більшій кількості видів представників фауни. Однак рекомендується провести реконструкцію придорожніх насаджень з її західного боку, використовуючи дуб звичайний '*Fastigiata Koster*' (30 шт.), липу серцелисту (50 шт.), клен сріблястий (70 шт.) та ясен звичайний (50 шт.).

Наступним «зеленим коридором», який здатен з'єднати насадження загального користування в Новокадацькому районі, є пр. І. Мазепи. Він сполучає сквер ім. І.П. Ключова та сквер Металургів. Довжина проспекту – 2 км. Озеленення проспекту починається лінійними посадками з клена гостролистого (37 шт.), одним деревом робінії звичайної та липою серцелистою (29 шт.). Далі насадження про-

довжується кленом гостролистим (100 шт.) з домішками липи серцелистої (16 шт.), двома екземплярами тополі пірамідальної та робінії звичайної. На невеликій частині газону розташована композиційна група з ялини колючої форми '*Glauca*' та робінії звичайної. Розриви в лінійній смузі відбуваються біля житлових будинків, магазинів та Православного храму апостольського князя Володимира. Однак на території храму використовується контейнерне озеленення, представлене туєю західною, тому такий розрив не суттєво впливає на структуру «зеленого коридору». З іншого боку пр. І. Мазепи озеленення починається насадженнями липи серцелистої (3 шт.) та екземпляром робінії звичайної. Потім смуга переривається, напевно внаслідок того, що частину насадження було видалено для будівництва супермаркету АТБ та зони паркування автомобілів (150 м). Заповнити розрив ми рекомендуємо шляхом використання контейнерного озеленення з туї західної або ялівцю скельного форми '*SkayRocket*'.

Зелена смуга проспекту продовжується кленом гостролистим (33 шт.) з домішками в'яза низького та липою серцелистою (25 шт.). Потім розташовуються посадки клена гостролистого (79 шт.), тополі Симона (4 шт.) та в'яза низького. Завершує ряд озеленення гірकोкаштан звичайний (13 шт.). Далі до кінця проспекту озеленення відсутнє. Лише із західного боку проспекту зелений ряд продовжується насадженнями скверу Металургів, а з іншого боку зелена смуга була знищена для будівництва банкетного залу «Лусія», заправки «Юкон», Дніпровського гуманітарного університету та станції метро. Відмічається ділянка протяжністю 130 м, на якій розташований недоглянутий деревостан з робінії звичайної та самосіву айланта найвищого. Насадження робінії знаходяться в поганому стані, тому їх рекомендується замінити березою повислою форми '*Youngii*' у кількості 10 шт. та катальною чудовою у кількості 15 шт., використовуючи шахову посадку. Також пропонується створити живопліт з бирючини звичайної.

У цілому стан насаджень пр. І. Мазепи можна вважати задовільним. Однак гірकोкаштан звичайний вже в кінці червня втрачає свої декоративні якості внаслідок ураження мінуючою міллю, тому його рекомендовано за можливістю замінити на більш стійку породу – клен несправжньою платановий.

Далі необхідно поєднати сквер Металургів з Міським молодіжним парком Новокадацький. Як ланцюг, що їх зв'язує, виступає пр. С. Нігояна, який має довжину 3,6 км. Для проектування «зеленого коридору» відводиться лише частина проспекту – 900 м. Насадження розташовані по обидва боки від проїжджої частини. Озеленення пр. С. Нігояна має характерний структурований вигляд придорожніх насаджень. Домінуючою породою є клен гостролистий (188 шт.). Деревя зростають у лунках, відстань між ними однакова. Розриви незначні – біля зупинок міського транспорту, магазинів та деяких

Таблиця 1

Розподіл зелених масивів за районами у Правобережній частині м. Дніпро

№ п/п	Назва району	Рік заснування	Площа, га	Кількість мешканців району, тис. люд.	Зелені об'єкти	Площа зеленого об'єкту, га / відсоток від площі району, %	Загальна площа зелених об'єктів району, га / загальний відсоток, %
1.	Новокадацький	1920	8870,2	151,7	Сквер Металургів	0,1/0,001	3322,7/37,4
					Сквер ім. І.П. Ключова	1,6/0,018	
					Молодіжний парк	35/0,4	
2.	Соборний	1935	4409	169,5	Новокадацьке лісівництво	3286/37	250/5,67
					Парк ім. Т.Г. Шевченка	45/0,81	
					Парк Севастопольський	6,5/0,002	
					Парк ім. В. Дубініна	3,4/0,07	
					Сквер ім. Г. Андрусенко	0,00025/	
					Парк ім. Ю. Гагаріна	13/0,29	
3.	Центральний	1932	1040	67,2	Ботанічний сад ДНУ	33/0,74	48/4,61
					Парковий комплекс Соборної площі	12/0,27	
					Урочище Тунельна Балка	137/3,11	
					Парк ім. Л. Глоби	40/3,84	
					Сквер Героїв	0,1/0,01	
					Парк ім. Л.В. Писаржевського	7,9/0,75	
4.	Чечелівський	1933	3590	120,6	Парк Зелений Гай	72/2	108/3,1
					Парк Пам'яті та Примирення	36/1	
5.	Шевченківський	1973	2679,4	152,0	Парк 40-річчя визволення Дніпра	6/0,22	36/1,34
					Парк ім. Б. Хмельницького	30/1,11	
Всього						3914/100	

будівель. Виявлено сухостої (11 шт.), сухість гілок, пошкодження листя. Загалом життєвий стан зелених насаджень на проспекті можна вважати задовільним. Проаналізувавши насадження на пр. С. Нігояна, можна стверджувати, що він виконує роль «зеленого коридору». Однак для покращення стану дерев клена гостролистого необхідно провести омолоджуючу обрізку.

Продовженням «зеленого коридору» виступає вул. Щепкіна. Загальна довжина вулиці становить 1,8 км, та в якості «зеленого коридору» відводиться її частина – 800 м. На початку вулиці відмічаються поодинокі екземпляри робінії звичайної, надалі насадження утворює щільну лінійну структуру по обидва боки від автомобільної дороги. Зустрічаються такі види дерев: клен гостролистий, робінія звичайна, тополя Сімона, айлант найвищий, в'яз низький. Через 400 м після початку вулиці знаходиться міст, який проходить над залізничними шляхами вул. І. Езау, утворюючи розрив «зеленого коридору» на 300 м.

На вул. І. Езау, що пропонується як «зелений коридор», немає характерного лінійного озеленення. Довжина вулиці всього 150 м. Відмічається лише невелика ділянка газону трикутної форми, на якій зростає липа крупнолиста з ознаками глибокої обрізки. Також зустрічається хаотичний самосів в'яза низького. На вул. І. Езау розташовується велика кількість магазинів та місць для паркування автомобілів. Продовжити «зелений коридор» посадкою дерев неможливо через забудову та асфальтовану дорогу довжиною 120 м. Тому на цій ділянці рекомендується контейнерне озеленення з використанням туї західної *'Smaragd'*.

Продовжує систему «зеленого коридору» вул. Павлова. Її протяжність становить 660 м. Тут зростають тополя чорна, тополя Болле, робінія звичайна, айлант найвищий. Вулиця погано озеленена. Через вузьку проїжджу частину шириною 8 м та численні стоянки для автомобілів просто неможливо спланувати лінію з деревних насаджень. Однак в кінці вулиці розташована покинута площа будівництва. Вона оточена загущеною посадкою рослин. Рекомендовано провести реконструкцію цієї ділянки та створити сквер. Місце для скверу, що проєктується, знаходиться на перетині вул. Павлова та вул. Набережна Заводська. Приблизна площа скверу – 2 га. Через те, що біля скверу розташовується велика автомагістраль та атмосферне повітря забруднене викидами промислових підприємств, деревні породи для озеленення повинні бути стійкими до дії газів та пилу. Рекомендований асортимент для озеленення скверу – айва звичайна, клен Гіннала, сумах оленьорогий, софора японська, платан східний або кленолистий, клен гостролистий *'Globosum'*, ясен пенсільванський, каркас західний, бирючина звичайна та інші, зі створенням композицій з деревних рослин, враховуючи їх сумісність.

Далі «зелений коридор» продовжує вул. Набережна Заводська, довжина якої 9 км, а ширина становить 20 м. Це велика автомагістраль з вісьма смугами руху. З північної сторони вздовж вулиці простягається р. Дніпро, а з південної розташовані численні заводи та виробництва. Пішохідна смуга оточена дворядною посадкою гіркогокаштану звичайного, але подальші насадження представлені однорядною лінійною структурою з боку дороги. Продовжує озеленення насадження тополі Сімона. Після цього відмічається розрив на 300 м, а далі знаходиться смуга робінії звичайної. Через розрив 200 м зростають молоді дерева гіркогокаштану звичайного (30 шт.). На наступних ділянках структурності в озелененні придорожньої смуги не відмічається: хаотично розташовані поодинокі посадки в'яза низького та клена гостролистого, групові насадження верби білої, після яких спостерігається розрив завдовжки 220 м, а далі лінія вздовж дороги відновлюється насадженням тополі Болле. Нараховується 410 шт. деревних рослин, які утворюють зелену смугу вздовж лінії підприємств: товариство з обмеженою відповідальністю (далі – ТОВ) науково-виробниче підприємство «Укрметром», Публічне акціонерне товариство (далі – ПАТ) «Євраз», ПАТ «Дніпропетровський трубний завод», ТОВ «ДБИ», завод «Красний Профінтерн», арматурний завод «Адмірал», ТОВ «Дніпровський завод спец ремонту», ТОВ «Дніпровський завод бурового обладнання», асфальтобетонний завод, трубний завод, «Дніпротяжмаш», коксохімічний завод «Дніпрококс», «Evngaz – Дніпровський металургійний завод». Насадження довкола вул. Набережна Заводська зосереджені зі сторони р. Дніпро. Вони не мають чітко вираженої структури та зосереджені вздовж вулиці у пейзажному стилі. Видове різноманіття представлене кленом гостролистим, вербою білою, айлантом найвищим, сосною кримською, гіркогокаштаном звичайним, тополею білою, скумпією звичайною, ялиною колючою, тополею Сімона, білою та чорною, робінією звичайною, липою серцелистою.

Вулиця набережна Заводська перетинається з вул. Кайдацький шлях. На їх перетині знаходиться велика магістральна дорога зі зміною напрямків руху. Вздовж вулиці розташована смуга газону та групові насадження з ялини звичайної та липи серцелистої. Далі до Молодіжного парку Новокодацького насадження утворює тополя Сімона. Насадження на вул. Набережна Заводська, які проходять вздовж південної сторони, мають критичний стан. У найгіршому становищі знаходиться тополя Сімона. Всі представники даного виду (128 шт.) потребують видалення. Верба біла, яка зростає у відповідних до її вимог умовах вологозабезпечення, характеризується низьким рівнем життєвого стану. На ділянці підсажені молоді дерева гіркогокаштану звичайного (30 шт.), однак вони вже втратили декоративність через

пошкодження мінуючою міллю, виявлені відмерлі екземпляри. Насадження з робінії звичайної потребує доповнення.

Отже, вул. Набережна Заводська може бути ланцюгом зеленої мережі, але насадження потребують реконструкції. Не враховуючи зелену смугу вздовж р. Дніпро, яка зберегла свою природню щільну структуру, придорожні насадження з південної сторони вулиці знаходяться у поганому стані. Це пояснюється великою кількістю потужних заводів, що знаходяться в Новокадацькому районі. При реконструкції треба враховувати стійкість дерев до шкідливої дії викидів та екологічну відповідність місцю зростання. Рекомендовані породи для відновлення насаджень придорожньої смуги: гледичія трьохлоучкова, софора японська, тополя Сімона, каркас західний, шовковиця білу, в'яз граболистий.

Таким чином, проаналізувавши шляхи поєднання зелених об'єктів у Новокадацькому районі, встановили, що сполучення прямим коридором неможливе. Новокадацьке лісівництво з'єднується зі сквером ім. І.П.Клюєва «зеленим коридором» – вул. Київською, далі зі сквером Металургів – проспектом І. Мазепи. Для зв'язування з Молодіжним міським парком необхідно створити наступний маршрут «зелених коридорів»: пр. С. Нігояна → вул. Щепкіна → вул. Павлова → вул. І. Езау → вул. Набережна Заводська. Більшість вулиць відповідають вимогам «зеленого коридору», однак вул. Набережна Заводська потребує реконструкції придорожніх насаджень з південного боку.

У Чечелівському районі розташовано два зелені об'єкти – парк Пам'яті та Примирення і парк Зелений Гай. Насадження першого представлені 374-ма екземплярами дерев, які відносяться до 14-ти видів, найпоширенішою деревною породою є робі-

нія звичайна [13]. Парк Зелений Гай має різноманітнішу видову структуру і налічує 44 види у кількості 3072 екземплярів, серед яких домінують клен ясенелистий та гостролистий, в'яз низький, робінія звичайна. Поєднати ці парки можливо через таку схему: пр. С. Нігояна → пр. Пушкіна → вул. Робоча → вул. Криворізька (рис. 2).

Ділянка пр. С. Нігояна в такому ланцюгу має довжину 213 м. Переважаючою породою є клен гостролистий, представлений дворядною посадкою вздовж вулиці (76 шт.). Пр. Пушкіна має довжину 2 км, але для проектування «зеленого коридору» обираємо 200 м до вул. Робоча. Цей проспект має дві проїжджі смуги, які розділяються центральною пішохідною частиною. Придорожні насадження складають чотирьохлінійну систему. На обраній ділянці спостерігається наступна схема озеленення. Із південної сторони проспекту зростає ряд гіркогокаштану звичайного (26 шт.), центральна частина представлена робінією звичайною (16 шт.), тополею Болле (9 шт.), ялиною колючою (5 шт.), березою повислою (1 шт.). У найгіршому стані знаходиться ялина колюча. Вона має найнижчий рівень життєвості через сухі гілки та похилені стовбури. Гіркокаштан звичайний втрачає декоративність через пошкодження листя мінуючою міллю, тополя Болле має суховерхість та тріщини на стовбурі.

Вул. Робоча має довжину 3 км. Проїжджа частина має шість смуг руху, а на відстані 1 км від початку вулиці з'являється пішохідна смуга всередині, яка простягається на 2 км. Починається вулиця двостороннім лінійним озелененням вздовж дороги. В'яз шорсткий у кількості 30 шт. оточує вулицю з південного боку, а робінія звичайна створює лінійне насадження вздовж північного боку – 21 шт. Однак робінія знаходиться в поганому стані. Відмічаються

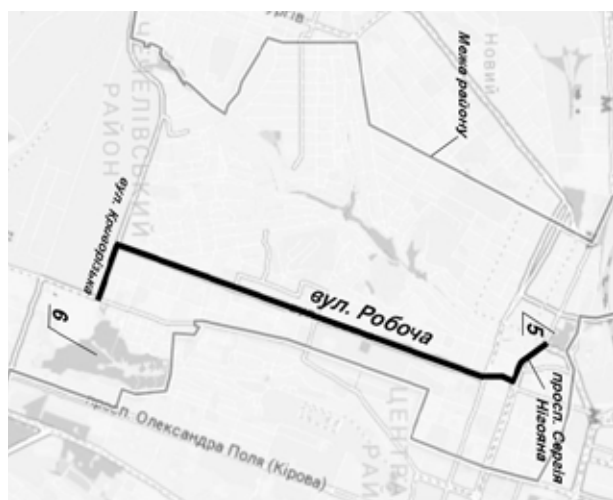


Рис. 2. Схема проектування «зелених коридорів» у Чечелівському районі

Умовні позначення: 5 – парк Пам'яті та Примирення, 6 – парк Зелений Гай

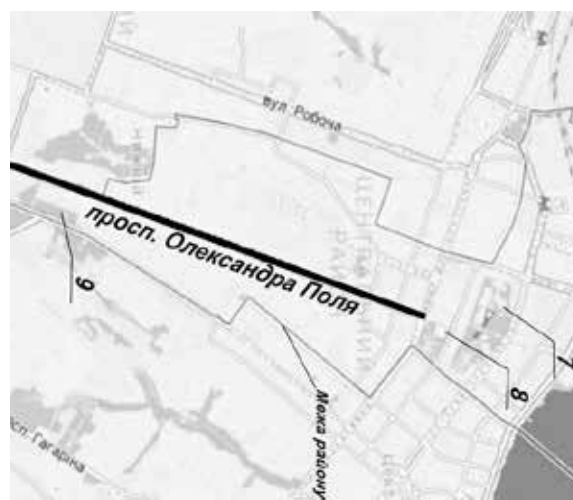


Рис. 3. Схема проектування «зелених коридорів» у Центральному районі

Умовні позначення: 7 – парк ім. Лазаря Глобі, 8 – сквер Героїв, 9 – парк ім. Писаржевського

численні сухі гілки, суховерхість, капи, похилені стовбури через поважний вік рослин. Далі вулиця розділяється на дві проїжджі смуги бульваром, на якому простягається маршрут трамваю № 11. Вздовж рейок розташована смуга газону. Однорядні посадки липи серцелистої (445 шт.) оточують трамвайну лінію з обох боків. Насадження західної сторони вулиці має таку схему: тополя Сімона (30 шт.), липа серцелиста (93 шт.), гірकोкаштан звичайний (8 шт.), клен гостролистий (1 шт.), верба біла (2 шт.), липа серцелиста (37 шт.), катальпа чудова (1 шт.), верба біла (1 шт.), в'яз шорсткий (1 шт.). Основну частину зеленої смуги, яка тягнеться вздовж вулиці із східної частини, складає робінія звичайна (70 шт.). Також зустрічаються такі породи, як айлант найвищий, верба біла, тополя біла, тополя чорна, клен ясенелистий, катальпа чудова, клен-явір, горіх волоський, береза повисла, гірकोкаштан звичайний. Загальна кількість екземплярів дерев на вул. Робочій – 857 шт.

Життєвий стан насаджень на вул. Робоча можна вважати задовільним. Липа серцелиста знаходиться у доброму стані. Однак насадження робінії звичайної рекомендується замінити на платан східний у кількості 70 шт. У найгіршому стані перебуває гірकोкаштан звичайний, листки якого уражені ентомошкідником. Для покращення естетичного стану вулиці бажано замінити цю деревну породу на ясен зелений та клен гостролистий 'Cleveland'. В цілому, вул. Робоча може вважатись «зеленим коридором», але потрібно провести реконструкцію насаджень: поновити насадження робінії звичайної та замінити гірकोкаштан звичайний кленом гостролистим або ясенем зеленим.

Вул. Криворізька, яка є продовженням «зеленого коридору», має довжину 3,6 км, але в проекті враховується лише її частина – 480 м. Загальна кількість дерев на цьому відрізку – 155 шт. Це катальпа бігонієвидна, липа серцелиста, ялина колюча, тополя чорна, айлант найвищий, береза повисла, в'яз низький, клен гостролистий. Насадження тополі чорної щільно оточують пішохідну алею, яка простягається вздовж проспекту. Загалом деревні рослини мають добрий санітарний стан.

Отже, пр. С. Нігояна, пр. Пушкіна, вул. Робоча та Криворізька відповідають вимогам до «зелених коридорів» з точки зору їх озеленення.

У Центральному районі розташовані три зелені об'єкти – парк ім. Лазаря Глоби, сквер Героїв та парк ім. Л.В. Писаржевського (рис. 3).

Парк ім. Л. Глоби та сквер Героїв розділяє лише вул. Старокозацька, отже ці два масиви складають майже єдину цілісну систему.

Наступний об'єкт у районі – парк ім. Л.В. Писаржевського. З ним парк ім. Л. Глоби та сквер Героїв поєднуються пр. О. Поля. Довжина проспекту становить 4,4 км. Він має дві проїжджі смуги, які посередині розділяє прогулянкова частина. Деревні насадження становлять чотири ряди – вздовж автома-

гістралі та з обох боків центральної смуги. Загальна кількість дерев – 1435 шт. Домінуючими породами на проспекті є клен гостролистий – 25,9%, береза повисла – 10,7% та липа серцелиста – 10,9% від загальної кількості екземплярів дерев усіх видів [13]. Досить репрезентованими є гірकोкаштан звичайний, в'яз низький, клен-явір та клен ясенелистий, частка яких у насадженні становить 8,6; 2,7; 3,3 та 1,2%, відповідно. У найменшій кількості серед деревних рослин представлені такі види, як робінія звичайна, платан кленолистий, горобина звичайна, верба біла, клен сріблястий та дуб червоний. З голонасінних представлена ялина колюча форми 'Glauca' – 2,8%, поодинокі групи з ялівцю звичайного та козацького біля крамниць та офісних будівель.

Отже пр. О. Поля може слугувати зв'язуючим ланцюгом «зеленої мережі». Однак рекомендується провести омолоджуючу обрізку старих екземплярів дерев, представлених в його насадженнях.

Шевченківський район налічує два зелені об'єкти – парк 40-річчя визволення Дніпра та парк ім. Б. Хмельницького. Такі об'єкти загального користування розташовані близько один до одного. Їх розділяє автомобільна смуга – Запорізьке шосе шириною 10 м, а із західної сторони обидва парки межують з пр. Б. Хмельницького. Цей проспект розділяє зазначені вище парки Шевченківського району з парком ім. Л.В. Писаржевського, який знаходиться у Центральному районі (рис. 4).

Оскільки зелені об'єкти знаходяться достатньо близько, парки з'єднає пришляхове озеленення вул. Б. Хмельницького, а також невелика ділянка лінійних придорожніх насаджень біля парку 40-річчя визволення Дніпра, що складається з в'яза низького, який росте у лунках асфальту (22 шт.).

Соборний район характеризується найбільшою кількістю зелених об'єктів (8 шт.) – парк ім. Т.Г. Шевченка, парковий комплекс Соборної площі, Севастопольський парк, ботанічний сад Дніпровського національного університету, парк ім. В. Дубініна та урочище Тунельна балка. Такі об'єкти загального користування знаходяться у північно-західній частині міста та рівномірно розташовані по всій території району. Схема «зелених коридорів» району буде така: вул. Д. Яворницького → площа Соборна → пр. Гагаріна → вул. Запорізьке шосе (рис. 5).

Парк ім. Т.Г. Шевченка можливо поєднати з парковим комплексом Соборної площі – вулицею Яворницького, довжина ділянки якої становить 235 м. Асортимент деревних рослин, утворюючих коридор, складається з робінії звичайної, клена гостролистого, в'яза низького та липи серцелистої. Насадження утворюють дворядну смугу вздовж вулиці. Деревя розташовані в лунках асфальту круглої форми. Відмічаються лунки без дерев. Більшість екземплярів заходяться у незадовільному стані. Є екземпляри, які потребують повної заміни – робінія звичайна. Рух автотранспорту на вулиці

незначний, тому можна поновити асортимент деревних порід більш декоративними видами, такими як клен несправжньо-платановий та сріблястий, катальпа бігніонієвидна, горобина скандинавська та звичайна, платан кленолистий.

Від паркового комплексу коридор продовжується Соборною площею, яка оточує сквер зі східної сторони. Довжина вулиці – 570 м. Насадження розташовані вздовж вулиці по обидві сторони. На початку коридора відмічається смуга рослин, що створюють деревні породи парку. Дворядна система озеленення закладається на відстані 375 м від початку коридору. Асортимент деревних насаджень Соборної площі представлений в'язом низьким, робінією звичайною, тополею білою, липою серцелистою та кленом гостролистим. Всього 55 екземплярів. Тополя біла зростає в лунках в асфальті, однак перед входом у лікарню ім. Мечникова лунки порожні. Напевно, дерева були видалені для зручності входу відвідувачів до лікарні. Більшість екземплярів деревних порід знаходяться у поганому стані, спостерігається всихання окремих екземплярів. Рекомендується провести санітарну обрізку тополі білої та висадити смугу рослин на початку проспекту: клен гостролистий, платан східний, ялину колючу форми 'Glauca'.

Оминаючи парковий комплекс Соборної площі, коридор продовжує пр. Гагаріна, довжина якого 5 км. Проспект починається однією придорожною смугою, а на відстані 2,8 км ділиться на дві проїжджі частини. Два ряди насаджень розташовані по

обидва боки автомагістралі, а третій – на роздільній смузі між двома автошляхами. Остання представлена газонним покриттям та квітковими композиціями. Також тут зростає ялина колюча, ялина колюча форми 'Glauca' та ялина звичайна.

Починається озеленення пр. Гагаріна монокультурним насадженням клена гостролистого (105 шт.), яке переривається гіркокаштаном звичайним (34 шт.) і далі змінюється монорядом липи широколистої і серцелистої. Всього близько 170 дерев. Далі смуга тополі Болле обмежує кільце трамваю № 1 (11 шт.), на території якого розташований сквер ім. Г. Андрусенко. Ряд включав 17 екземплярів, частина яких загинула і була видалена. За ними зростає група рослин, що складається з берези повислої, тополі пірамідальної та клена ясенелистого. Далі придорожня смуга має більшу видову різноманітність: тополя чорна, в'яз низький, робінія звичайна і моновидова смуга з клену гостролистого – 40 екземплярів. Естетична оцінка ряду клена гостролистого може отримати відмітку «добре» не зважаючи на те, що деякі рослини мають відхилення в розвитку, проте це не спричиняє суттєвої шкоди їх загальному вигляду. Таку ж оцінку надано й однорядному насадженню лип. Деякі дерева мають пошкодження стовбура, гілок, зміни в обрисах крони. Що ж стосується гіркокаштану звичайного, то це насадження має відмінний естетичний вигляд до середини червня, далі через ураження каштановою міллю оцінка невпинно погіршується і у липні, через повне всихання листків, а надалі



Рис. 4. Схема проектування «зелених коридорів» Шевченківського району

Умовні позначення: 10 – парк ім. 40-річчя визволення Дніпра, 11 – парк ім. Б. Хмельницького

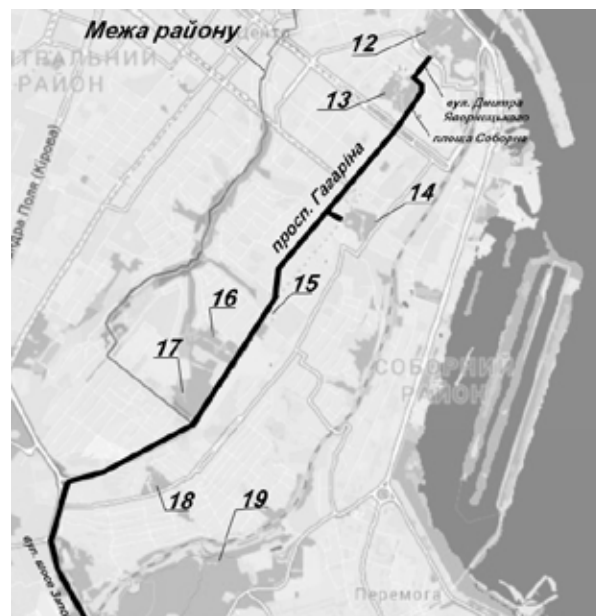


Рис. 5. Схема проектування «зелених коридорів» Соборного району

Умовні позначення: 12 – парк ім. Т. Г. Шевченка, 13 – парковий комплекс Соборної площі, 14 – парк Севастопольський, 15 – сквер ім. Г. Андрусенко, 16 – ботанічний сад ДНУ, 17 – парк ім. Ю. Гагаріна, 18 – парк ім. В. Дубініна, 19 – парк Уроцище Тунельна Балка

і їх втрату, естетичний вигляд рослин оцінюється як «незадовільний». Естетична оцінка цих насаджень варіює від «незадовільної» до «доброї» на різних етапах вегетації. На протилежному боці пр. Гагаріна зростає клен гостролистий (170 шт.). Продовжують озеленення майже до кінця вулиці липи, переважно широколисті (134 шт.). Закінчується придорожня смуга рядом з робінії звичайної, тополі чорної, клена гостролистого, стан яких отримав оцінку «добре». Естетична оцінка насадження клена гостролистого – «задовільна» через наявність сухих гілок, однобічну крону у значній кількості екземплярів, ураження стовбурів; у липи – «добре» [11].

Перспективні сполучає парковий комплекс Соборної площі, сквер ім. Г. Андрусенко, Ботанічний сад Дніпровського національного університету, парк ім. Ю. Гагаріна та парк ім. В. Дубініна. Вул. Медична розташована перпендикулярно до пр. Гагаріна на відстані 1 км від його початку. Довжина вулиці 200 м. Саме вул. Медична проектується як «зелений коридор», який буде з'єднувати Севастопольський парк та пр. Гагаріна. Насадження представлені характерним лінійним розташуванням вздовж дороги. Асортимент деревних порід складають робінія звичайна, тополя чорна, береза повисла, в'яз низький, тополя біла та гіркокаштан звичайний. Всього налічується 27 екземплярів. Однак потрібно провести повну реконструкцію насаджень. Вулиця проходить через міську забудову та веде до Медичної Академії. Рух автотранспорту незначний. Рекомендовані породи для реконструкції вулиці: ялівець козацький, ялина колюча '*Glauca*', береза повисла, катальпа чудова, слива розчепірена '*Nigra*', глід звичайний '*PaulsScarlet*', живопліт зі спіреї Вангутта. Далі потрібно створити «зелений коридор», який веде до парку Урочище тунельна Балка.

Пр. Гагаріна закінчується майданом Космічний, а потім повертає на південь та переходить у шосе Запорізьке. Шосе має довжину 6 км, але під проектування «зеленого коридору» обирається його частина – 530 м.

Починаючи від пр. Гагаріна зі східної сторони вздовж дороги зростає клен гостролистий (30 шт.), який утворює дві смуги з алеєю для пішоходів. Озеленення Запорізького шосе продовжується трьома смугами: тополя Симона (12 шт.), клен ясенелистий (11 шт.), тополя Болле (5 шт.). Далі до кінця Запорізького шосе в бік м. Запоріжжя неупорядковано зростають софора японська (5 шт.), робінія звичайна (10 шт.), верба біла (1 шт.), береза повисла (1 шт.). З іншого боку придорожнє насадження створює в'яз низький (15 шт.).

Ділянка вул. Запорізьке шосе може виступати як «зелений коридор». Насадження знаходяться у доброму стані, видове різноманіття є достатнім. Однак рекомендується спилити сухостійні дерева клена гостролистого та провести санітарну обрізку насаджень, які створюють озеленення вул. Запорізьке шосе.

Отже, пр. Гагаріна є «зеленим коридором» для поєднання паркового комплексу Соборної площі, скверу ім. Г. Андрусенко з ботанічним садом Дніпровського національного університету та парком ім. Ю. Гагаріна. Через суміжні «зелені коридори» вул. Медична та вул. Д. Яворницького виступають сполученням для парку ім. Т. Г. Шевченка та Севастопольського, поєднуючи їх з пр. Гагаріна. Також роль з'єднуючого ланцюга виконує Запорізьке шосе, зв'язуючи систему парків з парком Урочище Тунельна Балка.

Визначившись з потенційними «зеленими коридорами» в районах, можна побудувати єдину міжрайонну систему, яка б об'єднувала всі зелені об'єкти Правобережжя в єдине ціле (рис. 6).

Міжрайонним коридором виступає вул. Криворізька. Вона сполучає Новокадацьке лісівництво та парк Зелений Гай. Далі, переходячи у вул. Макарова, потім у вул. Титова, парк Зелений Гай поєднується з парком 40-річчя визволення Дніпра. Продовження «зеленого коридору» відбувається по вул. Запорізьке шосе, об'єднуючи парк 40-річчя визволення Дніпра та парк Урочище Тунельна Балка (рис. 6).

Отже, «зелений коридор», який має маршрут вул. Криворізька → вул. Макарова → вул. Титова → вул. Запорізьке шосе і проходить через 5 районів міста, з'єднує Новокадацьке лісівництво, парк Зелений Гай, парк 40-річчя визволення Дніпра та парк Урочище Тунельна Балка. Пр. С. Нігояна виступає зеленим коридором для об'єднання парків Новокадацький з парком Пам'яті та Примирення, який розташований у Чечелівському районі. Далі «зелений коридор» продовжує вул. Курчатова, яка є початком пр. Д. Яворницького – центрального проспекту міста. Пр. Д. Яворницького з'єднує парк Пам'яті та Примирення, парк ім. Л. Глоби та парковий комплекс Соборної площі. Проспект С. Нігояна є початком пр. Пушкіна, який також відіграє роль міжрайонного «зеленого коридору», об'єднуючи парк Пам'яті та Примирення зі сквером Героїв. Пр. Б. Хмельницького також є міжрайонним «зеленим коридором». На частині проспекту розташовані три парки: 40-річчя визволення Дніпра, парк ім. Б. Хмельницького та парк ім. Л.В. Писаржевського (рис. 6).

Екологічну сітку не можна розривати: «зелені коридори» в межах району повинні замикатися між собою в безперервну систему. «Замикаючим» коридором для створення екологічного каркасу є набережна, яка простягається вздовж правого берега м. Дніпро. Набережна поділена на три частини: вул. Набережна Перемоги, вул. Набережна Січеславська та вул. Набережна Заводська. Хоча Набережна поєднує лише два об'єкти (парк Т.Г. Шевченка та Міський молодіжний парк Новокадацький), вона відіграє важливу роль в утворенні екологічної сітки. Також саме набережна є єдиним способом поєд-

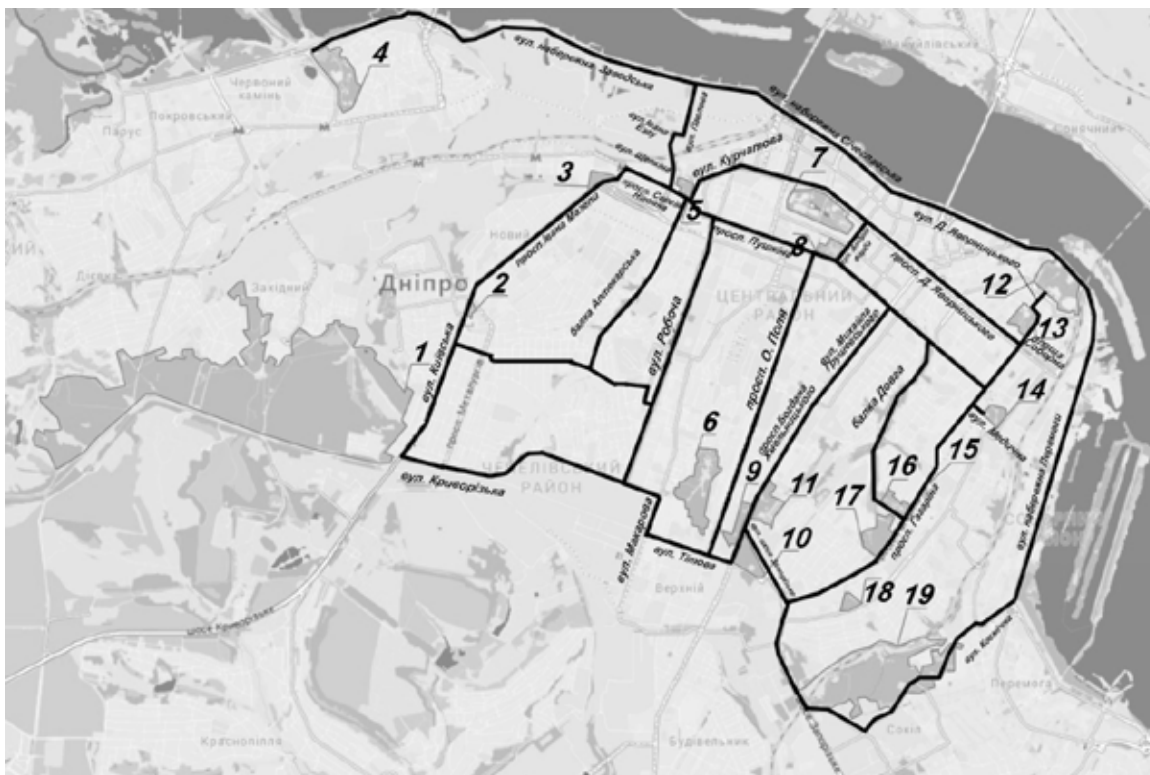


Рис. 6. Міжрайонні зелені коридори в єдиному екологічному каркасі правобережжя м. Дніпро

Умовні позначення: 1 – Новокадацьке лісівництво, 2 – сквер ім. І.П. Ключова, 3 – сквер Металургів, 4 – Міський молодіжний парк Новокадацький, 5 – парк Пам’яті та Примирення, 6 – парк Зелений Гай, 7 – парк ім. Л. Глоби, 8 – сквер Героїв, 9 – парк ім. Л.В. Писаржевського, 10 – парк 40-річчя визволення Дніпра, 11 – парк ім. Б. Хмельницького, 12 – парк ім. Т.Г. Шевченка, 13 – парковий комплекс Соборної площі, 14 – парк Севастопольський, 15 – сквер ім. Г. Андрусенко, 16 – ботанічний сад ДНУ, 17 – парк ім. Ю. Гагаріна, 18 – парк ім. В. Дубініна, 19 – парк Урочище Тунельна балка

нати Міський молодіжний парк Новокадацький з іншими районами міста. Не менш важливим «зеленим коридором» є вул. Андрія Фарба. Вулиця проходить вздовж східної сторони скверу Героїв й парку Л. Глоби та перетинається з пр. Д. Яворницького, слугуючи допоміжним елементом в утворенні безперервної системи озеленення (рис. 6).

Зв’язуючі зелені ланцюги можуть проходити не тільки вздовж вулиць чи проспектів. Природні елементи також виконують роль сполучних коридорів. Саме така роль належить балці Довгій. Вона бере початок біля ботанічного саду Дніпровського національного університету та закінчується на перетині вул. Чернишевського. Межа Соборного та Шевченківського району проходить по балці, тому можна стверджувати, що вона є міжрайонним «зеленим коридором». Така ж роль належить Аптекарьській балці, яка є сполучним елементом між Новокадацьким та Чечелівським районами. Роль «зеленого коридора», який замикає систему міста, є вул. Космічна, яка проходить вздовж парку Урочище Тунельна Балка.

Головні висновки. Аналіз результатів з дослідження особливостей озеленення м. Дніпро свідчить, що зелені насадження в місті не формують повноцінний екологічний каркас, так як селітебні

та промислові зони розподілені на генплані нерівномірно, а центральне ядро відсутнє. Вузли територіально розрізнені й мають невелику площу. Також відмічається нестача площ різних типів озеленення в окремих районах міста. Окрім територій лісопарків, парків та скверів, урбанізовані території недостатньо забезпечені малими об’єктами зелених насаджень – бульварами, міжквартальними насадженнями тощо.

Проте у м. Дніпро можливо створити нерозривну єдину сітку «зелених коридорів». Більшість вулиць, які на даний момент поєднують парки та сквери, відповідають вимогам для статусу «зеленого коридору». Але деякі вуличні та пришляхові насадження потребують реконструкції та догляду. Вони здебільшого представлені такими породами як гірकोкаштан звичайний, робінія звичайна, клен гостролистий, липа серцелиста, тополя Болле, біла, чорна, пірамідальна. Післявоєнні насадження (50-ті рр. XX століття) у м. Дніпро створювалися з робінії звичайної, тополя чорної та пірамідальної. Ці породи й досі залишаються типовими в озелененні м. Дніпро, але більшість їх екземплярів – старі. Їх слід замінити й тим самим покращити естетичний вигляд вулиць та повноцінність виконання насадженнями санітарно-гігієнічних функцій.

Асортимент гарноквітухих порід на вулицях, що розглянуті нами як «зелені коридори», є невеликим, і ці рослини зустрічаються рідко. Тому рекомендовано збільшити видовий склад типових лінійних посадок, застосовувати декоративні форми та чагарники.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонована схема поєднання

всіх зелених об'єктів загального користування після реконструкції насаджень ряду вулиць може стати єдиною екологічною сіткою правобережжя м. Дніпро. Крім того, можна враховувати отримані результати під час створення проектів реконструкції вулиць, які є сполучною ланкою між головними рекреаційними об'єктами.

Література

1. Колбовский Е.Ю. Ландшафтное планирование. Москва : Академия, 2008. 348 с.
2. Шайхутдинова А.А., Ивлева Я.С. Городские зеленые насаждения как элемент городского каркаса. *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2016. № 8 (161). С. 91–96.
3. Краснощекова Н.С. Формирование природного каркаса в генеральных планах городов : учебное пособие. Москва : Архитектура-С, 2010. 184 с.
4. Сидоренко М.В. Перспективы организации городских зеленых коридоров в Минске (Беларусь). *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2015. № 43. С. 138–142.
5. Мельничук И.А. Экологические аспекты формирования зеленого пространства крупного города. *Проблемы озеленения городов*. Москва : ПримаМ, 2004. Вып. 10. С. 22–24.
6. Савицька О.В. Ландшафтно-екологічний аналіз зеленої зони столичного міста (на прикладі Києва та Берліна) : автореф. дис. ... канд. географ. Наук : 11.00.01 «Фізична географія, геофізика і геохімія ландшафтів» ; Київ, 2003. 20 с.
7. Душкова Д.О., Кириллов С.Н. Зеленая инфраструктура города: опыт Германии. *Вестник Волгоградского гос. ун-та. Сер. 3. Экономика. Экология*. 2016. № 2 (35). С. 136–147. DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2016.2.14>.
8. Allison M. Fleury, Robert D. Brown. A framework for the design of wildlife conservation corridors with specific application to southwestern Ontario. *Landscape and urban planning* : an international journal of landscape ecology, planning and design. 1997. Vol. 37. P. 163–186.
9. Определитель высших растений Украины / Доброчаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. и др. Киев : Наукова думка, 1987. 548 с.
10. Бессонова В.П., Іванченко О.Є. Оцінка видового різноманіття та життєвого стану придорожніх насаджень пр. С. Нігояна м. Дніпро. *Питання біоіндикації та екології*. 2019. Вип. 24, № 1. С. 33–51. DOI: <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/1-03>
11. Бессонова В.П., Пономарьова О.А., Іванченко О.Є. Видове різноманіття та життєвий стан деревних насаджень вздовж автотраси південного напрямку м. Дніпропетровськ. *Питання біоіндикації та екології*. 2014. Вип. 19, № 2. С. 64–85.
12. Іванченко О.Є. Інвентаризація та оцінка стану деревних насаджень парку ім. М.І. Калініна м. Дніпропетровськ. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18, № 2. С. 211–226.
13. Ловинська В.М., Зайцева І.А., Тищенко А.В. Видовий склад та життєвий стан зелених насаджень проспекту Кірова та вулиці Титова м. Дніпропетровськ. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18, № 1. С. 116–125.

РЕІНТРОДУКЦІЯ СТЕПОВОГО БАБАКА (*MARMOTA BOBAK* MULL. 1776 (RODENTIA, SCIURIDAE)) НА ПРИКЛАДІ ДИКАНСЬКОГО РАЙОНУ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Грубник В.В., Токарський В.А.

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майд. Свободи, 4, 61077, Харків, Україна
Grubnik@karazin.ua

Розглядаються питання реінтродукції степового бабака з метою відновлення популяції в межах колишнього ареалу. Розглядається досвід подібних робіт, зроблених в Україні та інших країнах в історичний час. Включено перегляд публікацій за вказаною тематикою. Проводиться аналіз даних, зібраних під час польових досліджень. Висвітлюються проблеми при проведенні заходів із реінтродукції бабака (*Marmota bobak* Mull.) в українському степу, де цей вид в минулому жив у дикому стані. Аналізуються деякі причини невдалих спроб більшості випадків реінтродукції бабаків в різних регіонах України, в тому числі в Диканському районі Полтавської області. Розглядається вдосконалена методика проведення обліків степового бабака по яружно-балкових системах із використанням глобальної системи позиціонування. Наведено матеріал щодо реінтродукції бабака в Полтавській області України більш ніж за 33-річний період. Проаналізовані роботи по переселенню бабака. Під час експедиційних робіт було обстежено колонії степового бабака в Диканському районі. Родинні ділянки бабака в колоніях позначено на картах за допомогою GPS-навігатора. Включено також перегляд публікацій за вказаною тематикою. У період із 1986 по 2004 рік в Полтавську область завезено 1255 особин степового бабака, виловлених на території Харківської та Луганської областей. Реінтродукція проводилась у 8 районах області. Дослідження в Диканському районі проводилися в два етапи: у 1996 та 2018 роках із перервою в 20 років. На момент проведення досліджень бабаки збереглися на трьох ділянках степу. Поселення степового бабака зафіксовані в урочищі «Грайове» між селами Васиївка та Марченки (12 родин). Інша колонія утворилася неподалік села Водяна балка (24 родини). Колонія біля села Міжгір'я на час проведення обліків не існує. Розглядаються окремі причини невдач при розселенні бабаків. Пропонуються заходи щодо охорони та раціонального використання популяції бабака в Україні. *Ключові слова:* бабак, реінтродукція, міграція, колонія, Україна.

Results of the reintroduction of steppe marmot (*Marmota bobak* Mull. 1776 (Rodentia, Sciuridae) in Dikansky district of Poltava region. Grubnyk V., Tokarsky V.

The issues of reintroduction of the steppe marmot are considered. The experience of similar work done in Ukraine and other countries in historical time is considered. View publications on this topic is included in this article. An analysis of the data collected during field studies is done. The problems of carrying out activities for the reintroduction of marmots (*Marmota bobak* Mull.) in the Ukrainian steppe, where this species lived in the past in the wild, are highlighted. Some reasons for unsuccessful attempts to reintroduce marmots in different regions of Ukraine, including in the Dikan district of the Poltava region, are analyzed. An improved methodology for surveying the steppe groundhog on a ravines and on a beams system using a global positioning system is considered. The material on the reintroduction of marmot in the Poltava region of Ukraine for more than 33 years is given. The work of the relocation of the marmot was analyzed. During expeditionary work, steppe marmot colonies in the Dikansky district were examined. Marmot related sites in the colonies are indicated on the maps using a GPS navigator. Viewings of publications on this subject are also included. In the period from 1986 to 2004 1255 individuals were brought to the Poltava region, which were released in 8 districts. Researching in the Dykansky district was conducted in two stages: in 1996 and in 2018. At the time of the researching, the marmots remained in three parts of the steppe. The settlements of the steppe groundhog were noted in the Graevoye ravine between the villages of Vasylivka and Marchenko (12 families). Another colony formed near the village Vodyana Balka (24 families). The colony near the village of Mizhhirya does not exist. We consider the individual causes of failures in the settlement of marmots. The proposed measures for the protection and rational use of the marmot population in Ukraine. *Key words:* marmot, reintroduction, migration, colony, Ukraine.

Постановка проблеми. В умовах сучасної екології найбільшу загрозу для стенотопних видів тварин становить скорочення степового біому, до якого в історичний час належало понад 40% сучасної території України. Це скорочення полягає не тільки у використанні степових ландшафтів в господарській діяльності, а й в повному або частковому зникненні характерних для степу видів рослин і тварин. На жаль, в останні десятиріччя до видів, які зникають, можна з упевненістю приєднати і степового бабака (*Marmota bobak* Mull., 1776), чисельність якого не викликала тривоги ще на початку

XXI століття, а подекуди навіть дозволяла промислове видобування цього виду.

Актуальність дослідження. Можливості природного розселення степового бабака вкрай обмежені не стільки відсутністю достатньої кількості придатних для його існування місць, скільки їх віддаленістю одне від одного. Тому для збереження ареалу бабака одним із найуспішніших заходів стає його реінтродукція.

Перші спроби штучних переселень були зроблені на початку XX століття на території заповідника Асканія-Нова її власником Фальц-Фейном, але бабаки не збереглися у місцях випуску [1].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. В історичний час роботи з реінтродукції бабаків проводилися не тільки в Україні. Майже 42 000 особин у 375 пунктах на території 21 області було переселено з Росії [2]. Це були життєздатні поселення, коли кількість бабаків перевищувала число переселених тварин у 26% випадків [3; 8].

В Україні питання про розширення території поселень бабаків у межах колишнього ареалу шляхом їх переселення розглядалося ще в першій третині минулого століття [4]. Слід зазначити, що до 1987 року заходи щодо переселення степового бабака проводилися не регулярно. Дані про випуски бабаків у цей період найчастіше суперечливі, і тільки з 1988 року діяльність суб'єктів господарювання, пов'язана з реінтродукцією, впорядковується. З того часу з'явилася статистика, за допомогою якої можна дослідити кількість відловлених для переселення бабаків, області та місця випуску, місця знаходження популяцій, у яких цих бабаків було відловлено [9; 10].

Метою роботи є порівняння стану відновлених поселень степового бабака на прикладі Диканського району Полтавський області з моменту їх відтворення на початку 1990 років до цього часу.

Методика. Дослідження проводилися в Диканському районі Полтавської області двічі: в період з 1995 по 1996 рік і в період із 2017 по 2018 рік. Були проведені контрольні дослідження саме тих колоній бабаків, які були відновлені. Також було з'ясовано стан колоній, сформованих шляхом природнього переселення бабаків. Підготовчий етап роботи полягав в уточненні кількості випущених тварин в адміністративних районах, з'ясуванні місць і кількості випущених тварин.

Облік чисельності та розміщення бабаків на місцях випуску проводили в три етапи:

Перший етап. Маршрутні дослідження. Пішки або на автомобілі проводилось обстеження території з метою виявлення поселень бабаків, визначення площі та дислокації території розповсюдження в адміністративному районі. Результати дослідження автори роботи наносили на карту землекористування.

Другий етап. Сімейні ділянки степового бабака наносились на мапу з урахуванням координат, отриманих за допомогою GPS-навігатора. Ділянкам присвоювалися окремі номери.

Третій етап. Проводився візуальний підрахунок з укриття за допомогою бінокля кількості особин у родині. Спостереження проводилися в період максимальної активності бабаків від сходу сонця до 10-00 годин і з 16-00 годин до заходу сонця. В низці випадків кількість звірів обліковувалась на маршрутах, які проходили по яружно-балкових системах. Проходячи пішки або проїжджаючи на автомобілі по протилежному схилу балки, автори фіксували кількість особин на кожній сімейній ділянці.

Для аналізу розподілу поселень бабаків на місцевості було використано електронне зображення, складене на основі топографічних карт. На цю основу були спроектовані кордони місцевої популяції.

Результати та обговорення. Реінтродукція байбака, розпочата ще в 1934 році, відновилася в післявоєнні роки [1; 5–7]. До 80-х років ХХ століття зафіксовані лише окремі випадки переселення цього гризуна. Джерелом відлову бабаків для реінтродукції був Стрільцівський степ, де відловили 248 особин. В результаті вдалим виявився лише випуск в 1936 році 50 самок і 50 самців у Деркульському степу. Дані про розселення байбаків в Україні в період із 1934 по 1957 роки наводить В.І. Абеленцев із співавторами [1].

Аналізуючи численні дані, зібрані при польових дослідженнях, порівняно з даними документованих і описаних випусків байбака стає очевидним факт розбіжності кількості переселених тварин. Ймовірно, що крім документованих, мали місце і не задокументовані випадки як реінтродукції, так і інтродукції бабаків в Україні. Це притаманно, насамперед, переселенню бабаків до 1988 року, коли цими заходами почало опікуватися Українське товариство мисливців і рибалок [11].

Справжній пік робіт по переселенню бабаків у місця їх колишнього існування співпадає з піком збільшення їх чисельності в природних популяціях. Загалом у період з 1986 по 2004 роки було відловлено для переселення в межах України майже 11 000 особин степового бабака [10]. Дані про спроби реінтродукції бабаків в Україні відображені у Таблиці 1.

Сподівання щодо відновлення популяції степового бабака в межах колишнього ареалу автори вважають досить реалістичними при умові постійного контролю всіх етапів реінтродукції з боку науковців. Знову виникає питання щодо необхідності створення спеціалізованого науково-виробничого підприємства, яке б могло взяти на себе не тільки контроль за проведенням таких масштабних заходів, а навіть за їх організацією.

Виклад основго матеріалу. Аналіз випуску бабаків в Україні, проведений В.А. Токарським зі співавторами у 2006 році, показав порівняно низьку приживлюваність звірів на досить перспективних, на погляд виконавців, територіях [10]. Автори вважають, що такі результати пов'язані в першу чергу з тим, що практично не враховувався закон еволюційно-екологічної незворотності. Переселення степового бабака – це внесення виду в екосистему із знову утвореними закономірностями і зв'язками, з якої він вибув дуже давно. Фактично це впровадження нового виду в оновлену екосистему.

Незважаючи на певні успіхи, великим недоліком був брак низки підготовчих дій, пов'язаних з особливостями екології степового бабака. Також майже завжди не виконувалися навіть елементарні заходи: відсутність охорони на території випуску, погана

Таблиця 1

Випуск бабаків в Україні з 1986 по 2004 роки (Токарський та інші, 2006)

Область	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2004	Всього
1. Вінницька	0	0	170	0	170
2. Донецька	0	672	150	40	862
3. Житомирська	30	0	0	0	30
4. Запорізька	0	210	258	0	468
5. Київська	213	0	150	0	363
6. Кіровоградська	0	0	90	0	90
7. Миколаївська	81	145	0	0	226
8. Одеська	180	103	20	0	303
9. Полтавська	53	497	640	65	1255
10. Сумська	100	200	153	47	500
11. Харківська	166	1541	2520	2017	6244
12. Хмельницька	65	0	0	0	65
13. Черкаська	43	0	50	0	93
14. Луганська	17	0	0	0	17
15. Дніпропетровська	0	60	0	150	210
16. АР Крим	70	0	0	0	70
Всього	1018	3428	4201	2319	10 966

Таблиця 2

Розподіл бабаків по районах під час проведення реінтродукцій у Полтавській області в період до 1996 року

	до 1993	1993	1994	1995	1996	Всього
Диканський		50		50	50	150
Зіньківський		30	30	50	48	158
Решетилівський					96	96
Чутівський					96	96
Великобагачанський					20	20
Глобинський					50	50
Машівський					50	50
Миргородський	10					10
Всього	10	80	30	100	410	630

Таблиця 3

Стан колоній степового бабака в Диканському районі Полтавської області станом на липень 1997 року

Рік проведення реінтродукції	Місце відлову	Місце переселення	Стан колонії на час проведення обліку
1993	Харківська область	Яружно-балкова система поруч із селом <i>Міжгір'я</i>	Налічено 21 особину на 4 родинних ділянках. Спостерігалася молодь.
1995	Харківська область	Урочище Грайове поруч із селами Василівка та Марченки	Частково мігрували. Налічено 29 особин на 10 родинних ділянках
1996	Харківська область		

підготовка місць випуску, проживання на місцях випуску бродячих собак. Тому в більшості областей, де проводилися випуски бабаків, була зафіксована дуже низька приживлюваність або в деяких районах навіть повна її відсутність [11]. Брак будь-

якого контролю над виконавцями під час проведення заходів по реінтродукції призвів до того, що в деяких випадках не можливо встановити не тільки кількість фактично переселених звірів, але й навіть місця випуску в межах адміністративної одиниці.

Це пов'язано з ротацією відповідальних осіб, втраченою архівних документів, банальною безвідповідальністю колишніх виконавців.

Реінтродукція степового бабака в Полтавській області почалася в 1980 році. На території Миргородського лісгоспазу було випущено 10 особин (5 самців і 5 самок). При цьому зовсім не враховувалися екологічні вимоги існування цього виду. У зв'язку з невдалим вибором місця для реакліматизації бабаки з місць зникли, подальша доля їх невідома.

За даними В.А. Токарського [9; 10], у період з 1990 по 2004 роки в Полтавській області було випущено 1225 (Таблиця 1) особин степового бабака, вилучених на території Харківської та Луганської областей. У Таблиці 2 наведено розподіл для переселення по районах Полтавської області станом на осінь 1996 року.

У 1996 році було випущено 346 особин бабака, вилучених із природи на території Харківської і 64 тварин – Луганської області. Станом на весну 1996 року (дані Полтавської облради УТМР) в області мешкало 305 байбаків. Тварин випускали в природу у Зіньківському, Диканському, Решетилівському, Карлівському районах.

У період з 16 по 25 липня 1996 року автори провели перший етап досліджень у Диканському районі Полтавської області. На момент проведення обліку чисельності та розміщення бабаків на місцях випуску колонії було зафіксовано на двох площадках. На обох площадках в той час проводилось інтенсивне випасання ВРХ. Перша площадка розташована в урочищі Грайове між селами Василівка та Марченки. На момент проведення обліку в цій яружно-балковій системі реінтродукцію степового бабака проводили двічі: в 1995 та 1996 роках. Загалом було випущено по 50 особин. Всі бабаки для переселення були вилучені з природи в Харківській області. Станом на липень 1996 року на цій площадці було зафіксовано 10 родинних ділянок, на яких налічувалось 29 особин.

Друга площадка, де було сформовано колонію степового бабака, на той час була розташована неподалік села Міжгір'я. Бабаків тут випускали в 1993 році у кількості 50 особин. Степового бабака для реінтродукції також було вилучено із Харківської популяції. На момент проведення обліку на площадці неподалік села Міжгір'я було налічено 21 особину бабаків на 4 родинних ділянках. Стан колоній бабака в Диканському станом на липень 1996 року проілюстровано в Таблиці 3.

Аналіз результатів експедиційних досліджень показує, що бабаки ство-

рили стійкі колонії на місцях випуску, але здебільшого спостерігалися міграційні зрушення, в деяких випадках навіть загибель тварин. Досить часто звірі для тимчасового притулку вибирали старі скирти соломи. Маршрути міграції достеменно дослідити не вдалося, але було знайдено тимчасові притулки бабаків.

Другий етап досліджень у Диканському районі було проведено більш ніж за 20 років потому в період із 2017 по 2018 роки. На момент проведення досліджень та обліку чисельності бабака в Диканському районі було реорганізовано структуру мисливських угідь і створено кілька мисливських господарств: ДРГО «Товариство мисливців Диканщини», «Диканське досвідне лісо-мисливське господарство» та ПАФ «Подольяка».

У травні 2018 року автори провели облік степового бабака на території ДРГО «Товариство мисливців Диканщини». Основне поселення розташоване на північ від с. Водяна Балка. Час проведення робіт із реінтродукції, кількісний та якісний склад, а також походження бабаків для переселення достеменно

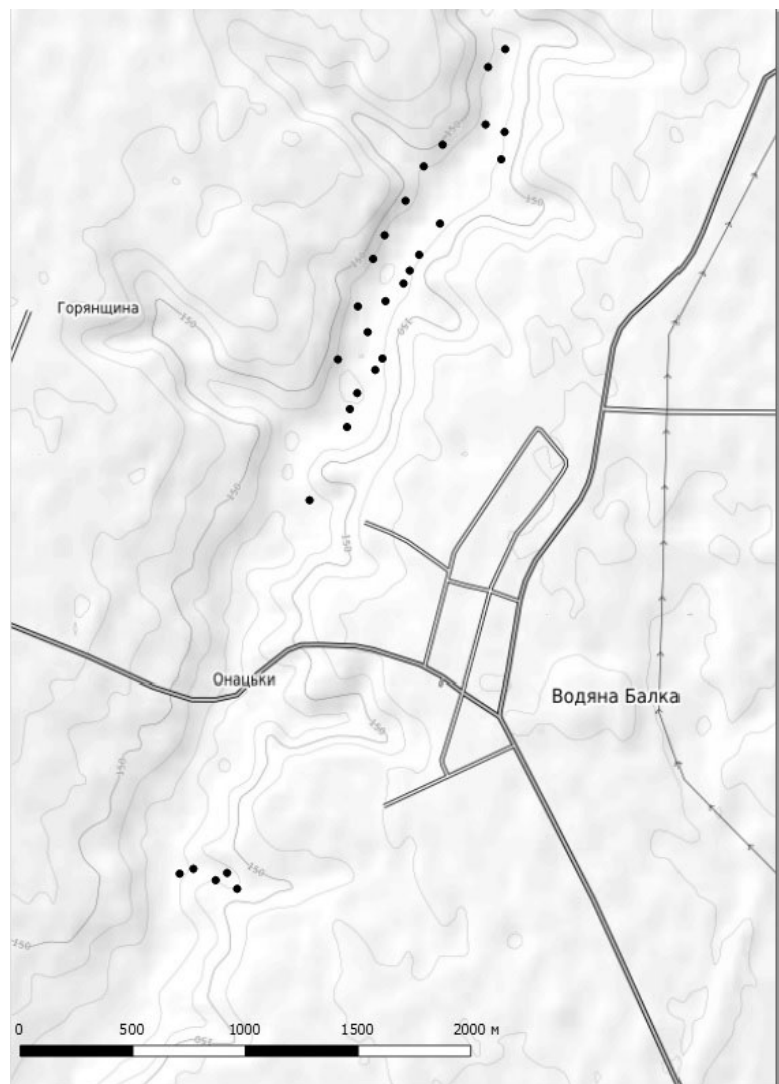


Рис. 1. Розміщення родинних ділянок бабаків біля селища Водяна Балка

встановити не вдалося. Дотепер у яружно-балочній системі проводиться випас ВРХ, що сприяє збереженню степового бабака та сталого розвитку колонії.

Під час проведення обліку було нараховано 24 родинних ділянки. В південній частині цієї яружно-балкової системи випас ВРХ припинено, що негативно впливає на стан поселень бабаків. На цій площадці збереглися лише 5 сімей (рис. 1). Облік кількості особин у родині не проводився, але, враховуючи те, що родина бабаків могла мати у своєму складі від 3,5 до 5,5 особин, можна припустити, що на території ДРГО «Товариство мисливців Диканщини» нараховується близько 120 особин на площадці біля селища Водяна Балка (рис. 1).

Другий осередок розташований в урочищі Грайове між селами Васиївка та Марченки (рис. 2). Під час проведення обліку на цій площадці було враховано 12 родинних ділянок. Враховуючи середню кількість особин у родині, можна припустити існування 50 особин степового бабака. Слід зазначити,

що урочище Грайове загалом відображає картину розвитку негативних подій в усіх без винятку яружно-балкових системах України. Тут більш ніж 20 років тому було вдало відновлено життєздатну колонію бабаків, яка почала занепадати паралельно зі скороченням випасу ВРХ. Непрямі ознаки свідчать про нещодавню значну (понад 70 родинних ділянок) чисельність степового бабака в цьому урочищі. На жаль, подальша перспектива існування колонії бабаків в яружно-балковій системі між селами Васиївка та Марченки мало ймовірна.

Картування родинних ділянок на маршрутах відбувалося за допомогою GPS-навігатора. Координати одержані при дослідженні поселень степового бабака на описаних вище ділянках біля селища Водяна Балка та в урочищі Грайове (Таблиця 4).

Крім описаних колоніальних поселень, на момент проведення досліджень на території адміністративного району знаходилися окремі поселення родин степового бабака. На жаль, їх існування на тепер сумнівне.

Головні висновки. У період з 1986 по 2004 роки на території Полтавської області було розселено 1255 особин степового бабака. Аналіз випуску бабаків на прикладі Диканського району показав порівняно низьку приживлюваність, що свідчить про брак низки підготовчих дій, пов'язаних з особливостями екології степового бабака.

За результатами моніторингу чисельності тварин на прикладі Диканського району встановлено, що зниження чисельності бабаків у місцях створених колоній корелює зі зменшенням випасу великої рогатої худоби, що свідчить про субдомінантність цього виду тварин, тобто бабак є вторинним користувачем пасовищ, а його існування залежить від домінантних консументів.

Узагальнюючи результати вдалих експериментів по переселенню родин бабаків, можна зробити висновок, що відновлення популяції степового бабака в межах колишнього ареалу є цілком імовірним при дотриманні екологічних вимог умов існування цього виду та за умови постійного контролю всіх етапів реінтродукції з боку науковців. Тому знову виникає питання про необхідність створення спеціалізованого науково-виробничого підприємства, яке б могло взяти на себе не тільки контроль за проведенням таких масштабних заходів, а й навіть їх організацію.



Рис. 2. Розміщення родинних ділянок в урочищі Грайове

Таблиця 4

Координати, одержані при картуванні поселень за допомогою GPS-навігатора

Родинна ділянка	Широта, гр.	Довгота, гр.	Родинна ділянка	Широта, гр.	Довгота, гр.
1.	49.8314950	35.05735800	22	49.91485300	34.47556600
2.	49.8315020	34.40471700	23	49.91536500	34.47667900
3.	49.83150900	34.40485000	24	49.91599400	34.47706400
4.	49.83636800	34.40506100	25	49.91621900	34.47764700
5.	49.89111100	34.40322300	26	49.91979300	34.47893600
6.	49.89082000	34.46640100	27	49.92088100	34.4827210
7.	49.89116500	34.46577300	28	49.92346200	34.48292900
8.	49.89161800	34.46506700	29	49.92417400	34.48191100
9.	49.89162700	34.46368900	30	49.92713500	34.48296800
10.	49.89142300	34.46297600	31	49.92117700	34.48243100
11.	49.90623100	34.46284000	32	49.82256900	34.48175400
12.	49.90914200	34.47087300	33	49.82434800	34.39860300
13.	49.90985700	34.47318700	34	49.82600800	34.40176500
14.	49.91049300	34.47336400	35	49.82657700	34.40186300
15.	49.91186800	34.47381600	36	49.82738000	34.40230700
16.	49.91141300	34.47537700	37	49.82818600	34.40273700
17.	49.91059100	34.47493300	38	49.81246600	34.40255300
18.	49.91183100	34.47372800	39	49.81054100	34.41873500
19.	49.91291900	34.47262600	40	49.81116300	34.42143400
20.	49.91394100	34.47446500	41	49.81364800	34.42327600
21.	49.91415200	34.47385800			

Література

1. Абеленцев В.И. Современное состояние поселений байбака и опыт его реакклиматизации на Украине / В.И. Абеленцев, В.М. Самош, Г.В. Модин // Труды Среднеазиатск. н.-и. противочумн. ин-та. Алма-Ата. 1961. Вып. 7. С. 309–320.
2. Дежкин А.В. Результаты искусственного расселения степного сурка в России / А.В. Дежкин // V Междунар. Совещ. по суркам стран СНГ, 21-23 сент. 1993 г., с. Гайдары, Украина : Тезисы докл. М., 1994. С. 8–9.
3. Дежкин А.В. Итоги и перспективы расселения байбака в Европейской части СССР / А.В. Дежкин, А.А. Тихонов, Д.И. Бибииков // Охрана, рациональное использование и экология сурков: Всесоюзн. Совещ., 3-5 февр. 1983. Тезисы докл. М., 1983. С. 37–42.
4. Иваненко И.Д. О бабаке в Причерноморской степи Украины // Природа. 1948. 11. С. 63–64.
5. Колосов А.М., Лавров Н.П. Обогащение промысловой фауны СССР. М. : «Лесная промышленность». 1968. 265 с.
6. Колосов А.М., Лавров Н.П., Наумов С.П. Биология промысловых зверей СССР. М. : Высшая школа. 1961. 360 с.
7. Лавров Н.П. Акклиматизация и реакклиматизация пушных зверей в СССР. М. : Заготиздат. Тип. им. Мяги в Куйбышеве. 1946. 220 с.
8. Румянцев В.Ю. Реакклиматизация бабака: итоги и проблемы (Сообщение 1 – некоторые методические вопросы. Сообщение 2 – некоторые теоретические вопросы) / В.Ю. Румянцев // Тез. докл. Межд. семинара по суркам стран СНГ. М. : Изд-во АВФ. 1997. С. 30–35.
9. Токарский В.А. Байбак и другие виды рода Сурки. // Токарский В.А. Харьков : Изд-во Харьковского териол. об-ва. 1997. 304 с.
10. Токарский В.А., Грубник В.В., Авдеев А.С. Реакклиматизация степного сурка (*Marmota bobak* Mull., 1776) в Украине (Харьковская, Полтавская, Сумская, Запорожская и Днепропетровская области) // Вісн. Харків. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Серія: Біологія. 2006. Вип. 4 (№ 748). С. 100–109.
11. Токарський В., Грубник В., Атемасов А. Результати реінтродукції степового бабака (*Marmota bobak* Mull. 1776 (rodentia, sciuridae) в південних районах Правобережної України // Вісн. Львівськ. ун-ту. Серія: Біологічн. 2019. Вип. 80. С. 160–169.

ДИНАМІКА Й ІНІЦІУЮЧІ ФАКТОРИ ВСИХАННЯ ЯЛИНИ ЗВИЧАЙНОЇ В ДЕНДРОПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ» НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Драган Н.В., Бойко Н.С., Дойко Н.М., Пидорич Ю.В.
Державний дендрологічний парк «Олександрія»
Національної академії наук України
м. Біла Церква, 09113, Київська область
ninapark@ukr.net, alexandriapark@ukr.net

Показані історичні аспекти інтродукції та ландшафтна роль ялини звичайної в парку «Олександрія». Як один із головних ландшафтовірних видів ялина звичайна вводилася в паркові насадження, починаючи з часів заснування «Олександрії» та протягом всього існування парку. Проаналізована динаміка вікового і кількісного складу ялини звичайної в дендропарку за 23-річний період. Загалом зафіксовано стабільне зменшення кількості дерев цього виду, особливо старовікових. За період спостережень впало 117 200-річних екземплярів, що привело до повного руйнування двох алей, створених за допомогою ялини звичайної. Хронічне всихання спричиняє постійний невисокий відпад дерев ялини. В результаті гострого всихання за короткий термін гинуть сотні екземплярів. Досліджені причинно-наслідкові зв'язки відпаду ялини звичайної різного віку в різних місцезростаннях парку. Основною причиною відпаду ялин у період приживання після пересадки є якість посадкового матеріалу та невдало підібрані місця посадки, аномальні засухи. Хронічне всихання ялин молодого й середнього віку викликане в основному ценотичним пригніченням, старовікових – комплексом хвороб і шкідників. Показано особливості виникнення, поширення і наслідки спалаху розмноження короїда-типографа в дендропарку «Олександрія». Виникнення спалаху розмноження короїда-типографа було приурочене до найбільш антропогенно-трансформованих місцезростань ялини. Недоступні для відвідувачів насадження ялини звичайної від цього шкідника не постраждали. Названі ініціюючі фактори всихання ялинових насаджень у ландшафтах дендропарку «Олександрія». Головним із них є неврахування біологічних особливостей ялини звичайної при «ремонті» існуючих і створенні нових насаджень із рослин вказаного виду, що посилюється аномальними погодними умовами та діяльністю фітопатогенних організмів. *Ключові слова:* дендропарк «Олександрія», ялина звичайна, хронічне всихання, антропогенне навантаження, *Ips typographus*.

Dynamics and initiative factors of the drying of European spruce in the “Olexandria” dendrological park of National Academy of Sciences of Ukraine. Dragan N., Boiko N., Doiko N., Pidorich Yu.

Historical aspects of introduction of the European spruce and its landscape role in the “Olexandria” Park are shown. It is shown that the European spruce has been introduced into the stands of the “Olexandria” Park from the time of its founding (from the late 18th century) to the present. Dynamics of the age and quantitative composition of the European spruce for a 23-year period in the Dendrological Park is analyzed. We noted a steady decrease of the number of trees of this species, especially, of the ancient ones. During the observation period about 117 two-hundred-year-old specimens of spruce were disappeared, causing the destruction of two alleys created using the European spruce. It has been investigated that chronic desiccation causes a constant low fall of spruce trees. At that time, hundreds of spruce specimens disappear in the short term as a result of sharp drying. Reasons of spruce fallout were investigated. The main reasons of the spruce loss are the quality of the planting material, incorrectly selected landing sites and anomalous weather conditions, especially drought. Studies have shown that chronic drying of trees of the European spruce of young and middle age was mainly caused by coenotic suppression, and old – aged – by a complex of diseases and pests. The analyzing of the local spread of the European spruce bark beetle *Ips typographus* L. and consequences of damage of trunks of the European spruce by this pest on the spruce stands of the Park are shown. Investigations have revealed that mainly the centers of mass reproduction of the European spruce bark beetle *Ips typographus* were confined to the most anthropogenically-transformed localities of the spruce stands. In the case of the stands of the European spruce, which grew at a considerable distance from the excursion routes were not affected by this pest. The initiating factors of the drying of the spruce stands in the “Olexandria” Park are gave. It is showed that one of the main factors in the drying of the European spruce is neglect of its biological features in the reconstruction and creation of spruce stands, which is exacerbated by climatic conditions and activity of phytopathogenic organisms. *Key words:* Alexandria arboretum, European spruce, chronic drying, anthropogenic load, *Ips typographus*.

Постановка проблеми. Натепер по всьому світу спостерігаються ослаблення і хвилі відпаду основних лісотвірних видів деревних рослин. Головною причиною цього явища вважають глобальні зміни клімату, що супроводжуються погодними аномаліями, спалахами розмноження небезпечних шкідників тощо. Вчені визнають недостатність наукового розуміння реакції лісу на зміни клімату в регіональних масштабах, що робить необхідним відповідні дослідження в контексті місцевих умов.

Актуальність дослідження. Особливої актуальності набувають такі дослідження в старовинних парках. Спадкоємцем одного із таких парків є державний дендрологічний парк «Олександрія» НАН України, створений на основі однойменного присадибного парку, заснованого в кінці XVIII століття.

В парку збереглися унікальні ландшафтні композиції, створені кращими садівниками Європи того часу, велика колекція старовікових деревних рослин. Генофонд деревних рослин дендропарку

«Олександрія» внесений до переліку об'єктів, які становлять національне надбання України. Вивчення причин і особливостей відпаду одного з головних ландшафтотвірних видів – ялини звичайної сприятиме правильному догляду, створенню і збереженню стійких ялинових насаджень, композицій.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідженням феномену зміни клімату, наслідки якого були зафіксовані у 70-х роках минулого століття і різко проявилися в останні десятиліття, присвячено низку публікацій [1; 2]. Численні дослідження присвячені вивченню питань масової загибелі ялини як результат засух [9], діяльності стовбурових шкідників як у світі [4; 20], так і в Україні [5; 6]. В тому числі були дослідження по вивченню діяльності шкідників ялини залежно від різних факторів [7–9].

Виділення не виділених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Численні дослідження з цієї тематики присвячені лісовим насадженням. Питанням життєздатності деревних рослин у ботанічних установах, старовинних парках, в умовах дії комплексу негативних чинників природного та антропогенного походження присвячено мало досліджень.

Новизна. Дослідження присвячене проблемам стійкості і відпаду ялини в культурценозах, які функціонують нестійко. Наслідки загибелі дерев у таких парках мають свої особливості, оскільки випадання вікових раритетних рослин призводить до руйнування або й зникнення ландшафтних композицій.

Методологічне або загальнонаукове значення. Туризм натеper введений до числа чільних пріоритетів державної політики, тому старовинні парки стають надзвичайно привабливими об'єктами рекреації. Дослідження може бути використано при нормуванні антропогенних навантажень у ботанічних установах і старовинних парках. Встановлені причинно-наслідкові зв'язки відпаду ялини в різних екотопах можуть бути враховані при створенні і догляду ялинових насаджень у культурценозах.

Метою дослідження було визначення динаміки та причинно-наслідкових залежностей відпаду різновікових насаджень ялини звичайної в різних екотопах парку та визначення ініціюючих факторів відпаду.

Методи: Обстеження осередків стовбурових шкідників проводили згідно загальноприйнятих методик [10]. Визначення короїдів проводили за допомогою методичних вказівок [11–13]. Ураженість дерев хворобами встановлювали візуально за наявністю макроскопічних ознак [14]. Санітарний стан дерев ялини визначали відповідно до Санітарних правил в лісах України [15].

Один із головних ландшафтотвірних видів парку «Олександрія» – ялина звичайна була введена в ландшафти з початку його заснування (кінець XVIII ст.) Створені ландшафтні композиції за кілька століть набули особливої цінності, зокрема дві монументальні Ялинові алеї в центральній і західній частині парку. Чотири групи 200-річних ялин входять у ландшафтне ядро Великої галявини – однієї з найбільших і найгарніших галявин серед відомих парків. У вигляді невеликих груп і поодинокі вікові ялини зростали по всьому парку. У великих кількостях в різний час ялина звичайна вводилася в ландшафти вже дендрологічного парку «Олександрія» (після передачі його до складу Академії наук у 1946 році).

Проведені інвентаризації ялинових насаджень показали велику динаміку їх вікового і кількісного складу (Таблиця 1).

Вікові групи до 15 років автори виділили тому, що рослини цього віку є в основному свіжовисадженими, проходять період приживання. В цей час відбувається активна диференціація рослин у насадженні за життєвим станом, виділяються лідери і ценотично пригнічені, максимально відпадають ялини. Насадження з молодих і середньовікових ялин вже є виразними сформованими композиціями, проте в окремих із них ценотична диференціація з великим відпадом продовжується.

Відпад дерев ялини звичайної в паркових ландшафтах відбувається постійно, з деякими особливостями відносно вікових груп і умов місцезростання, спостерігається як хронічне, так і гостре всихання. В окремі роки або періоди цей відпад набував катастрофічного характеру, коли гинули сотні здорових, добре сформованих екземплярів ялини різного віку, руйнуючи або повністю знищуючи ландшафтні композиції.

Вікова група до 10 років. Вікова група, яка постійно поповнюється, з метою «ремонту»

Таблиця 1

Динаміка кількісного складу ялини звичайної з 1997 по 2020 роки

Рік інвентаризації	Кількість ялин по віковим групам			Загальна кількість
	До 15 років	Молоді і середньовікові (до 60 років)	Стиглі і перестиглі (150-200 лет)	
1997	210	613	139	962
2007	202 (140*)	550	108	860
2012	194 (45*)	485	60	739
2020	230 (40*)	455	22	710

Примітка: * – кількість дерев, що загинули за період між обстеженнями

попередніх посадок і створення нових. Основні причини відпаду:

- якість посадкового матеріалу (погано розвинені або перерослі рослини з несформованою кореневою системою);
- невдало вибране місце посадки (затінення тощо);
- погодні умови (засухи, аномально висока температура);
- механічне знищення відвідувачами.

Хвороби й шкідники в такому віці ключової ролі не відіграють, хоча на пригнічених деревах були виявлені гали хермесів, лишайники, смолотечіння.

Молоді і середньовікові рослини. Ця дослідна група охоплює широкий віковий інтервал і включає вже сформовані ялинові насадження. В цій групі спостерігається в основному хронічне всихання. Основними причинами всихання є помилки, допущені ще при висаджуванні рослин: посадка ялин у місця з сильним забрудненням викидами автотранспорту; загущені посадки, коли при підростанні ялин йде змикання крон, виділення в насадженні лідерів і ценотично пригнічених, відставання в рості, зрідження останніх, їх відпад; посадка рослин неподалік листяних, які ростуть швидше і надалі пригнічують молоді ялини. Практично завжди незадовільні результати спостерігалися від «ремонтів» існуючих насаджень, коли молоді рослини висаджуються в «вікна» із недостатньою освітленістю і малим життєвим простором. Рослини, які не гинуть в перші роки висадки, можуть досягати і 20-річного віку, бути з погано сформованою кроною, витягнутими, зрідженими, мати рани на стовбурці, але надалі вони все рівно гинуть.

До хронічного погіршення стану ялин цієї групи в окремих місцезростаннях призводить зростаюче рекреаційне навантаження, зокрема на Ялиновій алеї в центральній частині парку і в куртині 30-річних ялин у східній частині парку. В дщих насадженнях різко зменшується кількість дерев вищих катего-

рій життєвого стану і зростає кількість дерев нижчих категорій. Високе антропогенне навантаження призводить до знищення трав'янистого покриву, ущільнення ґрунту, механічного пошкодження дерев. Велика залежність цих насаджень від антропогенного впливу відбувається через неврахування біологічних особливостей виду. Ялинова алея в центральній частині парку була створена по аналогії з такою в Павловську (Рис. 1). У 1975 році ця алея була сильно зруйнована аномальною засухою (того року в парку всохло біля 300 ялин середнього віку і вікових). Після «ремонтів» алеї в 70-ті роки відстань від нововисаджених ялин до алеї зменшили до 5 м (від 10 м посадки часів Браницьких, коли і антропогенне навантаження було незначним).

Екологічні особливості ялини передбачають із віком дерева перехід кореневої системи в поверхневі шари ґрунту, що робить її ще більш чутливою до витоптування. Зменшення відстані між рядами ялин при ремонті алеї призвело до того, що по мірі росту дерев і змикання крон розросталися і їх кореневі системи, займаючи верхні горизонти ґрунту, а з часом повністю розмістилися під алеєю. Порушення аерації внаслідок ущільнення ґрунту викликало різке пригнічення корневих систем із подальшим ослабленням дерев, утворення на їх стовбурах великих ранових поверхонь. Відомо [16], що відкрита виразка слугує місцем проникнення різних паразитарних грибів і інфекцій, які потім приводять до загибелі окремих гілок, а то й усього дерева. Рекреаційне навантаження є відповідальним і за сильне ослаблення куртини середньовікових ялин у східній частині парку на Сонячній галявині, де відбувалися регулярні тренування спортсменів.

З хвороб у ялин цієї вікової групи були зафіксовані некрозо-ракові (призводили до серій великих ран на стовбурах), кореневі гнилі. В окремі роки верхівки крон були пошкоджені ялиновим пильщиком. Дереву були заселені великим ентомокомплексом стовбурових шкідників. Проте всі ці хвороби і шкід-



А



Б

Рис. 1. Ялинові алеї у Павловську (А) та дендропарку «Олександрія» (Б)

ники не викликали гострого всихання ялин, в окремі роки кореневі гнилі (губка) утворювали невеликі осередки всихання ялини. Ці гнилі викликали і вітровал різновікових ялин, проте такі випадки носили одиничний характер.

На вікових деревах із патологій фіксувалися кореневі гнилі, смолотечіння та пошкодження ентомокомплексом стовбурових шкідників. Всихання цих ялин до 2011 року носило хронічний характер, гинуло в середньому біля 3 дерев на рік через кореневі гнилі.

Гостре всихання. З архівних даних відомо про гостре всихання ялини звичайної в 1975 році. Тоді в дендропарку всохло біля 300 середньо- і старовікових дерев. Була майже зруйнована Ялинова алея в центральній частині парку, про загибель в інших місцезростаннях не уточнюється. Однойменна алея в західній частині парку відреагувала на засуху масовою суховершинністю, згодом відбулося однократне перевершинення. Алея з дуже розгалуженими верхівками існувала донедавна.

Другий випадок гострого всихання ялини звичайної на початку XXI століття був викликаний спалахом масового розмноження короїда-типографа. Відпад почався на Ялиновій алеї в центральній частині парку. З 2008 по 2010 роки він набрав силу, тоді в південній частині алеї локально всохло 11 середньовікових ялин. Протягом 2011 року осередок розширився на більшість 200-метрової алеї – випало одне, останнє старовікове і 29 середньовікових дерев, що привело до її суттєвого руйнування. В цьому ж році сформувався осередок випадання дерев і в західній частині парку, де на Ялиновій алеї випало 17 старовікових дерев, ще 3 старовікові ялини випали неподалік, на Горіховій галявині. До кінця 2013 року в алеї з 69 150-річних дерев загинуло 64. У 2013 році сформувалися останні два осередки загибелі ялини – в центральній частині парку (випало 21 дерево 25-річного віку), в східній загинуло 32 із 49 30-річних ялин. У 2014 році загибелі ялин від цього шкідника вже не було, спалах самозатух. Не постраждали тоді від типографа група 30-річних ялин і у південно-східній частині парку, 12 200-річних ялин на Великій галявині.

Спалах розмноження короїда-типографа виник у центральній частині парку в районі найбільшого рекреаційного навантаження з оголеним і витоптаним ґрунтом. Північна частина алеї, де земля хоча б під половиною проекції крон була не затоптана, вижила. Три роки короїд набрав чисельності і в наступні роки призводив до майже повного руйнування кількох віддалених від першого осередку композицій із ялини.

Короїд-типограф – один із найнебезпечніших шкідників ялини в Євразії [20], належить до групи фізіологічно активних шкідників і прискорює відмирання ослаблених, але ще життєздатних насаджень, а при масовому розмноженні здатний заселяти практично здорові ялини [17]. Жуки-короїди пошкоджують

життєво важливі тканини дерева, і якщо вони заселили стовбур по всій окружності, то дерево гине протягом 1-2 тижнів [18].

Спалах розмноження короїда-типографа в дендропарку «Олександрія» виник у часових рамках активізації цього шкідника по всій північній півкулі (і України в тому числі) і катастрофічної загибелі від нього ялинових насаджень. Очевидно, що дендропарку «Олександрія» важко було уникнути цієї проблеми. Проте на деякі причино-наслідкові явища слід звернути увагу.

На формування першого осередку в найбільш антропогенно навантаженому екоотопі пішов тривалий час – 3 роки з ураженням по 3-4 ялини на рік. Набравши «сили», шкідник почав поширюватися на сусідні насадження ялини і формувати нові осередки, в останню чергу знищивши насадження в найбільш віддалених від епіцентру виникнення спалаху насадження.

Антропогенно спричинене ослаблення ялинових насаджень стало можливим через неврахування біологічних особливостей виду при відновленні зруйнованої засухою вікової алеї в центральній частині парку і розташування дерев буквально на узбіччі дороги. В цьому випадку ініціюючим фактором був антропогенний. Катастрофічна діяльність короїда в парку виявила і загострила низку помилок у культивуванні ялини в парку. Ситуацію ускладнили й погодні умови початку XXI століття – тривалі засухи з аномально високими температурами.

Ялина звичайна належить до вологолюбивих видів, які хворобливо реагують на недостатність ґрунтового зволоження [19]. Екстремальні погодні умови засушливих років призводять до порушення функціонування смоловидільної системи луба і часткового його зруйнування, внаслідок чого відбувається витікання під тиском смоли в провідні і запасуючі тканини. В результаті відбувається порушення відтоку в ці тканини синтезованих у хвої асимілятів, що викликає зниження захисних функцій дерева. Дереву зі зниженими захисними реакціями – найбільш вразливі об'єкти для заселення фізіологічно активними стовбуровими шкідниками.

Ініціюючим людський фактор був і у випадку хронічного відпаду великої кількості ялин, висаджених у несприятливих екоотопах (техногенно забруднених, затінених місцезростаннях) при використанні завідомо неповноцінного посадкового матеріалу. Частина дерев, особливо старовікових, у «докороїдний» період хронічно всихала від тривалої дії шкідників і хвороб, переважно корневих гнилей.

Головні висновки. Ялина звичайна в наш час у дендропарку «Олександрія» ще виконує роль одного із головних ландшафтотвірних видів, хоча постійно зменшується загальна кількість дерев цього виду, особливо найстарішої вікової групи, що вже призвело до руйнування цінних ландшафтних композицій.

Ослаблення та відпад ялини звичайної в різних вікових групах і в різних екотопах відрізняється. Основними причинами відпаду ялин наймолодшого віку є якість посадкового матеріалу, невдало підібрані місця посадки, аномальні засухи. Хронічне всихання молодих і середньовікових дерев ялини звичайної викликане переважно тривалим цено-тичним пригніченням при загущеній посадці або посадці в несприятливих для виду умовах. Вплив шкідників і хвороб у цьому віці був несуттєвим. Хронічне всихання і відпад старовікових дерев ялини звичайної був спричинений кореневими гни-

лями, некрозо-раковими хворобами та ентомокомплексом стовбурових шкідників.

Гостре всихання ялини звичайної в дендропарку було зафіксовано двічі – від аномальної засухи в 70-х роках минулого століття і від спалаху масового розмноження короїда-типографа на початку XXI століття. В обох випадках воно призвело до катастрофічних наслідків. Епіцентр спалаху розмноження короїда-типографа відбувся в найбільш антропогенно-навантаженої частині парку, поступово поширюючись до віддалених композицій. Ділянки, недоступні для відвідувачів і з хорошим природним зволоженням, не постраждали.

Література

1. Ефимова Н.А., Строкина Л.А. Эмпирические оценки изменений климата на континентах северного полушария в конце XX века. *Изменения климата и их последствия*. СПб : Наука, 2002. С. 93–104.
2. Кокорин А.О., Назаров И.М. Оценка влияния потепления климата и роста потока фотосинтетически активной радиации на бореальные леса. *Метеорология и гидрология*, 1994. № 5. С. 44–54.
3. Маслов А.Д. Усыхание еловых лесов от засух на европейской территории СССР. *Лесоведение*, 1972. № 6. С. 77–89.
4. Комплексные меры защиты ельников европейской части России по подавлению вспышки массового размножения короїда-типографа. Пушкино, 2001. 45 с.
5. Сучасний стан захисту лісів від шкідників і хвороб. *Матеріали виїзного засідання колегії Держкомлісгоспу України за участю НАН України по проблемі всихання ялинових насаджень у Карпатському регіоні*. Львів, 2005. 124 с.
6. Тимочко В.Б., Кисельюк О.І. Досвід використання феромонних пасток у Карпатському природному парку. *Наук. вісник Ужгородського ун-ту*. Серія: Біологія, 2010. Вип. 29. С. 102–105.
7. Катаев О.А., Осетров А.В., Поповичев Б.Г., Селиховкин А.В. Динамика плотности популяций короедов (Coleoptera, Scolytidae) в древостоях, ослабленных природными и антропогенными факторами. *Чтения памяти Н.А. Холодковского*. СПб, 2001. Вып. 54. С. 22–27.
8. Лебедев А.В. Энтомоустойчивость ели европейской в рекреационных лесах Московской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.05. Воронеж, 1983. 22 с.
9. Маслов А.Д. Вспышка массового размножения короїда-типографа под влиянием засух в 1972–1975 гг. *Новейшие достижения лесной энтомологии*. Вильнюс, 1981. С. 99–105.
10. Методичні рекомендації щодо обстеження осередків стовбурових шкідників лісу / відповід. укладач В.Л. Мешкова. Х. : УкрНДЛГ, 2010. 27 с.
11. Спесивцев П.Н. Определитель короедов. М.-Л. : Сельхозгиз, 1931. 102 с.
12. Старк В.Н. Инструкция по собиранию и изучению короедов. М.-Л. : АН СССР, 1936. 88 с.
13. Яцентковский А.В. Определитель короедов по повреждениям. Л. : Государственное сельскохозяйственное издательство, 1930. 206 с.
14. Журавлев И.И. Диагностика болезней леса. М., 1962. 142 с.
15. Санітарні правила в лісах України. К., 1995. 9 с.
16. Мозолевская Е.Г. Оценка вредоносности стволовых вредителей. *Научные труды Московского лесотехн. института*. М. : Изд-во МЛТИ, 1974. Вып. 65. С. 124–132.
17. Маслов А.Д., Кутеев Ф.С., Прибылова М.С. Стволовые вредители леса. М. : Лесн. пром-сть. 1973. С. 1–2.
18. Мозолевская Е.Г. Влияние состояния насаждений на динамику численности короедов. *Чтения памяти Н.А. Холодковского. Доклады на 34 ежегодном чтении 3 апреля 1981 г. Л.* : Наука, 1981 С. 3–24.
19. Абражко В.І. О водном режиме еловых деревьев в засуху. *Лесоведение*, 1994. № 6. С. 36–45.
20. Bakke Alf. The recent Ips typographus outbreak in Norway – experiences from a control program. *Holarctic ecology*, 1989. 12. P. 515–519.

СЕЗОННА ЗМІНА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ НАПІВВІЛЬНОГО УТРИМАННЯ КАБАНА ДИКОГО НА ТЕРИТОРІЇ МИСЛИВСЬКО-СПОРТИВНОГО КЛУБУ «СОКІЛ»

Кратюк О.Л.

Житомирський національний агроекологічний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
deneshi_ks@ukr.net

Досліджено сезонні зміни діелектричних показників насаджень сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), які зростають у двох вольєрах МСК «Сокіл» на території Суського лісництва ДП «Клеванське ЛГ». Встановлено, що перший вольєр площею 7,1 га створено для розведення кабана дикого (*Sus scrofa* L.) із подальшим випуском в угіддя та має високий ступінь мисливсько-господарського впливу на лісові біогеоценози, у другому – площею 9,3 га – облаштовано контрольно-випробувальну станцію для потреб мисливського собаководства, а ступінь впливу на лісові насадження незначний. У межах першого вольєра станом на березень показники поляризаційної ємності ($6,83^{±0,27}$ нФ і $6,40^{±0,23}$ нФ) та імпеданса ($31,25^{±2,05}$ та $34,88^{±2,33}$ кОм) достовірно не відрізнялися від контрольних показників ($t_f = 0,92-1,31$ та $t_f = 0,28-1,56$; $t_{05} = 2,02$). Уже в липні відбувається уповільнення проходження процесів життєдіяльності у сосни звичайної в межах вольєра порівняно з контрольними. Поляризаційна ємність дослідних насаджень достовірно відрізнялася від контрольних ($t_f = 4,75-5,34$; $t_{05} = 2,02$) і становила $12,19^{±0,50}$ та $11,66^{±0,43}$ нФ. Значення імпеданса змінювалося в межах $16,90^{±0,96}-17,63^{±0,91}$ кОм. На контрольних він був нижчий на 20,8–25,0% ($t_f = 3,06-4,42$; $t_{05} = 2,02$) і становив $13,05^{±0,49}-13,38^{±0,63}$ кОм. У жовтні поляризаційна ємність коливалася у межах $7,02^{±0,37}-7,25^{±0,35}$ нФ, в той же час на контрольних вона була достовірно вища на 23,0-23,4% ($t_f = 3,18-3,69$; $t_{05} = 2,02$) і становила $8,66^{±0,36}-8,92^{±0,27}$ нФ. Імпеданс становив $30,83^{±3,90}-31,23^{±3,77}$ кОм. На контрольних він був достовірно нижчий ($t_f = 2,27-2,36$; $t_{05} = 2,02$) і складав $21,33^{±0,98}$ і $22,10^{±1,40}$ кОм. На території іншого вольєра поляризаційна ємність коливалася у березні в межах $6,91^{±0,28}-7,18^{±0,27}$ нФ (достовірність різниці з контрольними показниками $t_f = 0,20-1,48$; $t_{05} = 2,02$), у липні вона зросла до $16,57^{±0,90}-16,93^{±1,01}$ нФ ($t_f = 0,09-0,47$; $t_{05} = 2,02$), а у жовтні знизилася до $8,10^{±0,32}-9,32^{±0,37}$ нФ ($t_f = 0,01-0,59$; $t_{05} = 2,02$). Показники імпеданса протягом сезону спочатку знизилися з $29,45^{±1,77}-32,45^{±2,21}$ кОм ($t_f = 0,16-1,92$; $t_{05} = 2,02$) до $11,90^{±0,50}-13,58^{±0,55}$ кОм ($t_f = 0,06-1,97$; $t_{05} = 2,02$), а потім зросли до $19,70^{±1,23}-25,45^{±1,92}$ кОм ($t_f = 0,42-1,29$; $t_{05} = 2,02$) у жовтні. На основі сезонних змін показників поляризаційної ємності та імпеданса дослідних і контрольних насаджень сосни звичайної автором встановлено негативний вплив напіввільного утримання *Sus scrofa* на життєдіяльність дерев. **Ключові слова:** поляризаційна ємність, імпеданс, *Pinus sylvestris*, вольєр, *Sus scrofa*.

Seasonal changes in dielectric parameters of scots pine in semi-free Wild boars keeping on the territory of Hunting-sports club "Sokil". Kratiuk O.

Seasonal changes in dielectric parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations which grow in two enclosures of HSC "Sokil" on the territory of Susk forestry, State Enterprise "Klevanske forestry" are researched. It is established that the first enclosure with the area of 7,1 ha is made for Wild boars (*Sus scrofa* L.) breeding with the following release into the grounds and has high hunting economic influence on the forest biocenoses, the second one with the area of 9,3 ha is used as the test station for hunting dog breeding and its influence on forest plantations is insignificant. Within the first enclosure in March polarization capacity indices ($6,83^{±0,27}$ nF and $6,40^{±0,23}$ nF) and impedance indices ($31,25^{±2,05}$ and $34,88^{±2,33}$ kΩ) were not significantly different from control indices (accordingly $t_f = 0,92-1,31$ and $t_f = 0,28-1,56$; $t_{05} = 2,02$). In July the slowing down in vital processes of Scots pine takes place within the enclosure in comparison with the control one. The polarization capacity of the researched plantations significantly differed from control ones ($t_f = 4,75-5,34$; $t_{05} = 2,02$) and was $12,19^{±0,50}$ and $11,66^{±0,43}$ nF accordingly. The impedance indices changed within $16,90^{±0,96}-17,63^{±0,91}$ kΩ. In the control ones it was lower by 20,8–25,0% ($t_f = 3,06-4,42$; $t_{05} = 2,02$) having $13,05^{±0,49}-13,38^{±0,63}$ kΩ. In October polarization capacity fluctuated within $7,02^{±0,37}-7,25^{±0,35}$ nF, whereas in control ones it was significantly higher by 23,0–23,4% ($t_f = 3,18-3,69$; $t_{05} = 2,02$) having $8,66^{±0,36}-8,92^{±0,27}$ nF. The impedance was $30,83^{±3,90}-31,23^{±3,77}$ kΩ. In control ones it was significantly lower ($t_f = 2,27-2,36$; $t_{05} = 2,02$) having $21,33^{±0,98}$ і $22,10^{±1,40}$ kΩ accordingly. On the territory of the other enclosure the polarization capacity in March fluctuated within $6,91^{±0,28}-7,18^{±0,27}$ nF (the reliability of difference with control indices $t_f = 0,20-1,48$; $t_{05} = 2,02$), in July it increased to $16,57^{±0,90}-16,93^{±1,01}$ nF ($t_f = 0,09-0,47$; $t_{05} = 2,02$) and in October it decreased to $8,10^{±0,32}-9,32^{±0,37}$ nF ($t_f = 0,01-0,59$; $t_{05} = 2,02$). The impedance indices at first decreased from $29,45^{±1,77}-32,45^{±2,21}$ kΩ ($t_f = 0,16-1,92$; $t_{05} = 2,02$) to $11,90^{±0,50}-13,58^{±0,55}$ kΩ ($t_f = 0,06-1,97$; $t_{05} = 2,02$) at the beginning of the season and then increased to $19,70^{±1,23}-25,45^{±1,92}$ kΩ ($t_f = 0,42-1,29$; $t_{05} = 2,02$) in October. So, basing on seasonal changes in polarization capacity and impedance indices in researched and control plantations of Scots pine we established the negative influence of Wild boars semi-free keeping on trees vital processes. **Key words:** polarization capacity, impedance, *Pinus sylvestris*, enclosure, *Sus scrofa*.

Постановка проблеми. Починаючи з другої половини ХХ століття, широкого застосування у лісовому господарстві набувають досягнення електрофізіології рослин. Поштовхом до цього стало масове розмноження ялинової листок-

рутки (*Choristoneura fumiferana* Clemens, 1865) у лісах США та Канади в 1977 році. За підтримки Міністерства сільського господарства США (United States Department of Agriculture) та Міністерства навколишнього середовища Канади (Canadian

Department of the Environment) за результатами праць доктора Алекс Л. Шіго (Dr. Alex L. Shigo) розроблено методику визначення стану лісових насаджень на основі визначення діелектричних показників дерев. Для цього було створено вимірювальний прилад, згодом названий шигометром, який використовував імпульсний електричний струм для визначення імпедансу [1]. В результаті метод шигометрії [2] набув широкого застосування у лісовому господарстві. Цей метод може бути придатним і для використання у мисливському господарстві.

Актуальність дослідження. Напіввільне утримання мисливських тварин набуває все більшої популярності на території України як засіб підвищення ефективності ведення мисливського господарства, вступаючи в конфлікт інтересів з лісовим господарством. Тільки у межах Центрального Полісся кількість вольєрів за останні два десятиліття зростає із 4 до 23. Вольєри зазвичай перенаселені. Надмірна концентрація тварин на обмеженій території неодмінно має негативні наслідки та призводить до втрати екосистемної цілісності лісових біогеоценозів на таких ділянках аж до повної їх деградації. Інтенсивність таких процесів залежить від багатьох чинників: площі вольєра, щільності та видового складу мисливських тварин, а також від лісівничо-таксаційних показників лісостанів. Такі процеси потребують всебічного аналізу для розробки моделі невиснажливого використання лісових ресурсів мисливською фауною.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. На території України об'єктами напіввільного утримання є кабан дикий (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758), козуля європейська (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758), олень благородний (*Cervus elaphus* Linnaeus, 1758), олень плямистий (*Cervus nippon* Temminck, 1838), лань (*Dama dama* Linnaeus, 1758), муфлон європейський (*Ovis ammon* Linnaeus, 1758), зубр (*Bison bonasus* Linnaeus, 1758) [3–5].

Швидке зростання кількості вольєрів і чисельності тварин у них спонукає до вдосконалення вже існуючого та розробки нового нормативно-правового забезпечення функціонування вольєрного господарства. Зокрема, запропоновані Міністерством охорони навколишнього природного середовища України (Наказ від 30.09.2010 № 429 (зі змінами № 400 від 30.10.2017) «Порядок утримання та розведення диких тварин, які перебувають у стані неволі або в напіввільних умовах») мінімальні норми площ для утримання та розведення диких тварин не можуть забезпечити мисливським тваринам (на одну особину *Sus scrofa*, *Dama dama* чи *Capreolus capreolus* відводиться лише 30 м², *Cervus nippon*, *Cervus elaphus* – 50 м²) живлення переважно природними кормами та забезпечити їх біологічні, видові та індивідуальні потреби. Доцільним було б визначення та встановлення оптимальних площ для напів-

вільного утримання мисливських тварин на основі комплексного дослідження лісових насаджень у вольєрах із використанням електрофізіологічних показників деревних рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З перших спроб вимірювання електрофізіологічних показників у лісах [6–8] протягом останніх 50 років, використовуючи здобутки електрофізіології рослин, вчені розробили перевірені методики для оцінки стану лісових насаджень [9]. Нещодавній прогрес у цій галузі підкріплений не лише зростаючим розумінням біоелектрики рослин, але й розвитком сучасного вимірювального обладнання. Наприкінці ХХ століття у колишньому СРСР серійно почали виготовляти аналоговий LCR-метр Ф4320, який працював лише на частоті 1 кГц. Він був єдиним на той час приладом, здатним вимірювати імпеданс та поляризаційну ємність, обидва діелектричні показники, необхідні в електрофізіології рослин.

Вперше на території України застосував вимірювання електрофізіологічних показників LCR-метром для визначення життєздатності деревних рослин Г.Т. Криницький [10]. Наразі вивченням діелектричних показників різних стадій онтогенезу охоплена низка деревних порід: дуба звичайного (*Quercus robur* L.), бука лісового (*Fagus sylvatica* L.) [11], граба звичайного (*Carpinus betulus* L.) [12], в'яз шорсткого (*Ulmus scabra* Mill.) [13], лип серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) та широколистої (*Tilia platyphyllos* Scop.) [14], насаджень за участю модрина європейської (*Larix decidua* Mill.) [15], підросту *Fagus sylvatica*, смереки звичайної (*Picea abies* Karst), ялиці білої (*Abies alba* Mill.), берези повислої (*Betula pendula* Roth.), осики (*Populus tremula* L.), горобини звичайної (*Sorbus aucuparia* L.), явора (*Acer pseudo-platanus* L.) [16]. Проте найбільше робіт присвячено вивченню електрофізіологічних показників сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) [17–23]. Автор встановив особливості впливу напіввільного утримання *Cervus nippon* [24] і *Sus scrofa* [25] на сезонні зміни діелектричних показників *Pinus sylvestris* на території Центрального Полісся.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Натепер широке застосування поляризаційної ємності та імпедансу на основі LCR методики під час проведення еколого-лісівничих досліджень [26] спонукає до пошуку нових ефективних методів і способів діагностики станів деревних рослин. Автор вперше в Україні застосував цю методику для визначення діелектричних показників *Pinus sylvestris* з метою встановлення ступеня впливу напіввільного утримання мисливських тварин на лісові насадження.

Новизна. Вперше для Західного Полісся проведено аналіз сезонних змін діелектричних показників *Pinus sylvestris* в умовах напіввільного утримання *Sus scrofa*.

Метою роботи є встановлення особливостей впливу напіввільного утримання *Sus scrofa* на діелектричні показники *Pinus sylvestris* на території вольтерів МСК «Сокіл».

Методологічне або загальнонаукове значення.

Результати цих досліджень дозволять у перспективі встановити залежність між площею вольтерів, видовим складом тварин і станом лісових насаджень, а також розробити рекомендації щодо ведення вольтерного господарства в лісах. Актуальним залишається і питання розробки експрес-методів ранньої діагностики стадій мисливсько-господарської дигресії лісових насаджень в умовах напіввільного утримання мисливських тварин. У цьому відношенні перспективним було б застосування електрофізіологічних показників для розробки нормативних документів.

Виклад основного матеріалу. Мета роботи.

Встановити вплив напіввільного утримання *Sus scrofa* на інтенсивність проходження процесів життєдіяльності у *Pinus sylvestris* протягом року.

Об'єктами досліджень були обрані деревостани *Pinus sylvestris* у свіжих (С₂-гдС) і вологих (С₃-гдС) грабово-дубово-соснових сугрудах, які зростають у межах вольтерів МСК «Сокіл» площею 7,1 га (Вольтер I) та 9,3 га (Вольтер II) на території Суського лісництва ДП «Клеванське ЛГ» Рівненського обласного управління лісового і мисливського господарства (Західне Полісся). Контролем слугували насадження з аналогічними лісівничо-таксаційними показниками поза межами вольтера. За можливості автор намагався обирати такі насадження, які під час будівництва вольтера були розділені. Закладено 11 пробних площ (ПП): шість (ПП № 1-ПП № 6) на території вольтерів і п'ять контрольних (ПП № К₁-ПП № К₆). Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на ПП наведено у табл. 1. В межах кожної ПП відбирали по 20 модельних екземплярів із числа пану-

ючих у фітоценозі дерев. Дослідження проводили у березні, липні та жовтні 2019 року.

Для визначення інтенсивності процесів життєдіяльності *Pinus sylvestris* було використано діелектричні показники (імпеданс (R) і поляризаційну ємність (C) прикамбіальних тканин лубу на висоті стовбура 1,3 м. Вимірювання проводили аналоговим приладом Ф4320 за методикою Г.Т. Криницького [10].

Загальна площа вольтерів ТОВ «МСК «Сокіл» становить 407,6 га. До вольтерного комплексу, створеного у 2015 році, належить шість потужних розплідників (382,3 га; 9,3 га; 7,1 га; 6,4 га; 1,3 га; 1,2 га) диких ратичних для утримання тварин із подальшою репродукцією видів і випуском у природу. Наразі у напіввільному стані тут утримують *Sus scrofa*, *Cervus elaphus*, *Dama dama*, *Capreolus capreolus*, *Ovis ammon* [27]. Вольтери, в яких утримують *Sus scrofa*, відрізняються між собою за призначенням.

Перший вольтер площею 7,1 га створено для розведення виду з подальшим випуском в угіддя, у другому – площею 9,3 га – облаштовано контрольно-випробувальну станцію, сертифіковану Федерацією мисливського собаківництва України, для проведення притравок, випробувань і змагань мисливських собак по підсадному кабану. Перший вольтер до моменту випуску 9 особин *Sus scrofa* у лютому 2019 року активно не експлуатували. Протягом 2019 року чисельність тварин зросла і у жовтні вже становила близько 45 особин. Загалом щільність *Sus scrofa* у розпліднику збільшилася у перерахунку на 100 га із 127 до 563 особин, що кардинально вплинуло на лісові насадження. У другому вольтері, призначеному для потреб мисливського собаківництва, з 2016 року постійно перебуває 3-4 особини *Sus scrofa*.

Результати дослідження діелектричних показників прикамбіальних тканин сосни звичайної в умовах напіввільного утримання *Sus scrofa* наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на пробних площах

№ ПП	Квартал (виділ)	Склад деревостану	Тип лісу	Вік, роки	Відносна повнота	Клас бонітету	Запас, м ³ /га
Вольтер I							
1.	24(9)	10Сз + Дз + Бп	С ₂ -гдС	50	0,70	I ^A	300
К ₁	18(1)	8Сз2Дз + Гз + Бп	С ₂ -гдС	55	0,70	I ^A	320
2.	24(10)	10Сз + Дз + Бп + Гз	С ₂ -гдС	65	0,70	I ^A	400
К ₂	18(20)	8Сз1Гз1Бп + Дз	С ₂ -гдС	62	0,80	I ^A	460
Вольтер II							
3.	25(29)	7Сз1Дз1Бп1Гз + Ос	С ₃ -гдС	52	0,80	I ^A	290
4.	25(29)	7Сз1Дз1Бп1Гз + Ос	С ₃ -гдС	52	0,80	I ^A	290
К ₃₋₄	25(2)	8Сз1Дз1Гз + Бп	С ₃ -гдС	56	0,75	I ^A	300
5.	25(34)	10Сз + Дз + Гз	С ₃ -гдС	79	0,60	I ^A	400
К ₅	25(34)	10Сз + Дз + Гз	С ₃ -гдС	79	0,60	I ^A	400
6.	25(45)	9Сз1Дз + Бп	С ₃ -гдС	80	0,70	I ^A	450
К ₆	25(45)	9Сз1Дз + Бп	С ₃ -гдС	80	0,70	I ^A	450

Примітка: Сз – сосна звичайна, Дз – дуб звичайний, Гз – граб звичайний, Бп – береза повисла, Ос – осика

Таблиця 2

Діелектричні показники сосни звичайної в умовах напіввільного утримання кабана дикого

№ ПП	C, nF		R, кОм	
	M^m	$V, \%$	M^m	$V, \%$
Березень 2019 року				
1.	6,83 ^{±0,27}	17,7	31,25 ^{±2,05}	29,4
K ₁	6,26 ^{±0,33}	23,7	35,63 ^{±1,92}	24,1
2.	6,40 ^{±0,23}	16,0	34,88 ^{±2,33}	29,8
K ₂	6,76 ^{±0,32}	21,1	35,72 ^{±1,90}	23,8
3.	7,02 ^{±0,23}	14,7	31,13 ^{±1,20}	17,3
4.	7,13 ^{±0,28}	17,5	32,45 ^{±2,21}	30,6
K ₃₋₄	7,48 ^{±0,21}	12,5	27,80 ^{±1,24}	20,0
5.	7,18 ^{±0,27}	16,9	29,88 ^{±2,47}	37,0
K ₅	7,35 ^{±0,26}	16,1	29,37 ^{±2,05}	31,2
6.	6,91 ^{±0,28}	18,1	29,45 ^{±1,77}	26,8
K ₆	6,82 ^{±0,33}	21,5	31,78 ^{±2,66}	37,4
Липень 2019 року				
1.	12,19 ^{±0,50}	18,2	16,90 ^{±0,96}	25,5
K ₁	17,35 ^{±0,97}	24,9	13,38 ^{±0,63}	21,0
2.	11,66 ^{±0,43}	16,6	17,63 ^{±0,91}	23,1
K ₂	16,94 ^{±0,89}	23,4	13,05 ^{±0,49}	16,9
3.	16,93 ^{±1,01}	26,0	11,90 ^{±0,50}	18,2
4.	16,68 ^{±0,80}	21,5	12,67 ^{±0,54}	19,1
K ₃₋₄	17,05 ^{±0,89}	23,3	13,75 ^{±0,80}	26,1
5.	16,75 ^{±0,79}	22,1	13,58 ^{±0,55}	18,3
K ₅	17,17 ^{±0,85}	22,0	12,55 ^{±0,62}	22,2
6.	16,57 ^{±0,90}	24,2	12,17 ^{±0,57}	20,9
K ₆	17,13 ^{±0,77}	20,2	12,23 ^{±0,60}	21,9
Жовтень 2019 року				
1.	7,02 ^{±0,37}	23,3	31,23 ^{±3,77}	53,9
K ₁	8,66 ^{±0,36}	18,7	22,10 ^{±1,40}	28,4
2.	7,25 ^{±0,35}	22,1	30,83 ^{±3,90}	56,7
K ₂	8,92 ^{±0,27}	13,8	21,33 ^{±0,98}	20,7
3.	9,18 ^{±0,39}	18,9	19,70 ^{±1,23}	27,9
4.	9,32 ^{±0,37}	17,7	20,13 ^{±1,24}	27,5
K ₃₋₄	9,23 ^{±0,29}	14,0	21,70 ^{±0,98}	19,3
5.	8,73 ^{±0,43}	22,1	25,10 ^{±2,63}	46,8
K ₅	8,40 ^{±0,35}	18,8	23,85 ^{±1,34}	25,2
6.	8,10 ^{±0,32}	17,5	25,45 ^{±1,92}	33,8
K ₆	8,09 ^{±0,48}	26,7	28,03 ^{±3,98}	63,5

Інтенсивність впливу *Sus scrofa* на лісові біогеоценози вольєра I і вольєра II різна, тому зміну діелектричних показників *Pinus sylvestris* слід розглядати по кожному вольєру окремо.

Станом на березень у вольєрі I утримували дев'ять особин *Sus scrofa*. У цей період поляризаційна ємність на ПП № 1 становила 6,83^{±0,27} nF, на ПП № 2 – 6,40^{±0,23} і достовірно не відрізнялася від контрольних показників ($t_\phi = 0,92-1,31$; $t_{05} = 2,02$) (табл. 3). Коефіцієнт варіації показника незначний як на дослідних (16,0–17,7%), так і на контрольних (21,1–23,7%) ПП. Імпеданс у березні на дослідних ПП № 1-ПП № 2 коливався у межах

31,25^{±2,05}–34,88^{±2,33} кОм. Між показниками імпедансу на дослідних і контрольних ПП не існує достовірної різниці ($t_\phi = 0,28-1,56$; $t_{05} = 2,02$). Коефіцієнт варіації на дослідних ПП становить 23,8–24,1%, на контрольних – 29,4–29,8%. Станом на березень діелектричні показники *Pinus sylvestris* у вольєрі I достовірно не відрізнялися від контрольних. Згодом за рахунок приплоду чисельність тварин у вольєрі поступово почала зростати і до середини літа їх кількість складала близько 40 особин, що вкрай негативно позначилося на лісових насадженнях.

У липні за величиною поляризаційної ємності дослідні насадження *Pinus sylvestris* достовірно

Достовірність різниці (t-критерій Ст'юдента) між величинами діелектричних показників сосни звичайної у деревостанах на території вольєрів і поза їх межами (контроль)

№ ПП	Поляризаційна ємність, (С)		Імпеданс, (R)	
	t_ϕ	%	t_ϕ	%
Березень 2019 року				
1.	1,31	91,6	1,56	114,0
2.	0,92	105,6	0,28	102,4
3.	1,48	106,6	1,92	89,3
4.	1,01	104,9	1,83	85,6
5.	0,44	102,4	0,16	98,3
6.	0,20	98,7	0,77	107,9
Липень 2019 року				
1.	4,75	142,3	3,06	79,2
2.	5,34	145,3	4,42	74,0
3.	0,09	100,7	1,97	115,5
4.	0,31	102,2	1,11	108,5
5.	0,37	102,5	1,24	92,4
6.	0,47	103,4	0,06	100,5
Жовтень 2019 року				
1.	3,18	123,4	2,27	70,8
2.	3,69	123,0	2,36	69,2
3.	0,09	100,5	1,29	110,2
4.	0,19	99,0	1,01	107,8
5.	0,59	96,2	0,42	95,0
6.	0,01	99,9	0,58	110,1

Примітка: табличне значення t-критерію Ст'юдента (t_{05}) дорівнює 2,02

відрізняються від контрольних ($t_\phi = 4,75-5,34$; $t_{05} = 2,02$). Поляризаційна ємність на дослідних ПП № 1 і ПП № 2 становила $12,19^{\pm 0,50}$ та $11,66^{\pm 0,43}$ nF, а на контрольних – $17,35^{\pm 0,97}$ та $16,94^{\pm 0,89}$ nF. Значення імпеданса на дослідних ПП № 1-ПП № 2 змінювалося у межах $16,90^{\pm 0,96}$ – $17,63^{\pm 0,91}$ кОм. На контрольних він був нижчий на 20,8-25,0% ($t_\phi = 3,06-4,42$; $t_{05} = 2,02$) і становив $13,05^{\pm 0,49}$ – $13,38^{\pm 0,63}$ кОм. Вже у липні можна було констатувати уповільнення проходження процесів життєдіяльності у *Pinus sylvestris* в межах вольєра порівняно з контрольними, хоча загальна тенденція зростання показників поляризаційної ємності та зниження імпеданса порівняно з березневими зберігається.

Дослідження, проведені у жовтні, показують поступове зниження інтенсивності фізіологічних процесів у *Pinus sylvestris* як на дослідних, так і на контрольних ділянках, про що свідчать встановлені автором діелектричні показники. Так, поляризаційна ємність у жовтні на дослідних ПП № 1-ПП № 2 коливалася у межах $7,02^{\pm 0,37}$ – $7,25^{\pm 0,35}$ nF, в той же час на контрольних вона була достовірно вища на 23,0–23,4% ($t_\phi = 3,18-3,69$; $t_{05} = 2,02$) і становила $8,66^{\pm 0,36}$ – $8,92^{\pm 0,27}$ nF (табл. 2).

Коефіцієнт варіації показника незначний як на дослідних (22,1-23,3%), так і на контрольних (13,8-18,7%) ПП. Імпеданс у жовтні на дослідних ПП № 1-ПП

№ 2 змінювався в межах $30,83^{\pm 3,90}$ – $31,23^{\pm 3,77}$ кОм. На контрольних він був достовірно нижчий ($t_\phi = 2,27-2,36$; $t_{05} = 2,02$) і становив $21,33^{\pm 0,98}$ і $22,10^{\pm 1,40}$ кОм. Коефіцієнт варіації показників імпедансу на дослідних ПП має досить високу індивідуальну мінливість для окремих модельних дерев і становить 53,9–56,7%, а на контрольних – 20,7–28,4%.

На території вольєра II поляризаційна ємність на пробних площах коливалася в березні у межах $6,91^{\pm 0,28}$ – $7,18^{\pm 0,27}$ nF (достовірність різниці з контрольними показниками $t_\phi = 0,20-1,48$; $t_{05} = 2,02$), у липні вона зросла до $16,57^{\pm 0,90}$ – $16,93^{\pm 1,01}$ nF ($t_\phi = 0,09-0,47$; $t_{05} = 2,02$), а у жовтні знизилася до $8,10^{\pm 0,32}$ – $9,32^{\pm 0,37}$ nF ($t_\phi = 0,01-0,59$; $t_{05} = 2,02$). Коефіцієнт варіації на дослідних ПП у березні становив 14,7–18,1%, у липні 21,5–26,0%, у жовтні 17,5–22,1%. Показники імпеданса протягом сезону спочатку знизилися з $29,45^{\pm 1,77}$ – $32,45^{\pm 2,21}$ кОм ($t_\phi = 0,16-1,92$; $t_{05} = 2,02$) до $11,90^{\pm 0,50}$ – $13,58^{\pm 0,55}$ кОм ($t_\phi = 0,06-1,97$; $t_{05} = 2,02$), а потім зросли до $19,70^{\pm 1,23}$ – $25,45^{\pm 1,92}$ кОм ($t_\phi = 0,42-1,29$; $t_{05} = 2,02$) у жовтні.

Коефіцієнт варіації імпеданса на дослідних ПП у березні становив 17,3-37,0%, у липні 18,2-20,9%, у жовтні 27,5-46,8%. Автором було встановлено відсутність достовірної різниці (t-критерію Ст'юдента) між діелектричними показниками дослідних ПП № 3-ПП № 6 і контрольних ПП № К₃₋₄-ПП № К₆

насаджень сосни звичайної, що свідчить про відсутність видимого впливу напіввільного утримання *Sus scrofa* на життєдіяльність дерев.

Головні висновки. На основі сезонних змін показників поляризаційної ємності та імпеданса дослідних і контрольних насаджень у вольєрах з різною чисельністю та тривалістю експлуатації встановлено негативний вплив напіввільного утримання *Sus scrofa* на проходження процесів життєдіяльності у дерев *Pinus sylvestris*.

У насадженнях *Pinus sylvestris* із високим ступенем впливу вольєрного утримання *Sus scrofa* спостерігається достовірна різниця (t -критерію Ст'юдента)

у проходженні процесів життєдіяльності в дерев порівняно з контрольними показниками. Високі коефіцієнти варіації (46,8–63,5 %) показників імпеданса на окремих пробних площах вказують на високу індивідуальну мінливість модельних дерев.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані експериментальні дані діелектричних показників *Pinus sylvestris* можуть бути використані для уніфікації способів і методів оцінки впливу напіввільного утримання мисливських тварин, а також діагностики стадій мисливсько-господарської дигресії лісових насаджень.

Література

- Skutt Richard H., Shigo Alex L., Lessard Ronald A. Detection of Discolored and Decayed Wood in Living Trees Using a Pulsed Electric Current. *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. 2(1). 54–56.
- Shigo Alex L., Shortle Walter C. Spruce Budworms Handbook. Shigometry – a reference guide. *United State Department of Agriculture, Forest Service*, 1985. 48. Retrieved from: <https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/ag-handbook/ah646.pdf>.
- Смаголь В.Н., Гавриш Г.Г. Зубр, *Bison bonasus* (Mammalia Artiodactyla) в Україні: динаміка численності, розповсюдження, стації і лімітуючі фактори : монографія. Київ : Велес, 2013. 128 с.
- Свтушевський М.Н. Мисливські тварини України на волі та в вольєрах : монографія. Черкаси : Вертикаль, 2012. 376 с.
- Камінецький В.К., Бабіч О.Г., Смаголь В.М. Екологічні та господарські аспекти напіввільного розведення диких копитних (на прикладі спеціалізованих підприємств Державного управління справами Президента України) : монографія. Миронівка : ЗАТ «Миронівська друкарня», 2011. 154 с.
- Fensom D.S. The bioelectrical potentials of plants and their functional significance. *Can. J. Bot.* 1963. 41. P. 831–851.
- Fensom D.S. On measuring electrical resistance in situ in higher plants. *Can. L. Plant Sci.* 1966 46. P. 169–175.
- Hayden R.I., Moyses C.A., Calder F.W., Crawford D.P., Fensom D.S. Electrical Impedance Studies on Potato and Alfalfa Tissue. *Journal of Experimental Botany*. 1969. Vol. 20, Issue 2, May 1969, P. 177–200.
- Shortle W.C. Shigometer. *Encyclopedia of plant pathology*. 2001. 2 Vol. Set, John Wiley and Sons, Inc., 902–903.
- Криницький Г.Т. Про методику використання електрофізіологічних показників для визначення життєздатності деревних рослин. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна*. 1992, т. 23. С. 3–10.
- Дерех О.І. Діелектричні показники дуба і бука на ділянках різних стадій дигресії зеленої зони Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014, т. 24, № 8. С. 119–124.
- Гуменюк І.Р., Заїка В.К., Бондаренко В.Д. Стан граба звичайного в лісостанах заповідника «Медобори». *Науковий вісник НУБІП України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2012, вип. 171(1). С. 57–60.
- Криницький Г.Т., Скольський І.М. Використання діелектричних показників для визначення життєвого стану в'язу шорсткого. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2015, т. 13. С. 83–88.
- Карпин Н.І., Заїка В.К. Діелектричні показники лип серцелистої та широколистої в умовах міста Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017, т. 27, № 1. С. 33–37.
- Керімов Е.І., Заїка В.К. Діелектричні показники деревних видів у деревостанах за участю Модрини європейської. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018, т. 28, № 8. С. 23–27.
- Лавний В.В., Криницький Г.Т. Електрофізіологічні показники підросту деревних порід. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011, т. 21, № 17. С. 86–90.
- Дерев'янчук Ю.Л., Заїка В.К. Морфофізіологічна реакція дерев сосни звичайної, уражених опеньком осіннім. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011, т. 21, № 19. С. 18–24.
- Заїка В.К. Діелектричні показники сосни звичайної на радіаційно забруднених територіях. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2004, т. 14, № 1. С. 12–15.
- Заїка В.К., Руденко А.В. Морфофізіологічні особливості дерев сосни звичайної в борах Малого Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012, т. 22, № 9. С. 9–13.
- Криницький Г.Т., Галушка В.П. Електрофізіологічна реакція сосни звичайної на добування живиці. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2005, т. 15, № 2. С. 8–13.
- Криницький Г.Т., Заїка В.К. Електрофізіологічна реакція культур сосни звичайної на високі рівні хронічного радіаційного опромінення. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2004, т. 14, № 5. С. 8–14.
- Рибак Ю.Л. Електрофізіологічні показники уражених сосновим вертуном дерев сосни звичайної в умовах Західного Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012, т. 22, № 12. С. 42–48.
- Рибак Ю.Л., Заїка В.К. Зміна електрофізіологічної активності у дерев сосни звичайної, уражених шютте звичайним. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013, т. 23, № 2. С. 90–96.
- Кратюк О.Л. Особливості впливу напіввільного утримання мисливських тварин на діелектричні показники сосни звичайної. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019, т. 29, № 8. С. 43–45.
- Кратюк О.Л. Сезонна зміна діелектричних показників сосни звичайної в умовах напіввільного утримання мисливських тварин. *Екологічні науки*. 2019, т. 27, № 4. С. 192–196.
- Криницький Г.Т. Електрофізіологічні дослідження деревних рослин в Україні. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. 2001, т. 2. С. 233–237.
- Кратюк О.Л. Характеристика вольєрів Західного Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019, т. 29, № 5. С. 36–39.

БІОТОПИ ПАРКУ-ПАМ'ЯТКИ САДОВО-ПАРКОВОГО МИСТЕЦТВА ФЕОФАНІЯ¹

Пашкевич Н.А.

ДУ «Інститут еволюційної екології Національної академії наук України»
вул. акад. Лебедєва, 37, 03143, м. Київ
pashkevych.nataly@gmail.com

Охарактеризовано біотопи парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва Феопанія та вказано головні аспекти рекреаційного впливу на природну рослинність на території парку. З'ясовано, що вплив міста Київ, прилеглого села Хотів загалом на парк значний через регулярність, а місцями і необмеженість рекреації. Найменша трансформація зафіксована для лісової частини парку. Описано та запропоновано як екскурсійний маршрут різноманітні ділянки парку з віднесенням ценозів до відповідних типів біотопів В, С, Д, Т за Національним каталогом біотопів. До пропонованого маршруту увійшли такі біотопи: В1.3. Ділянки постійних непроточних водойм без вищої водної рослинності; В3.3. Ділянки водотоків без вищої водної рослинності; В4.1.1. Прибережні та підтоплені ділянки з угрупованнями високих геліофітів; В4.1.2. Прибережні злаково-різнотравні зарості вздовж водотоків; В4.1.5. Угруповання нітрофільної однорічної рослинності на мулистих берегах річок та обмілинах; Т5.2.1. Мезофільні узлісся та галявини на нейтральних і слаболужних ґрунтах; Д1.2.1. Центральноевропейські грабово-дубові ліси; Д1.2.2. Східноєвропейські мезофільні евтрофні ліси дуба звичайного і липи сердцелистої лісової зони; Д1.2.3. Східноєвропейські мезофільні евтрофні широколистяні ліси лісостепової і степової зон; Д1.6.2. Вологі та періодично вологі ліси з домінуванням дуба звичайного або видів в'яза; Д1.6.1. Заплавні вербові і тополеві ліси; С1.2.2. Рудеральні біотопи багаторічних трав нітрофільного типу комплексом біотопів забудованих територій С3.3. Для кожної з ділянок наведено еколого-ценотичні особливості, індикаторні види та характер антропогенного впливу. Для більшості біотопів наведені фото з парку. Проведена робота є прикладом інтерпретації паркової і напівприродної лісової рослинності за оселищною концепцією. *Ключові слова:* ліси, урочище Феопанія, чужорідні види, рекреація.

The biotopes of the park-monuments of the garden art Feophania. Pashkevych N.

Abstract. The biotopes of the Feofania Gardens have been describe and the main aspects of the impact of recreational influence on natural vegetation in the park are outlined. One of the priorities of environmental protection is the protection of the nature of the urban environment. The impact of the city of Kyiv, the nearby village of Khotiv on the park was a whole is significant, due to the regularity and sometimes the unlimited recreation. For the forest part of the park was noted the smallest transformation. Various sections of the park have been described and proposed as an excursion route, with the coenoses attributed to the corresponding types of biotopes В, С, D, T according to the National Catalog of Biotopes. The proposed route includes the following biotopes: В1.3. Unvegetated freshwater still waters, В3.3. Unvegetated parts of watercourses, В4.1.1. Reedbeds and flooded areas with communities of tall helophytes, В4.1.2. Riverine grass-forb thickets along watercourses. В4.1.5. Nitrophilous annual vegetation on muddy riverbanks; Т5.2.1. Mesophilous fringes and glades on neutral and base-rich soils; Д1.2.1. Central European oak-hornbeam forests, Д1.2.2. Eastern European mesic eutrophic pedunculate oak and Linden Heartwood Forest Area, Д1.2.3. Eastern European mesic eutrophic broad-leaved forests of the forest-steppe and steppe zones, Д1.6.1. Willow-poplar forests of floodplains, Д1.6.2. Moist and occasionally flooded oak-elm forests; С1.2.2. Nutrient-demanding ruderal herbaceous habitats. For each of the sites ecological-cenotic features, indicator species and characteristic of anthropogenic impact are presented. For the majority of habitats are photos of the park. The work done is an example of the interpretation of park and semi-natural forest vegetation according to the habitat concept. *Key words:* forests, Feophany tract, alien species, recreation.

Постановка проблеми. Формування якісного механізму охорони довкілля потребує забезпечення не лише видової охорони, але й оселищної. Сформульована законодавча база повинна реалізуватися як спеціалістами-біологами, так і активними представниками українського суспільства. Для цього необхідне розуміння таких інструментів як вид, угруповання, біотоп. У статті продемонстровано підхід до інтерпретації угруповань, що зростають поруч у найближчому парку, як одиниць Національного каталогу біотопів України [1], а матеріали подано у формі екскурсії. Запропонований екскурсійний маршрут апробований для учасників круглого столу «Критерії кате-

горизації та оцінка ризиків інвазійних чужорідних видів рослин», який відбувся 27 вересня 2019 року в м. Києві на базі ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України» в рамках III Всеукраїнської наукової конференції «Синантропізація рослинного покриву України» [2].

Виклад основного матеріалу. Парк розташований в урочищі Феопанія і межує з висотною забудовою Києва, селом Хотів і перелогоми на їх околиці. Вплив забудови, яка належить до біотопу С3.3 Комплекси біотопів забудованих територій (Національний каталог біотопів України, 2018), значний: мешканці прилеглих будинків регулярно відвідують парк, знають усі «потаємні місця» і люблять

¹ Автор висловлює подяку за допомогу у підготовці статті своїм колегам: професору Р.І. Бурді, Л.М. Зуб, С.М. Конякіну.

не лише прогулятися доріжками (що обмежує рекреаційне навантаження), але й у лісових заростях облаштувати невеликий пікнік. Таке навантаження на природні біотопи незначне, але є одним з аспектів синантропізації у природній частині парку, а ще порушує правила пожежної безпеки парку.

Маршрут авторів розпочинається від готелю «Феофанія». Справа під будинками розташовується невеликий доглянутий горіховий сад (С 2.1.3 **Просанні культури дерев, чагарників та чагарникових ліан**) із різних видів і форм горіху: *Juglans regia*, *J. cinerea*, *J. ailantifolia*, *J regia f. maxima*. Зліва за рудералізованими заростями ростуть чагарники (Д 1.8 **Антропогенні широколистяні ліси**) з *Acer negundo*, у заростях – поодинокі 70-річні дерева горіху *Juglans subcordiformis* із підростом самосіву до 3-4-х років (Рис. 1).

Далі маршрут проходить через антропогенний листяний ліс із мережею асфальтованих доріжок. У деревостані представлені різні види чужорідних видів дерев: *Acer platanoides*, *A. negundo*, *A. sacharinum*, *Eleagnus angustifolia*, *Juglans sp.* і природних видів дерев: *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Ulmus laevis* тощо. Трав'яний ярус формують місцеві лісові види зі значною участю неаборигенних: *Erigeron canadensis*, *Chelidonium majus*, *Impatiens parviflora*, *Ballota nigra*, *Solidago canadensis*. Узбіччя доріжок часом щільно запле-



Рис. 1. Біотопи С 2.1.3. Просанні культури дерев, чагарників і чагарникових ліан та Д 1.8. Антропогенні широколистяні ліси біля парку Феофанія

тені видом-трансформером *Parthenocissus vitacea*. На освітлених ділянках формуються галявини з нітрофільних синантропних видів: *Aegopodium podagraria*, *Humulus lupulus*, *Urtica dioica*, *Falopia dumetorum*, *Myosoton aquatica*, *Artemisia vulgaris*, *Parthenocissus vitacea*. Такі ділянки можна віднести до біотопу С 1.2.2. **Рудеральні біотопи багаторічних трав нітрофільного типу**.

У парк потрапляємо через дубо-кленовий ліс із домішкою липи і в'яза, які утворюють біотоп Д 1.2.2. **Східноєвропейські мезофільні евтрофні ліси дуба звичайного і липи серцелистої лісової зони**. При значній повноті деревного ярусу (до 0,90) нижні яруси розріджені *Euonymus europea*, *Lygustrum vulgare* (у чагарниковому), а у трав'яному – *Chelidonium majus*, *Carex pilosa*, *Geranium robertianum*. Синантропізованість цього біотопу незначна ймовірно через невелику кількість доріжок і «буфер» в якості антропогенного лісового ценозу.

Спускаємося у напрямку села Хотів. Таке сусідство з населеним пунктом найперше відображається на трав'яних біотопах відкритих ділянок лісу. Під впливом рекреації перебуває угруповання біотопу Т 5.2.1. **Мезофільні узлісся та галявини на нейтральних і слаболужних ґрунтах**, що перетворюються на іноді напіврудеральне заростання деревами і чагарниками (*Gleditsia triacanthos*, *Acer negundo*, *Ulmus minor*, *Quercus robur*) і вселення значної кількості трав'яних інвазійних видів: *Solidago canadensis*, *Phalacrolooma annua*, *Asclepias syriaca*, *Erigeron canadensis*, *Ambrosia artemisiifolia*. Основу ж травостою (до 80% проективного покриття) складають *Calamagrostis epigeos*, *Carex hirta*, *Dactylis glomerata*.

Далі у напрямку с. Хотів спостерігаємо насадження 77-річних горіхів шести видів і поодинокі дерева *Gleditsia triacanthos*. Село Хотів, що межує з парком, представлено **Комплексом біотопів забудованих територій С 3.3**. Це поєднання будівель (С. 5.2.1.) і ділянок зі штучним твердим покриттям (С. 5.2.2.), невеликих ділянок сегетальної і рудеральної рослинності різних типів, садів, клумб, городів тощо. Також наявні фрагменти природних біотопів – водних (ставки), трав'яних (незначні лучно-степові та лучні), деревних біотопів культурних деревних насаджень.

Вверх від села зліва розташовані насадження грабу *Carpinus betulus*, які через інтенсивне господарювання та регулярне вирубування підросту та підліску інших видів на початку століття трансформувалися



Рис. 2. Біотоп Д 1.2.2. Східноєвропейські мезофільні евтрофні ліси дуба звичайного і липи серцелистої лісової зони на території парку Феофанія



Рис. 3. Трансформований біотоп Т 5.2.1. Мезофітні узлісся та галявини на нейтральних і слабодужних ґрунтах на території парку Феофанія



Рис. 4. Село Хотів, що межує з парком, представлено Комплексом біотопів С 3.3. забудованих територій

у «грабові плантації». Прямуючи до центральної частини парку, по обидва боки маршруту території парку спостерігаємо лісові угруповання біотопів Д. 1.2.2. Східноєвропейські мезофільні евтрофні ліси дуба звичайного і липи серцелистої лісової зони, де після рубок спостерігаються елементи біотопу Д. 1.2.1. Центральноєвропейські грабово-дубові ліси.

Перший – це лісовий ценоз, що розвивається на нейтральних дерново-підзолистих ґрунтах. Зімкненість крони деревного ярусу до 0,8, де домінантами виступають *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, поодинокі *Ulmus glabra*, *Cerasus avium*. У розрідженому чагарниковому ярусі переважають *Corylus avellana*, *Sambucus nigra*. Затінення не сприяє розвитку густого трав'яного покриву, сформованого *Carex pilosa*, *Stellaria holostea*, *Lamium galeobdolon*. Навесні у синузії ефемероїдів формують «килим» *Corydalis intermedia*, *C. solida*, *Dentaria quinquefolia*, *Ficaria verna*. На жаль, останнім часом все більшу участь у формуванні трав'яного ярусу лісу бере вид-трансформер *Impatiens parviflora*.



Рис. 5. Біотоп Д. 1.2.2. Східноєвропейські мезофільні евтрофні ліси дуба звичайного і липи серцелистої лісової зони на території парку Феофанія

Другий лісовий біотоп представлений досить трансформованим грабово-дубовим чи грабовим лісом на багатих ґрунтах. Тут у трав'яному покриві переважають *Stellaria holostea*, *Lamium galeobdolon*, а весною утворюють яскравий килим *Corydalis solida*, *C. intermedia*, *Dentaria bulbifera*. У зниженій ділянці лісового ценозу з *Populus alba* зафіксовано дорослий екземпляр ще одного виду з високою інвазійною активністю – *Quercus rubra* з поновленням.

Каскад ставків парку Феофанія площею 5 га був створений на місці природного водотоку в тальвезі Феофанійської балки – системи річки Віта у 2004-2006 роках. Береги ставків укріплені камінням, а ставки роз'єднані між собою дамбами і є комплексом прибережних і прісноводних біотопів: **В 1.3. Ділянки постійних непроточних водойм без вищої водної рослинності, В 3.3. Ділянки водотоків без вищої водної рослинності, В 4.1.1. Прибережні та підтоплені ділянки з угрупованнями високих геліофітів, В 4.1.2. Прибережні злаково-різнокотавні зарості вздовж водотоків.**

Лівий берег балки представлений біотопом **Д. 1.2.3. Східноєвропейські мезофільні евтрофні широколистяні ліси лісостепової і степової зон.** Серед домінантів деревного ярусу *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Acer platanoides*, *Carpinus betulus*,

Populus tremula, *Tilia cordata*. У трав'яному ярусі переважають *Carex pilosa*, *Lamium galeobdolon*, *Polygonatum officinale*, *Stellaria holostea*, *Asarum europaeum*, *Galium odoratum*. У структурі лісових ценозів зафіксовані і чужорідні види *Acer negundo*, *Chelidonium majus*, *Urtica dioica*, *Impatiens parviflora*, *Phalacrologa annua*,

Весною яскравий трав'яний покрив складають *Primula elatior*, *Pulmonaria obscura*, *Gagea lutea*, *Viola odorata*, *Cardamine quinquefolia*, *Scilla bifolia*, *Corydalis solida*, *Anemone ranunculoides* тощо. Подекуди трапляються поодинокі вікові екземпляри *Pinus sylvestris*. Цей біотоп досить багатий і на мікологічний складник. На ділянці на пошкоджених деревах часто трапляються трутовики *Bjerkandera adusta*, *Fomes fomentarius*, *Ganoderma lipsiense* – індикатори антропогенного впливу. Підріст із клена гостролистого різного віку спостерігаємо на багатьох ділянках лісової частини парку.

На лівому березі третього ставка наявний фрагмент заплавної лісу, що сформувався вздовж мережі струмків на слабо дренованому плакорі попід лісом і належить до біотопу **Д 1.6.2 Вологі та періодично вологі ліси з домінуванням дуба звичайного або видів в'яза.** В Україні більшість таких лісів є дуже фрагментованими чи похідними й утворюються на місці вирубаних дубових лісів.

Зміна гідрологічного режиму та господарська діяльність у минулому призвела до зміни видового складу: у деревному ярусі зникає вільха, майже немає дуба, проте з'явилися *Salix alba*. Це зближує цей біотоп з іншим типом – Д 1.6.1. **Заплавні вербові і тополеві ліси.** Деревний ярус біотопу досить розріджений (до 0,7) і складається переважно з *Alnus glutinosa*, *Salix alba*, з чагарників *Sambucus nigra*. У трав'яному ярусі окрім нітрофілів (*Urtica dioica*) зростає низка цікавих мезофітів: *Inula helenium*, *Angelica sylvestris*, *Chaerophyllum odoratum*, види роду *Carex*. Незважаючи на близькість до мережі доріжок, рівень синантропізації цієї ділянки незначний.

Цікаве рослинне угруповання сформувалося вздовж струмка під пішохідним мостом, що з'єднує другий і третій ставок. Тут представлені елементи двох біотопів В 4.1.2. **Прибережні злаково-різнотравні зарості вздовж водотоків і В 4.1.5. Угруповання нітрофільної однорічної рослинності на мулистих берегах річок та обмілинах.** Трав'яний покрив розріджений (до 90% проективного покриття), сформований невисокими повітряно-водними видами (*Eleocharis palustris*, *Alisma plantago-aquatica*, *Scirpus sylvestris*, *Juncus articulatus*) та злаками *Agrostis stolonifera*, *Alopecurus aequalis*, *Catabrosa aquatica*, *Leersia oryzoides*. У формуванні рослинного покриву

незначну роль (проективне покриття до 5%) відіграє *Bidens frondosa* та поодинокі екземпляри *Phalacrolooma annua*.

Головні висновки. На території парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва Феофанія представлені біотопи, типові для лісової і лісостепової зони різних типів: водні, трав'яні, лісові і синантропні, кожен з яких є об'єктом запропонованого екскурсійного маршруту. Для всіх ділянок наведено еколого-ценотичні особливості, індикаторні види та антропогенний вплив.



Рис. 6. Біотопи В 1.3. Ділянки постійних непроточних водойм без вищої водної рослинності, В 3.3. Ділянки водотоків без вищої водної рослинності ставків парку Феофанія



Рис. 7. Елемент біотопу Д 1.6.2 Вологі та періодично вологі ліси з домінуванням дуба звичайного або видів в'яза

Проведена робота є прикладом інтерпретації паркової і напівприродної лісової рослинності за оселищною концепцією.

Перспективи використання результатів дослідження. Проведене дослідження показало, що парки

в межах міста і в умовах антропогенної трансформації є резерватами природних видів і угруповань. До того ж вони відіграють суттєву роль, окрім утилітарної рекреаційної, сприяють проведенню екологічної просвітницької роботи.

Література

1. Національний каталог біотопів України. За ред. А.А. Куземко, Я.П. Дідуха, В.А. Онищенко, Я. Шеффера. К. : ФОП Клименко Ю.Я., 2018. 442 с.
2. Синантропізація рослинного покриву України: III Всеукраїнської наукової конференції, 26-27 вересня 2019 р., м. Київ : Збірник наукових статей. Київ : Наш формат, 2019. 184 с.

АКУМУЛЯЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДЕЯКИХ ВИДАХ РОСЛИН НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА ЛЬВОВА

Поліщук О.І., Лесів М.С., Гілецька І.Б., Панченко В.О., Антоняк Г.Л.
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Сакаганського, 1, 79005, м. Львів
alex1994pol@gmail.com, halyna_antonyak@yahoo.com

У статті розкрито особливості акумуляції важких металів (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) у тканинах шести видів рослин, зібраних на території та у водоймах міста Львова (Західна Україна). В районах, що підлягають різному рівню промислових і транспортних навантажень, відбирали проби бріофітів *Brachythecium rutabulum* та *Rhynchosstegium murale*, судинних наземних рослин *Taraxacum officinale* та *Equisetum arvense*, а також напівзанурених гідрофітів *Typha latifolia* та *Typha angustifolia*. Концентрацію важких металів у рослинних зразках аналізували методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії за допомогою атомно-абсорбційного спектрометра Selmi C-115PK (Україна). Опрацювання отриманих результатів здійснювали із застосуванням методів варіаційної статистики. У процесі досліджень встановлено статистично вірогідні різниці між вмістом металів у гаметофітах мохів (Mn, Pb і Zn – у *Brachythecium rutabulum*; Mn і Pb – у *Rhynchosstegium murale*), зібраних у парковій частині міста і в районах з індустріальним і транспортним навантаженням. На прикладі території, прилеглої до Європейського маршруту E40 та автозаправної станції «ОККО» у передмісті Львова, встановлено залежність рівня акумуляції важких металів у рослинах *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense* від відстані до джерел забруднення ґрунту. Досліджуючи водні об'єкти м. Львова, з'ясовано високий рівень акумуляції металів у напівзанурених рослинах-гідрофітах *Typha latifolia* і *Typha angustifolia*, особливо за умов розташування водойм на території, прилеглій до автошляхів з інтенсивним транспортним рухом. Результати досліджень свідчать про видові різниці в акумуляції металів і високий рівень важких металів у рослинах за умов росту в районах, які зазнають техногенного впливу, включно з розташованими там водоймами. Водночас отримані в роботі результати вказують на біоіндикаційні властивості досліджуваних видів рослин і можливість їхнього застосування під час здійснення екологічного моніторингу стану навколишнього середовища у промислових містах. *Ключові слова:* важкі метали, екологічний моніторинг, біоіндикація, урбоекосистеми, місто Львів.

Accumulation of heavy metals in several plant species in the city of Lviv. Polishchuk A., Lesiv M., Giletska I., Panchenko V., Antonyak H.

The article analyzes the features of the accumulation of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn) in the tissues of six plant species collected on the territory and in the water bodies of the city of Lviv (Western Ukraine). Bryophytes *Brachythecium rutabulum* and *Rhynchosstegium murale*, vascular terrestrial plants *Taraxacum officinale* and *Equisetum arvense*, as well as semi-submerged hydrophytes *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* were sampled in areas subject to different levels of industrial and transport loads. Concentrations of heavy metals in plant samples were analyzed by atomic absorption spectrophotometry using an atomic absorption spectrometer Selmi C-115PK (Ukraine). Processing of the results was carried out using standard statistical methods. During the research, statistically significant differences were found between the content of metals in the gametophytes of mosses (Mn, Pb, and Zn in *Brachythecium rutabulum*; Mn and Pb in *Rhynchosstegium murale*) collected in the park area of the city and in areas with industrial and transport loads. On the example of the territory adjacent to the European route E40 and OKKO gas stations in the suburbs of Lviv, the dependence of the level of metal accumulation in plants *Taraxacum officinale* and *Equisetum arvense* on the distance to soil pollution sources was demonstrated. When studying water bodies in the city of Lviv, a high level of metal accumulation was found in semi-submerged hydrophytes *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*, especially in water bodies located in the territory adjacent to roads with heavy traffic. The results of the study indicate species differences in the accumulation of metals and high levels of heavy metal accumulation in plants in areas subject to anthropogenic impact, including in water bodies located there. At the same time, the results point to the bioindication properties of the studied plant species and the possibility of their use in environmental monitoring in industrial cities. *Key words:* heavy metals, environmental monitoring, bioindication, urban ecosystems, Lviv city.

Постановка проблеми. Функціонування урбо-екосистем супроводжується складною взаємодією між природним та антропогенним компонентами й істотним впливом техногенних чинників на навколишнє середовище. Цей вплив значною мірою пов'язаний із наявністю в міських системах різноманітних джерел забруднення (промислові і паливно-енергетичні підприємства, транспорт), які спричиняють надходження поллютантів в усі компартменти довкілля: атмосферне повітря, ґрунт, водні об'єкти, розташовані на території промислових міст. Одна з важливих груп забруднювачів – важкі метали, які надходять у навколишнє середовище зі стаціонар-

них і рухомих джерел, а крім того, можуть переноситись з атмосферними потоками на віддалені території [1–3]. Процеси індустріального розвитку та урбанізації, пов'язані з інтенсивним добуванням, переробкою та використанням металів, призвели до істотного збільшення металів у компонентах урбо-екосистем. Це супроводжується погіршенням стану атмосферного повітря і ґрунту, якості води та зростанням захворюваності населення [4–6].

Актуальність дослідження. Для оцінки екологічного стану навколишнього середовища та його забруднення металами актуальним є екологічний моніторинг динаміки важких металів у компонентах міських

екосистем [7–9]. Важливою складовою частиною екологічного моніторингу довкілля є біоіндикація із застосуванням рослин та інших організмів. Тому важливою науковою проблемою є дослідження здатності рослин, поширених в урбоекосистемах, до акумуляції важких металів.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Виконане наукове дослідження є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка «Моніторинг та різноміривне біоіндикаційна оцінка екологічного стану урбанізованих і техногенно трансформованих територій та акваторій Західної України» (№ державної реєстрації 0114U004241). Тема роботи відповідає актуальним напрямкам наукової діяльності в Україні, які пов'язані з вирішенням актуальних проблем екології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно із загальноприйнятим визначенням, групу важких металів становлять металічні елементи з атомною масою понад 40 о.а.м. або питомою густиною понад 5 г/см³, які нині становлять велику групу техногенних поллютантів довкілля [1; 5]. Відомо, що деякі з важких металів (зокрема, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn) є есенціальними мікроелементами, потрібними для росту і розвитку рослин; інші, такі як Hg, Pb, Cd, не беруть участі в метаболічних процесах, через що їх зраховують до неесенціальних, або токсичних, металів [3]. За певних концентрацій метали обох груп виявляють токсичні ефекти щодо рослин. Водночас окремі види рослин стійкі до впливу важких металів і можуть накопичувати їх у значній кількості. Рослини-акумулятори металів, формуючи основу ланцюгів живлення, значною мірою визначають рівень поширення металів у трофічних мережах [10].

Забруднення довкілля металами має екологічні та медичні наслідки. В епідеміологічних дослідженнях доведено прямий зв'язок між забрудненням повітря і збільшенням захворюваності населення промислових міст [6; 11]. Відомо, що тривале надходження атмосферних забруднювачів в організм людини зумовлює зниження імунітету, зростання частоти алергічних, пульмонологічних, серцево-судинних та онкологічних захворювань [4; 12].

У низці досліджень встановлено велике значення застосування рослин під час біоіндикації стану навколишнього середовища та екологічної оцінки змін у природних екосистемах, зумовлених впливом техногенних чинників. До біоіндикаторів забруднення довкілля важкими металами належать мохоподібні та різні види судинних рослин [9; 13–16]. Зміни у видовому складі рослин внаслідок впливу техногенних чинників часто використовують для аналізу стану абіотичних компонентів урбоекосистем [17]. Забруднення довкілля у промислових містах зумовлює зміни у складі біоценозів, зникнення видів біоти, чутливих до впливу поллютантів, і поширення інвазивних видів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Здатність рослин до акумуляції важких металів вивчена недостатньою мірою. Зокрема, це стосується мохоподібних і судинних рослин, які входять до складу екосистем на території міста Львова, яке є одним із найбільших промислових центрів і важливим транспортним вузлом Західної України. У місті функціонує понад 160 промислових підприємств, низка з яких спричиняє забруднення довкілля важкими металами. Поряд із стаціонарними джерелами викидів на території міста важливим джерелом забруднення довкілля є автомобільний та інші види транспорту. Це призводить до накопичення металів у компонентах біоти.

Мета дослідження. Метою роботи було дослідити концентрацію важких металів (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) у тканинах шести видів рослин (*Brachythecium rutabulum*, *Rhynchosygium murale*, *Taraxacum officinale*, *Equisetum arvense*, *Typha latifolia*, *Typha angustifolia*), зібраних на території та у прибережних ділянках водойм міста Львова.

Новизна. У дослідженнях уперше з'ясовано рівень акумуляції важких металів у рослинах, зібраних у районах із різним рівнем техногенного впливу на території урбоекосистеми Львова. Дослідження охоплює бріофіти *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. і *Rhynchosygium murale* (Hedw.) Schimp., судинні наземні рослини: кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H.Wigg) і хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.) та напівзанурені гідрофіти: рогіз широколистий (*Typha latifolia* L.) і рогіз вузьколистий (*Typha angustifolia* L.). Встановлено видові різниці в акумуляції металів у тканинах рослин і більший рівень важких металів у рослинах за умов росту в районах, які зазнають техногенного впливу, включно з розташованими там водоймами.

Методологічне та загальнонаукове значення. На основі експериментальних досліджень з'ясовано відмінності у здатності рослин, які належать до різних таксономічних та екологічних груп, накопичувати важкі метали. Встановлено статистично вірогідні різниці між концентрацією окремих металів у рослинах, зібраних у районах із різним рівнем індустріального і транспортного навантаження. Отримані результати можуть бути використані для екологічної оцінки стану компонентів довкілля та рівня його забруднення важкими металами в міських екосистемах.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводили впродовж 2018–2019 рр. Гаметофіти мохів (*Brachythecium rutabulum*, *Rhynchosygium murale*) для досліджень відбирали на трьох ділянках. Ділянку № 1 обрали на території Стрийського парку, який є об'єктом Природно-заповідного фонду України, пам'яткою садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення. Територія парку (площею 52,14 га) фактично не зазнає впливу

техногенних чинників. Ділянки № 2 і № 3 обрали в південній частині м. Львова, яка належить до промислових районів, вздовж вул. Стрийської. Вулиця Стрийська (довжиною близько 7,5 км) – одна з головних автомагістралей м. Львова, для якої характерне значне транспортне навантаження. Зразки рослин *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense* відбирали на приміській території, прилеглий до автозаправної станції (АЗС) «ОККО» в с. Соکیلники, розміщеної поруч з Європейським маршрутом E40. На території, суміжній з АЗС та автошляхом E40, проби відбирали на різній віддалі від зазначеного об'єкта (5, 10, 50 і 100 м). Рослини *Typha latifolia* і *Typha angustifolia* відбирали у прибережних ділянках водойм, розміщених на території м. Львова (став «Зелене око» в районі вулиць Кубанська-Тарнавського, стави на вулиці Хортицькій і поблизу перехрестя вулиць Наукова-Стрийська з високою інтенсивністю транспортного навантаження). Відбір рослинного матеріалу і підготовку проб для досліджень здійснювали за допомогою стандартних методів. Концентрацію важких металів (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) у досліджуваних зразках визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Рослинний матеріал попередньо мінералізували із застосуванням HNO_3 і H_2O_2 [18]. Вимірювання проводили за допомогою атомно-абсорбційного спектрометра C-115PK Selmi (Україна). Концентрацію металів виражали в міліграмах у перерахунку на 1 кг сухої маси зразків. Результати опрацьовували методами варіаційної статистики [19].

Результати досліджень свідчать, що рівень накопичення окремих металів у гаметофітах двох аналізованих видів бріофітів неоднаковий (рис. 1).

За рівнем накопичення в гаметофіті моху *Rhynchostegium murale*, зібраного на території м. Львова, аналізовані метали можна розташувати в порядку зменшення таким чином: $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb}$; натомість у гаметофіті *Brachythecium rutabulum* порядок розташування інший, а саме: $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni}$. Загалом, мох *Brachythecium rutabulum* характеризується більшим рівнем акумуляції металів, особливо Mn, Zn і Pb ($p < 0,01 - 0,001$), порівняно з епілітним мохом *Rhynchostegium murale* (рис. 1). Для з'ясування зв'язку між техногенним впливом на територію та рівнем акумуляції металів у гаметофітах мохів зразки рослинного матеріалу, зібрані на ділянках, які зазнають індустріального і транспортного навантаження, об'єднували, порівнюючи отримані дані з результатами досліджень бріофітів, зібраних у Стрийському парку. У процесі досліджень встановлено, що в гаметофітах *R. murale*

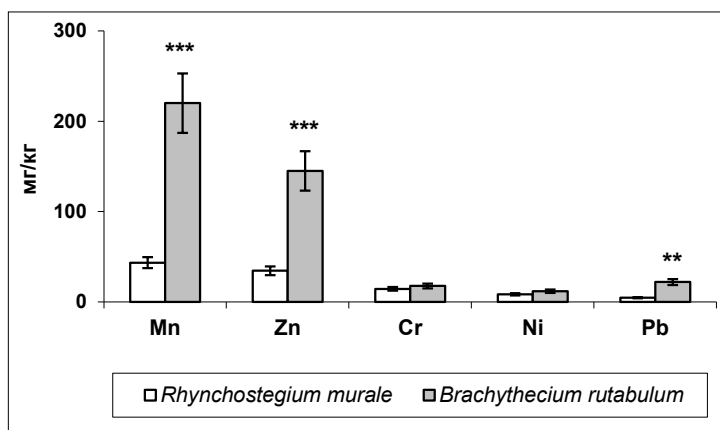


Рис. 1. Концентрація металів у гаметофітах мохів *Brachythecium rutabulum* і *Rhynchostegium murale* на території м. Львова

Примітка: на цьому і наступних рисунках **, *** – вірогідність різниці між показниками: ** – $p < 0,05$; *** – $p < 0,001$

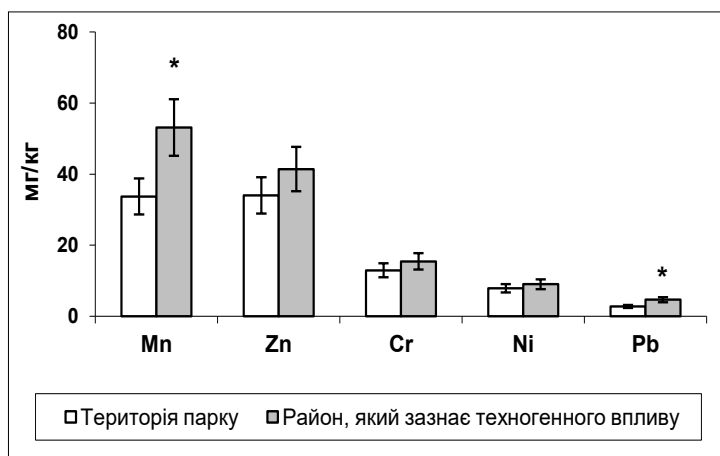


Рис. 2. Концентрація металів у гаметофіті моху *Rhynchostegium murale*, зібраного в районах м. Львова з різним рівнем антропогенного навантаження

концентрація Mn і Pb в зразках, зібраних на території, що зазнає техногенного впливу, більша, ніж у зразках зі Стрийського парку, відповідно, в 1,6 ($p < 0,05$) і 1,7 разів ($p < 0,05$), а вміст інших металів істотно не відрізняється між зразками, зібраними в досліджуваних районах м. Львова (рис. 2). У зразках моху *B. rutabulum*, зібраного на ділянках, які зазнають техногенного впливу, зміни концентрації металів виразніші, а саме: вміст Mn, Zn і Pb більший, відповідно, в 1,7 ($p < 0,05$), 3,5 ($p < 0,01$) і 2,2 разів ($p < 0,01$), ніж у зразках, зібраних на території парку.

Аналогічно під час досліджень судинних рослин встановлено видові відмінності у процесах акумуляції важких металів. Це стосується і наземних рослин *Taraxacum officinale* та *Equisetum arvense*, і напівзанурених гідрофітів *Typha latifolia* і *Typha angustifolia*, які ростуть у прибережних ділянках водойм. Порівнюючи рослини *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense*, вірогідні різниці виявлено в концентрації Cu, Fe, Mn, Ni і Zn (рис. 3).

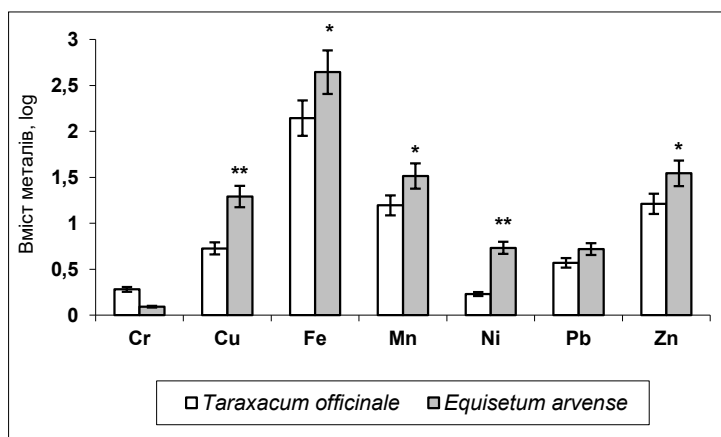


Рис. 3. Концентрація важких металів у рослинах *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense* (для зручності результати виражені у формі логарифмів значень, обчислених у міліграмах на 1 кг сухої маси зразків)

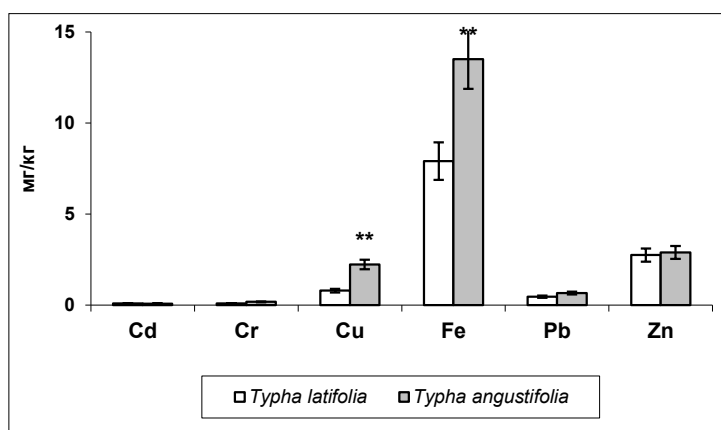


Рис. 4. Концентрація важких металів у рослинах *Typha latifolia* і *Typha angustifolia*, зібраних у водоймах на території м. Львова

Водночас встановлено, що в зразках *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense*, відібраних на віддалі 5 і 10 м від АЗС «ОККО» і автошляху Е40, концентрація важких металів значно більша, ніж на віддалі 50–100 м від зазначених об'єктів. Зокрема, вміст більшості важких металів у рослинах зменшується в 2–5 разів ($p < 0,05$ – $0,01$) з віддаленням від зазначених об'єктів, залежно від виду рослин і від досліджуваного металу.

Під час дослідження концентрації металів у рослинах *Typha latifolia* і *Typha angustifolia* встановлено, що другий із цих видів інтенсивніше накопичує Cu і Fe ($p < 0,01$), ніж перший (рис. 4). Згідно з отриманими результатами, відмінності в концентрації цих металів найвиразніше виявляються за умов росту рослин у ставу, розташованому поблизу перехрестя вулиць Наукова-Стрийська, які характеризуються високою інтенсивністю транспортного руху. Це свідчить про значний вплив транспортного навантаження на вміст важких металів у ґрунтах і водоймах, розташованих на міській території.

Загалом, результати досліджень підтверджують сучасні положення щодо важливого значення рослин у процесах біоіндикації рівня забруднення важкими металами абіотичних компонентів урбо-екосистем за умов антропогенного навантаження [9; 13; 20]. Отримані експериментальні дані доводять, що біоіндикаційне значення мають і бріофіти, і судинні рослини, зокрема наземні рослини і гігрофіти, здатні до інтенсивного накопичення металів. Водночас встановлено відмінності у процесах акумуляції важких металів у рослинах різних таксономічних та екологічних груп на території м. Львова.

Головні висновки. У процесі досліджень концентрації важких металів у тканинах різних видів рослин, зібраних на території м. Львова, встановлено статистично вірогідні різниці між вмістом важких металів у гаметофітах мохів *Brachythecium rutabulum* і *Rhynchostegium murale*, зібраних у парковій частині міста і в районах з індустріальним і транспортним навантаженням; на прикладі території, прилеглої до Європейського маршруту Е40 та автозаправної станції «ОККО» у передмісті Львова, встановлено залежність рівня акумуляції металів у рослинах *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense* від відстані до джерел забруднення ґрунту. Досліджуючи водні об'єкти м. Львова, з'ясовано високий рівень акумуляції металів у рослинах-гігрофітах *Typha latifolia* і *Typha angustifolia* за умов розташування водойм на території,

прилеглий до автошляхів з інтенсивним транспортним рухом. Отримані дані свідчать про біоіндикаційні властивості досліджуваних видів рослин і можливість їхнього застосування під час здійснення екологічного моніторингу стану навколишнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані в роботі результати щодо здатності бріофітів і судинних рослин до акумуляції важких металів мають перспективи використання в подальших екологічних дослідженнях із метою наукової оцінки екологічного стану атмосферного повітря, ґрунту і поверхневих водних об'єктів на території промислових міст. Здатність рослин *Taraxacum officinale*, *Equisetum arvense* і представників роду *Typha* до накопичення металів можна використовувати під час процесів фітореMediaції ґрунтів і водного середовища, забруднених важкими металами внаслідок техногенної діяльності.

Література

1. Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.* 2003. Vol. 68. N 1. P. 167–182.
2. Антоняк Г.Л., Багдай Т.В., Першин О.І. та ін. Метали у водних екосистемах та їх вплив на гідробіонти. *Біологія тварин.* 2015. Т. 17. № 2. С. 9–24.
3. Rahman Z., Singh V.P. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environ. Monit. Assess.* 2019. Vol. 191. N 7. P. 419.
4. Черниченко І.О., Литвиченко О.М., Соверткова Л.С., Цимбалюк С.М. Оцінка канцерогенного ризику для населення промислових міст України. *Environment & Health.* 2017. № 2. С. 17–22.
5. Pan L., Wang Y., Ma J. et al. A review of heavy metal pollution levels and health risk assessment of urban soils in Chinese cities. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018. Vol. 25. N 2. P. 1055–1069.
6. Raffetti E., Treccani M., Donato F. Cement plant emissions and health effects in the general population: a systematic review. *Chemosphere.* 2019. Vol. 218. P. 211–222.
7. Снітинський В.В., Антоняк Г.Л., Багдай Т.В. та ін. Сучасний стан та екологічні проблеми водних ресурсів України. *Журнал агробіології та екології.* 2014. Т. 4. № 1. С. 9–16.
8. Багдай Т.В., Панас Н.С., Антоняк Г.Л., Бубис О.Є. Біомоніторинг екологічного стану природних водойм. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького.* 2016. Т. 18. № 1 (65). Ч. 3. С. 190–194.
9. Macedo-Miranda G., Avila-Pérez P., Gil-Vargas P. et al. Accumulation of heavy metals in mosses: a biomonitoring study. *Springerplus.* 2016. Vol. 5. N 1. P. 715.
10. Kramer U. Metal hyperaccumulation in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2010. Vol. 61. P. 517–534.
11. Zhang K., Batterman S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Sci. Total Environ.* 2013. Vol. 450–451. P. 307–316.
12. Рибалова О.В., Дядченко А.В. Визначення рівня небезпеки забруднення атмосферного повітря з урахуванням стану надзвичайних ситуацій в Україні. *Екологія и промисленность.* 2016. № 2. С. 91–96.
13. Бойко М.Ф. Характеристика мохоподібних як індикаторів стану навколишнього середовища. *Чорноморський бот. журн.* 2010. Т. 6. № 1. С. 35–40.
14. Антоняк Г.Л., Мамчур З.І., Першин О.І. та ін. Біологічна доступність металів та їх акумуляція в тканинах рослин. *Вісник проблем біології і медицини.* 2015. Вип. 3. № 2. С. 11–16.
15. Chaplygin V., Minkina T., Mandzhieva S. et al. The effect of technogenic emissions on the heavy metals accumulation by herbaceous plants. *Environ. Monit. Assess.* 2018. Vol. 190. N 3. P. 124.
16. Turkyilmaz A., Sevik H., Isinkaralar K., Cetin M. Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2019. Vol. 26. N 5. P. 5122–5130.
17. Мамчур З. Урбанофільні епіфітні мохи у м. Львові. *Вісник Львівського університету. Серія : Біологічна.* 2010. Вип. 54. С. 115–122.
18. Ogunkunle C.O., Ziyath A.M., Rufai S.S., Fatoba P.O. Surrogate approach to determine heavy metal loads in a moss species – *Barbula lambaranensis*. *Journal of King Saud University – Science.* 2016. Vol. 28. N 2. P. 193–197.
19. Welham S.J., Gezan S.A., Clark S.J., Mead A. *Statistical Methods in Biology. Design and Analysis of Experiments and Regression.* Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 568 p.
20. Lu G., Wang B., Zhang C. et al. Heavy metals contamination and accumulation in submerged macrophytes in an urban river in China. *Int. J. Phytoremediation.* 2018. Vol. 20. N 8. P. 839–846.

ВПЛИВ ЕДАФО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВ БІОТОПІВ НА ВІТАЛІТЕТ І ПОТЕНЦІАЛ ВІДТВОРЕННЯ ЦЕНОПОПУЛЯЦІЙ ВИДІВ РОДУ *POLYGONATUM* MILL

Різничук Н.І., Камінська Х.І., Сикута М.Р.
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
вул. Галицька, 201, 76008, м. Івано-Франківськ
nadja1986_24@ukr.net, sicutamaria@gmail.com, cristinkaаааааааа@gmail.com

Здійснено оцінку характеру залежностей між структурно-функціональними параметрами ценопопуляцій видів роду *Polygonatum* Mill. та ключовими едафо-кліматичними факторами для ценопопуляцій видів роду *Polygonatum* Mill. у різних біотопічних умовах Передкарпаття. Досліджені біотопи Передкарпаття відрізняються низкою едафо-кліматичних показників. Вміст гумусу становить 1,94–2,98 %, сягаючи максимуму в біотопах Покутської височини, мінімуму – в біотопах Калуської (Лімницько-Болохівської) улоговини. Усереднені показники реакції ґрунтового розчину відповідають дуже сильнокислому рівню у межах Сторожинецького пасма ($\text{pH}_{\text{сольове}} - 4,33$ од.); сильнокислому рівню – у межах Калуської і Станіславської улоговин та Покутської височини ($\text{pH}_{\text{сольове}} - 4,68, 4,82$ та $4,76$ од. відповідно); слабокислому рівню – у межах Верхньодністровської улоговини і Войнилівської височини ($\text{pH}_{\text{сольове}} - 5,34$) та Чернівецької височини ($\text{pH}_{\text{сольове}} - 5,05$). Ґрунти у межах досліджених біотопів Передкарпаття вирізняються низкою і середньою забезпеченістю N, P та підвищеним вмістом K. Середньозважений показник рухомого Фосфору змінюється від 39,49 мг/кг у біотопах Калуської улоговини до 81,18 мг/кг у біотопах Чернівецької височини; гідролізованого Нітрогену – від 68,07 у біотопах Калуської улоговини до 83,93 – у межах Сторожинецького пасма. Найвищі середньозважені значення вмісту рухомого Калію констатовано у межах Покутської височини (150,70 мг/кг), найнижчі – у межах Войнилівської височини (84,1 мг/кг). Опосередковану оцінку залежності віталітету і ступеня реалізації потенціалу відтворення ценопопуляцій видів роду *Polygonatum* Mill. від едафо-кліматичних умов біотопів Передкарпаття здійснювали шляхом з'ясування ступеня і спрямованості кореляційних залежностей. Критеріями екологічного стану ценопопуляцій розглядали попередньо розраховані індекси віталітету (IVC) й відновлення ($I_{\text{відн}}$). Відповідно, до обчислених значень коефіцієнта кореляції Пірсона індекс віталітету ценопопуляцій усіх досліджених видів роду *Polygonatum* Mill. корелює з низкою едафо-кліматичних параметрів. Достовірні кореляційні залежності встановлено також між індексом відновлення ценопопуляцій *Polygonatum verticillatum* (L.) All. та окремими едафо-кліматичними параметрами їхніх біотопів: позитивні – між $I_{\text{відн}}$ та сумою активних температур; негативні – між $I_{\text{відн}}$ і вологоємністю ґрунту. Середній позитивний зв'язок також констатовано між $I_{\text{відн}}$ та рівнем освітлення. У *Polygonatum latifolium* Desf. статистично достовірних кореляційних зв'язків між онтогенетичним коефіцієнтом відновлення і едафо-кліматичними параметрами не виявлено; домінуючої факторної ознаки не встановлено. **Ключові слова:** *Polygonatum* Mill., ценопопуляція, біотоп, Передкарпаття, віталітет, потенціал відтворення.

Influence of edaph-climatic conditions of biotopes on vitality and potential of reproduction of co-populations of species of the genus *Polygonatum* mill. Riznychuk N., Kaminska Kh., Sykuta M.

The nature of the dependencies between the structural and functional parameters of the populations of species of the genus *Polygonatum* Mill has been evaluated. and key ada-climatic factors for the co-populations of *Polygonatum* Mill. species. in different biotopic conditions of the Precarpathian region. The studied biotopes of the Precarpathian region are characterized by a number of edaphic and climatic indicators. The humus content is 1.94–2.98 %, reaching the maximum in the biotopes of the Pokutsk hills, and the minimum – the Kaluska (Limnitsko - Bolokhov) basin. The average response rates of soil solution correspond very strongly to the acid level within the Storozhinets strand (pH (saline) – 4.33 units); strongly acidic level – within the Kalusha and Stanislav basins and Pokut height (pH (salt) – 4.68; 4.82 and 4.76 units, respectively); slightly acidic level – within the Upper Dniester Basin and Voynylivskyi hills (pH (salt) – 5.34) and Chernivtsi hills (pH (salt) – 5.05). Indirect assessment of the dependence of the vitality and the degree of realization of the reproduction potential of co-populations of species of the genus *Polygonatum* Mill. from the edaph-climatic conditions of pre-Carpathian biotopes was carried out by finding out the degree and direction of correlation dependencies. The ecological status of the cenopopulations considered the previously calculated indexes of vitality (IVC) and recovery (Eidn.). According to the calculated values of Pearson correlation coefficient, the vitality index of the population populations of all studied species of the species *Polygonatum* Mill. correlates with a number of edaphic climatic parameters. Significant correlation dependencies were also established between the *Polygonatum verticillatum* (L.) All. Pricing Population Index. and individual edafo-climatic parameters of their biotopes: positive – between Eidn and the sum of active temperatures; negative – between Eidn and soil moisture. An average positive relationship was also found between Eidn and the light level. In *Polygonatum latifolium* Desf. no statistically significant correlation was found between ontogenetic recovery coefficient and ada-climatic parameters; no dominant factor was established. **Key words:** *Polygonatum* Mill., vitality, population, biotope, Precarpathian region, reproduction potential.

Постановка проблеми. Будь-яка популяція перебуває у нерозривній єдності з біотопом, в якому вона формується і розвивається [4; 5]. Сукупність едафо-кліматичних характеристик місцезростань визначає ступінь реалізації генетично зумовлених

біологічних потенцій, перспективи виживання і відтворення популяцій [6].

Актуальність дослідження. У Передкарпатті значний науковий інтерес становлять представники аборигенної бореально-неморальної флори, чільне

місце серед яких належить видам роду *Polygonatum Mill.* [2]. Структурно-функціональні параметри популяції часто перебувають в апроксимаційній залежності з едафо-кліматичними характеристиками біотопів. І хоча різноманіття абіотичних і біотичних факторів та поліколінеарні зв'язки між ними не дає змоги точно визначити ступінь впливу конкретного чинника на зміну тієї чи іншої популяційної ознаки, можливим залишається встановлення статистичних (кореляційних) залежностей [7]. Це зумовлює своєчасність та актуальність дослідження.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконана на кафедрі біології та екології ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» в межах наукових тем: №0112U000507 «Екологічний моніторинг природних і антропогенно змінених екосистем Прикарпаття», № 0114U005004 «Порушення та адаптація різноманітних біосистем в умовах антропогенної трансформації довкілля» та № 0112U000509 «Популяційно-екологічні дослідження фіто- та зооценозів антропогенно змінених і фонових екосистем Карпат і прилеглих територій», № 0112U000508 «Поширення, ресурсний потенціал та охорона лікарських рослин на території Карпатського регіону».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Літературні дані щодо належності видів роду *Polygonatum Mill.* до ключових абіотичних факторів довкілля, біотичного оточення та онтогенетичних особливостей часто мають суперечливий характер і потребують уточнення [1; 2; 8–13].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета роботи – дослідити структурно-функціональні особливості природних ценопопуляцій видів роду *Polygonatum Mill.* у біотопах Передкарпаття. Для досягнення поставленої мети

виконували такі завдання: установити кількісні значення ключових едафо-кліматичних показників у біотопах за участі видів роду *Polygonatum Mill.* у Передкарпатті; оцінити характер залежностей між структурно-функціональними параметрами ценопопуляцій видів роду *Polygonatum Mill.* та ключовими едафо-кліматичними факторами.

Новизна. Уперше отримали розвиток ідеї щодо перспективності застосування структурно-функціональних характеристик природних ценопопуляцій для оцінки їхнього екологічного статусу та встановлення вимогливості видів роду *Polygonatum Mill.* до ключових едафо-кліматичних факторів середовища.

Методологічне або загальнонаукове значення. Територія дослідження за ландшафтно-географічним районуванням приурочена до Передкарпаття – частини Західної України, в межах Львівської, Івано-Франківської і Чернівецької областей. Використовували комплекс польових, лабораторних і камеральних методів. Едафо-кліматичні показники установлювали прямими фізико-хімічними методами кількісного аналізу. Інтерпретацію отриманих результатів проводили методами математичної статистики: варіаційно-статистичним, кореляційним, кластерним і регресійним аналізами.

Виклад основного матеріалу. Установлено наявність тісного позитивного кореляційного зв'язку між індексом віталітету ценопопуляцій *Polygonatum multiflorum* (L.) All. та вологоємністю ґрунтів ($r = 0,78$; $p < 0,05$) та середнього позитивного – з рівнем освітлення ($r = 0,50$; $p < 0,05$) (табл. 1). Негативна достовірна кореляційна залежність констатована між ІВС та сумою активних температур.

Для ценопопуляцій *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. констатовано прямий зв'язок між віталітетом і вмістом у ґрунтах рухомого Фосфору ($r = 0,61$; $p < 0,05$) та Калію ($r = 0,79$; $p < 0,05$); для *Polygonatum latifolium* Desf. – зворотній зв'язок між віталітетом і вмістом

Таблиця 1

Коефіцієнт кореляції (r) між індексом віталітету ценопопуляцій видів роду *Polygonatum Mill.* та едафо-кліматичними параметрами

Параметр	Коефіцієнт кореляції Пірсона (r)			
	<i>Polygonatum multiflorum</i>	<i>Polygonatum odoratum</i>	<i>Polygonatum latifolium</i>	<i>Polygonatum verticillatum</i>
H, %	0,27	0,27	-0,60	0,35
pH	0,20	0,24	-0,44	0,23
Вологоємність	0,78	0,27	0,08	0,25
Сума акт. t°	-0,57	-0,45	0,06	-0,34
P	0,02	0,61	-0,28	0,42
N	0,41	0,33	-0,55	0,17
K	0,38	0,79	0,27	0,00
Рівень освітлення	0,50	-0,31	-0,09	-0,24
Ступінь розпушення	0,22	-0,05	0,13	-0,29

– достовірні коефіцієнти кореляції ($p < 0,05$)

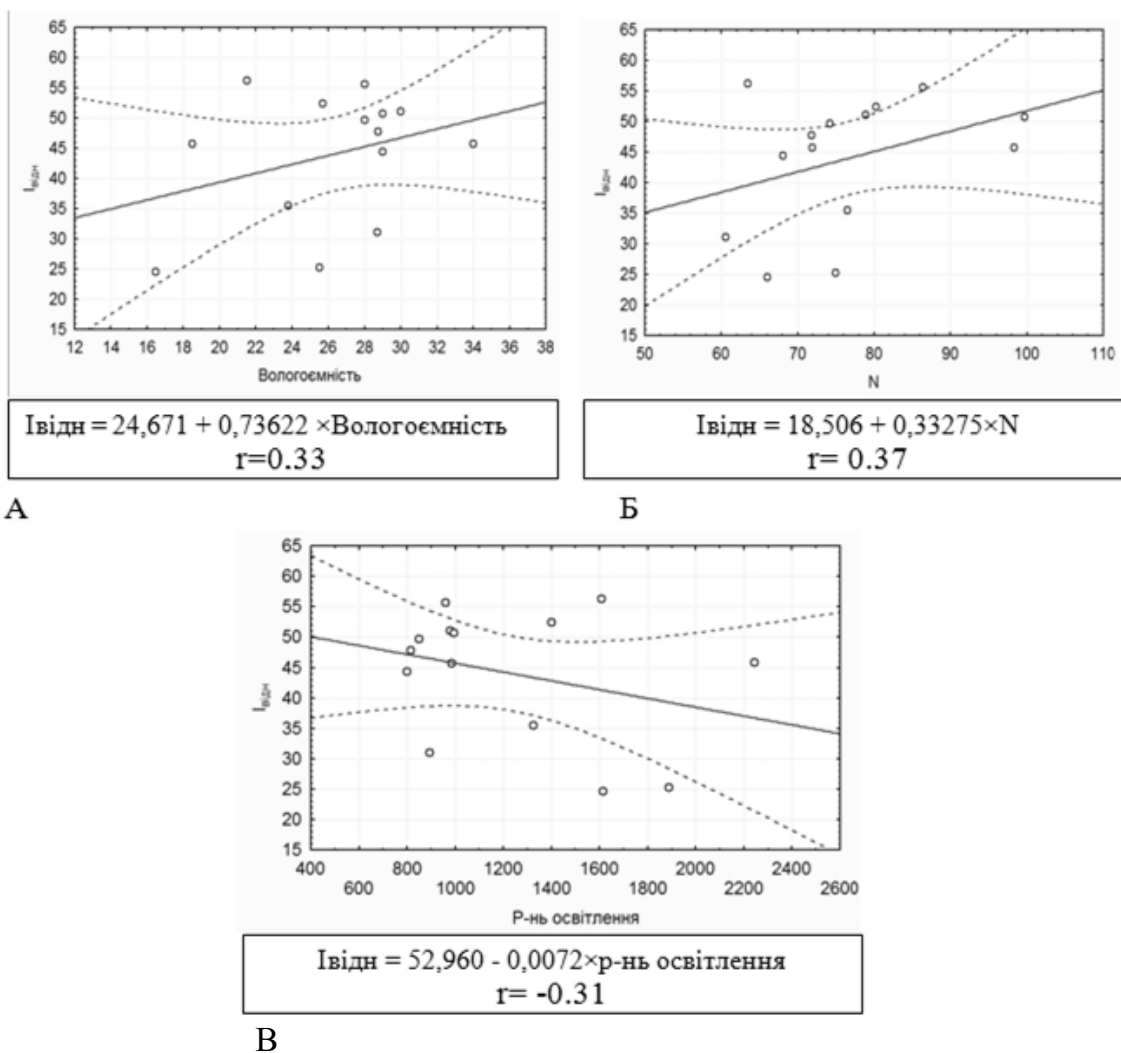


Рис. 1. Кореляційна залежність між індексом відновлення ценопопуляції *Polygonatum multiflorum* (L.) All. від окремих едафо-кліматичних параметрів: А – вологоємність ґрунту; Б – вміст гідролізованого Нітрогену; В – рівень освітлення

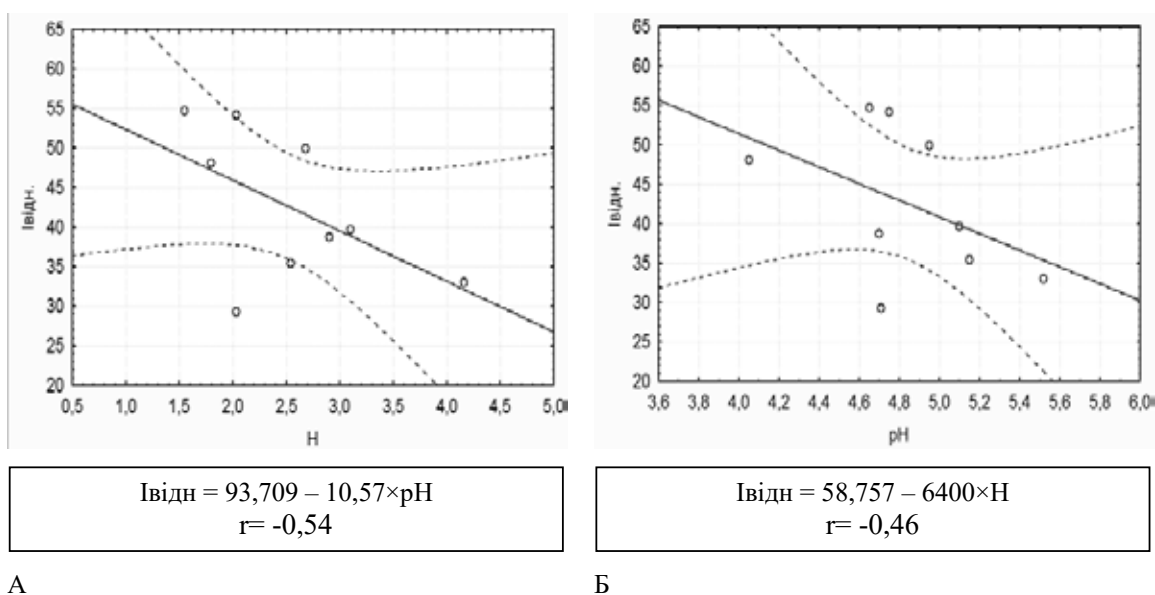


Рис. 2. Кореляційна залежність між індексом відновлення ценопопуляції *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. від окремих едафо-кліматичних параметрів: А – реакція ґрунтового розчину; Б – вміст гумусу

гумусу ($r = -0,60$; $p < 0,05$) та гідролізованого Нітрогену ($r = -0,60$; $p < 0,05$). Не виявлено статистично достовірних кореляційних залежностей між віталітетом ценопопуляцій *Polygonatum verticillatum* (L.) All. і жодним із досліджених едафо-кліматичних параметрів.

На індекс відновлення ценопопуляцій *Polygonatum multiflorum* (L.) All. найбільший вплив серед досліджених едафо-кліматичних параметрів мають вологоємність ґрунту, вміст у ґрунтах гідролізованого Нітрогену та рівень освітлення (рис. 1).

Кореляційний аналіз показав наявність достовірних ($p < 0,05$) зворотних кореляційних залежностей між індексом відновлення ценопопуляцій *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. і вмістом гумусу в субстраті та реакцією ґрунтового розчину ($r = -0,46$) (рис. 2).

Головні висновки. 1. Індекси віталітету і відтворення ценопопуляцій видів роду *Polygonatum* Mill. перебувають у достовірній кореляційній залежності з низкою едафо-кліматичних показників, вплив яких визначає екологічний статус і перспективи відтворення в досліджених біотопах.

2. На показники віталітету *Polygonatum multiflorum* (L.) All. домінуючий вплив мають вологоємність ґрунту, сума активних температур і рівень освітлення; *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. – вміст рухомих форм Фосфору і Калію у ґрунті; *Polygonatum latifolium* Desf. – вміст гумусу і гідролізованого Нітрогену. Щодо індексу віталітету *Polygonatum verticillatum* (L.) All. не виявлено домінуючої факторної ознаки.

3. На індекс відновлення ценопопуляцій *Polygonatum multiflorum* (L.) All. найбільший вплив мають вологоємність ґрунту, вміст у ґрунтах гідролізованого Нітрогену та рівень освітлення; *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. – вміст гумусу у субстраті та реакція ґрунтового розчину; *Polygonatum verticillatum* (L.) All. – сума активних температур і вологоємність ґрунту. У *Polygonatum latifolium* Desf. статистично достовірних кореляційних зв'язків між онтогенетичним коефіцієнтом відновлення і едафо-кліматичними параметрами не виявлено.

Література

1. Боднарчук М.А., Целішев О.Г. Фітоіндикація кліматичних режимів екотопів лісових екосистем середньоруського лісостепового округу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2015. Вип. 127. С. 144–153.
2. Булохов А.Д. Фітоіндикация и ее практическое применение. Брянск : БГУ, 2004. 245 с.
3. Різничук Н.І. Життєвий цикл *Polygonatum multiflorum* L. на Прилуквинській височині (Передкарпаття) : матеріали Міжнародної конференції молодих учених «Актуальні проблеми ботаніки та екології», 11–15 серпня 2009 р., Кременець; Тернопіль, 2009. С. 212–213.
4. Різничук Н.І. Морфологічна мінливість *Polygonatum multiflorum* L. на Прилуквинській височині (Передкарпаття). *Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника*. Серія : Біологія. Вип. XII. Спеціальний випуск, присвячений 10-літтю кафедри біології та екології Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Гостинець; Івано-Франківськ, 2008. С. 56–59.
5. Різничук Н.І. Насіннева продуктивність *Polygonatum multiflorum* L. на Прилуквинській височині (Передкарпаття). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Інтродукція та збереження рослинного різноманіття. Вип. 2. 2009. С. 22–24.
6. Різничук Н.І. Онтогенез *Polygonatum multiflorum* L. на Прикарпатті: матеріали II Всесвітньої студентської конференції «Сучасні проблеми природничих наук». Ніжин, 25–26 квітня 2007 р. С. 33–34.
7. Різничук Н.І. Онтогенез *Polygonatum multiflorum* L. на Прилуквинській височині. *Біологічний вісник* : матеріали XVI Міжнародної наукової конференції «Роль ботанических садов в изучении онтогенеза интродуцированных растений». 2008. Т. 12. №2. С. 54–56.
8. Riznychuk N.I. Special features of the dimensional structure and life strategy of coenopopulations of *Polygonatum multiflorum* L. (All.) in the biotops of Precarpathians (Western Ukraine). *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna, 2017. № 3–4. P. 3–6.
9. Rix E.M. *Fritillaria* L. Flora Europaea. Cambridge : Univ. Press, 1980. Vol. 5. P. 31–34.
10. Skliar C.G. Manifestation of morphological variability and plasticity of *Pinus sylvestris* L. at different stages of natural forest regrowth. *Internet Confer. on European Sci. and Technology*. Germany : Munich, 2013. S. 78–81.
11. Tilman D. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. New Jersey : Princeton Univ. Press. 1998. 360 p.
12. Verheyen K., Hermy M. Recruitment and growth of herb-layer species with different colonizing capacities in ancient and recent forests. *J. Veget. Sci.* 2004. Vol. 15. P. 125–134.
13. Whigham D.E. Ecology of woodland herbs in temperate deciduous forest. *Ann. Rev. of Ecol. a. Syst.* 2004. Vol. 35. P. 583–621.

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ *AESCULUS HIPPOCASTANUM* L. У МІСЬКИХ НАСАДЖЕННЯХ НА ПІВДЕННОМУ СХОДІ УКРАЇНИ

Суслова О.П.

Донецький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 16А, 50089, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область
elenasuslova2901@gmail.com

Визначено особливості росту стовбура *Aesculus hippocastanum* L. за різних умов зростання в промислових містах на південному сході України. Досліджено 5840 дерев у парках, скверах і вуличних насадженнях міст Покровськ, Слов'янськ, Авдіївка, Костянтинівка, Новогродівка, Донецьк, Харцизьк, Єнакієво, Макіївка. Визначено вік дерев, їх кількість, висоту та діаметр стовбурів. Вік рослин визначали згідно з обліковими записами комунальних підприємств зеленого будівництва та візуально відповідно до їхнього загального стану і умов зростання. Для вимірювання діаметра стовбура (з точністю до 0,5 см) використовували мірну вилку. Висоту стовбура визначали за допомогою маятникового висотоміра Макарова (з точністю до 0,5 м). Встановлено, що репрезентативність *Aesculus hippocastanum* в міських насадженнях становить 4% в парках, 6% у скверах та 12% у вуличних насадженнях. За віковою структурою переважають середньовікові дерева віком від 20 до 40 років: у парках виявлено 47% рослин віком 31–40 років, у скверах – 51% віком 21–30 років, у вуличних насадженнях – 33% віком 31–40 років. У парках відсутні молоді дерева віком до 10 років, у скверах і вуличних насадженнях їх кількість у відсотковому відношенні становить 2 та 3% відповідно. Наведено результати аналізу біометричних показників стовбурів *Aesculus hippocastanum* та визначено реакцію дерев на умови зростання. Найбільші показники висоти стовбура та його діаметра у дерев віком 40 років спостерігаються в міських парках. У скверах відбувається зниження середньої висоти на 14%, у вуличних насадженнях – на 26%. Зниження показника «діаметр стовбура» щодо парків коливається від 25% у скверах до 38% у вуличних насадженнях. Встановлено, що умови зростання впливають на ріст і розвиток дерев *Aesculus hippocastanum* та позначаються у диференціації їхніх біометричних параметрів. Зроблено висновок щодо перспективності використання біометричних параметрів стовбурів виду у фітоіндикації стану міського середовища. **Ключові слова:** *Aesculus hippocastanum*, репрезентативність, вікова структура, біометричні показники, висота стовбура, діаметр стовбура.

Specific features of the growth of *Aesculus hippocastanum* L. in city green spaces in the south east of Ukraine. Suslova E.

The specific features of the stem growth have been determined in *Aesculus hippocastanum* L., growing in different environments of the industrial cities of Ukraine. In the course of our study we examined 5840 trees in parks, squares and roadside plantings of the cities of Pokrovsk, Slovyansk, Avdiivka, Kostyantynivka, Novogrodivka, Donetsk, Khartsyzsk, Yenakiiv, Makiivka. In the course of our investigations we determined the tree age, number, height and stem diameter. Plant age information was obtained from records of community landscaping services and visually relative to their state and growth conditions. Calipers was used for stem diameter measurements. Stem diameter was evaluated using Makarov's pendulum altimeter. The study has shown that representation of *Aesculus hippocastanum* in city green spaces was 4% in parks, 6% in squares and 12% in roadside plantations. According to age structure, middle-aged trees aged 20 to 40 dominate: there are 47% of such trees in parkland, in roadside stands trees aged 31 to 40 make 33%; there are 51% of the trees aged 21 to 30 in the squares. The young trees below the age of 10 years are absent from the parks, in the squares and roadside plantings they make 2% and 3%, respectively. This work presents the results of analysis of trunk biometric parameters of *Aesculus hippocastanum* L. in green plantings of general use located within the industrial cities of the south east Ukraine, tree response to growth conditions being investigated. The greatest parameters of the trunk height and diameter in 40 years old trees were registered in city parks. In the squares mean tree height was 14% smaller, in roadside plantings this index was 26% lower. The reduction of the values of such parameter as "trunk diameter" compared to that of trees growing in parks ranged from 25% in squares to 38% in roadside plantings. The study has shown that growth conditions influence the growth and development of *Aesculus hippocastanum* and are expressed in differentiation of their biometric parameters. The conclusion is made as for the applicability of the trunk biometric parameters in bioindication of the urban environmental conditions. **Key words:** *Aesculus hippocastanum*, representation, age structure, biometric parameters, trunk height, trunk diameter.

Постановка проблеми та актуальність досліджень. Основним елементом озеленення міст є насадження деревних рослин, які виконують середовищеутворюючу, санітарно-гігієнічну функції та підвищують естетичну якість населених пунктів і створюють відчуття комфорту. Тому роль зелених насаджень в оптимізації урболандшафтів щороку зростає. Однак у процесі функціонування міських зелених насаджень під впливом факторів урбанізованого середовища постійно змінюється їхній

стан та ефективність виконання заданих функцій. Залежно від розміщення зелених насаджень на території за різних мікрокліматичних умов із різним ступенем антропогенного забруднення змінюються їхній ріст і розвиток.

На південному сході України внаслідок певних складностей щодо кліматичних умов і забруднення територій промисловими викидами формуються умови для існування деревних насаджень, які визначають їхній склад і структуру, життєвий

стан, особливості функціонування та інтенсивність здійснення ними природоохоронних, санітарно-гігієнічних, рекреаційних та інших функцій [1; 2]. Чутливість деревних рослин до викидів промислових підприємств та автотранспорту проявляється в зміні їхнього росту і формуванні надземної біомаси [3; 4]. Тому відповідь рослинного організму на дію стрес-факторів навколишнього середовища перш за все можна визначити за зовнішнім виглядом і станом рослин та за змінами їхніх біометричних показників [5–7]. Аналіз змін процесів росту та швидкості розвитку деревних рослин дасть змогу прогнозувати динаміку стану деревних рослин, що зростають у міському середовищі. Наслідком цього може бути визначення виконуваних деревами екологічних функцій, їх естетичного сприйняття, оцінка екологічного ризику міських територій та діагностика екологічної комфортності середовища.

Одним із видів деревних порід, що використовують в озелененні промислових міст південного сходу України є *Aesculus hippocastanum* L. Вид популярний завдяки своїм декоративним якостям і високим адаптивним здатностям. Окрім того, дерева виду мають значні шумозахисні характеристики, вони нейтралізують важкі метали, уловлюють пил і викиди промислових підприємств та автотранспорту [8; 9]. У різні роки фахівцями Донецького ботанічного саду НАН України було досліджено представленість *Aesculus hippocastanum* в насадженнях деяких міст на південному сході України, їхній життєвий стан, особливості сезонного розвитку, стійкість виду до шкідників і хвороб [10–14]. Наразі накопичено значний матеріал із цих питань, однак даних щодо особливостей росту дерев виду в містах південного сходу України та перспективи їх використання в озелененні промислового регіону залишаються нагальними питаннями сьогодення.

Мета роботи – визначити особливості росту стовбура *Aesculus hippocastanum* за різних умов зростання в промислових містах південного сходу України для надання інформації щодо перспективи використання виду у фітоіндикації стану міського середовища.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом досліджень були дерева *Aesculus hippocastanum* у декоративних насадженнях загального користування (парки, сквери, вуличні насадження) промислових міст степової зони України (Покровськ, Слов'янськ, Авдіївка, Костянтинівка, Новогродівка, Донецьк, Харцизьк, Єнакієво, Макіївка). Дослідження проводили протягом 2013–2019 рр. Загалом обстежено 5840 дерев. Визначали вік, кількість особин, висоту стовбура, діаметр стовбура на висоті 1,3 м. Вік рослин визначали згідно з обліковими записами комунальних підприємств зеленого будівництва, а також візуально відповідно до їхнього загального стану та умов зростання. Для вимірювання діаметра стовбура (з точністю до 0,5 см) вико-

ристовували мірну вилку. Висоту стовбура визначали за допомогою маятникового висотоміра Макарова (ВМ) (з точністю 0,5 м). Для цього вимірювали рулеткою базис (відстань від дерева до місця спостереження): за висоти дерева 5–15 м вибирали десятиметровий базис, а за висоти 15–25 м – двадцятиметровий. До показників висотоміра додавали зріст спостерігача. За висоти дерева менше 5 м вимірювання проводили мірною рейкою. Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою програми Excel.

Результати досліджень. Репрезентативність *Aesculus hippocastanum* у насадженнях промислових міст південного сходу України становить 4% у парках, 6% у скверах і 12% у вуличних насадженнях. За віковою структурою в насадженнях усіх досліджуваних категорій найчастіше трапляються середньовікові дерева віком від 20 до 40 років (рис. 1). У парках переважають дерева віком 31–40 років. На їхню частку припадає 47% від усіх дерев виду в паркових зонах міст. У скверах найчастіше трапляються особини віком 21–30 років (51%), а у вуличних насадженнях – віком 31–40 та 41–50 років (33 та 27% відповідно). У насадженнях парків відсутні молоді дерева віком до 10 років, а у скверах і вуличних насадженнях їх трапляється лише 2 та 3% відповідно.

Для визначення реакції дерев (віком від 15 до 40 років) на умови зростання було проаналізовано лінійні характеристики їхніх стовбурів. За результатами аналізу отриманих даних визначено, що найбільш сприятливими умовами для росту дерев у висоту є паркові (табл. 1). Починаючи з 15-річного віку середня висота стовбурів більша в умовах паркових зон, ніж у скверах на вуличних насадженнях. Наприклад, у віці 40 років середня висота стовбурів *Aesculus hippocastanum* у парках становить 14,4 м, у скверах – 12,4 м, у вуличних насадженнях – 10,7 м. Поточний приріст у висоту також відрізняється у дерев різних категорій загального користування (рис. 2).

У період від 15 до 20 років найбільший приріст дерев у висоту визначено у скверах (3,7 м); у парках і вуличних насадженнях показник дещо менший і становить 2,5 та 2,4 м відповідно. Від 20 до 25 років середній приріст стовбурів дерев у паркових насадженнях також становить 2,5 м, а у скверах і вуличних насадженнях відбувається зниження лінійного росту стовбурів до 1,6 м та 1,4 м відповідно. Надалі з віком у дерев усіх категорій приріст у висоту знижується і в період від 35 до 40 років становить 0,9 м у парках, 0,7 м – у скверах, 0,3 м – у вуличних насадженнях. Це свідчить, що несприятливі природно-екологічні умови міста призводять до передчасного старіння дерев *Aesculus hippocastanum* та настання кульмінації поточного приросту у висоту стовбурів за досягнення ними віку 20 років (у скверах і вуличних насадженнях) і 25 років (у парках), після чого темпи росту дерев значно зменшуються.

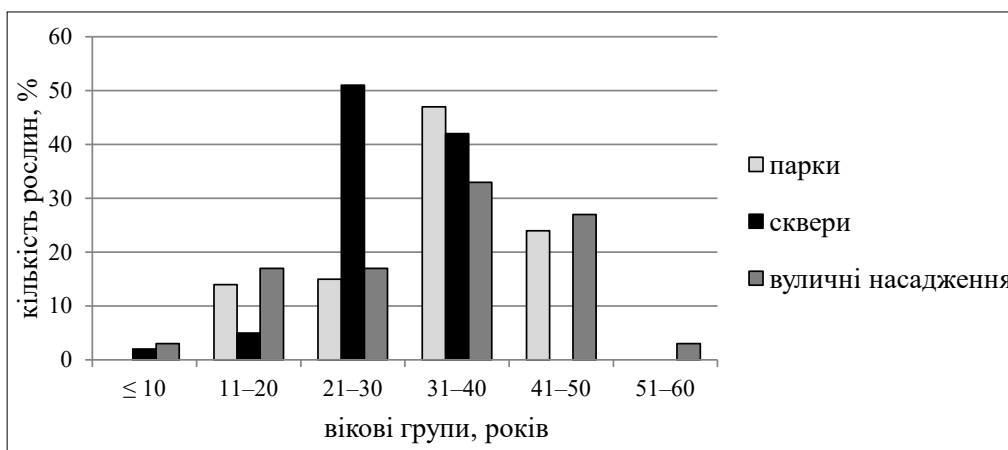


Рис. 1. Вікова структура *Aesculus hippocastanum* L. у міських насадженнях на південному сході України

Таблиця 1

Морфометричні показники стовбурів *Aesculus hippocastanum* L. у міських насадженнях на південному сході України

Вік, років	Категорія насаджень					
	парки		сквери		вуличні насадження	
	висота стовбура, м	діаметр стовбура, см	висота стовбура, м	діаметр стовбура, см	висота стовбура, м	діаметр стовбура, см
	M ± m		M ± m		M ± m	
15	6,0±1,03	14,6±2,70	5,7±0,95	10,0±1,44	5,0±0,60	10,0±1,09
20	8,5±1,72	18,0±3,25	8,0±1,12	13,6±2,61	7,4±1,05	10,7±0,89
25	11,0±1,48	25,9±5,01	9,6±1,37	19,7±3,27	8,8±1,14	16,5±1,67
30	12,3±2,09	34,0±4,33	10,6±1,83	26,8±4,94	9,6±1,22	21,7±3,17
35	13,5±3,16	40,5±3,49	11,5±1,26	31,8±3,62	10,4±1,15	25,9±3,44
40	14,4±2,64	46,0±5,71	12,2±2,05	34,5±3,43	10,7±1,92	28,7±4,06

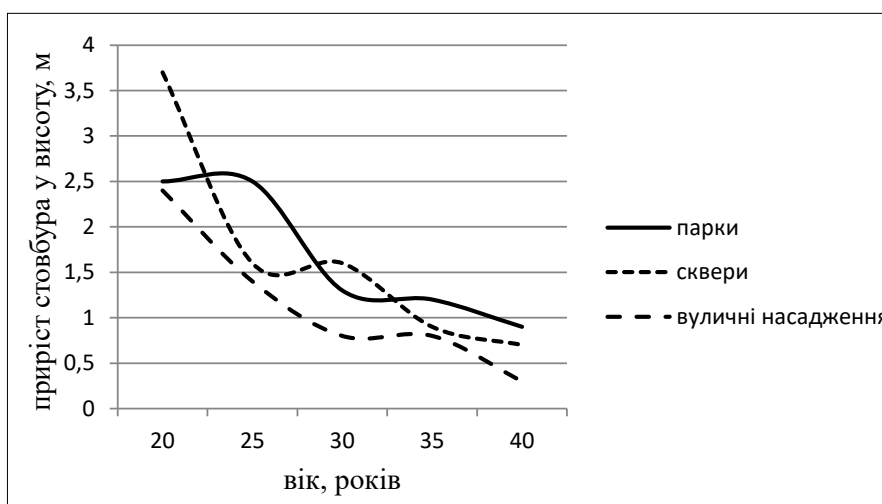


Рис. 2. Приріст дерев *Aesculus hippocastanum* L. у висоту в міських насадженнях на південному сході України

Найбільші показники діаметра стовбура характерні для дерев паркових зон досліджуваних міст (див. табл. 1). Наприклад, у віці 40 років середній діаметр стовбурів дерев у парках становить 46 см, у скверах – 34,5 см, а у вуличних насадженнях – 28,7 см. Приріст діаметра стовбура також

значно відрізняється залежно від категорії насаджень. Максимальний приріст в усіх вікових групах зазначено в дерев у парках (рис. 3). Найбільше значення показника серед дерев парків і скверів визначено в особин віком 25–30 років (8,1 та 7,1 см відповідно).

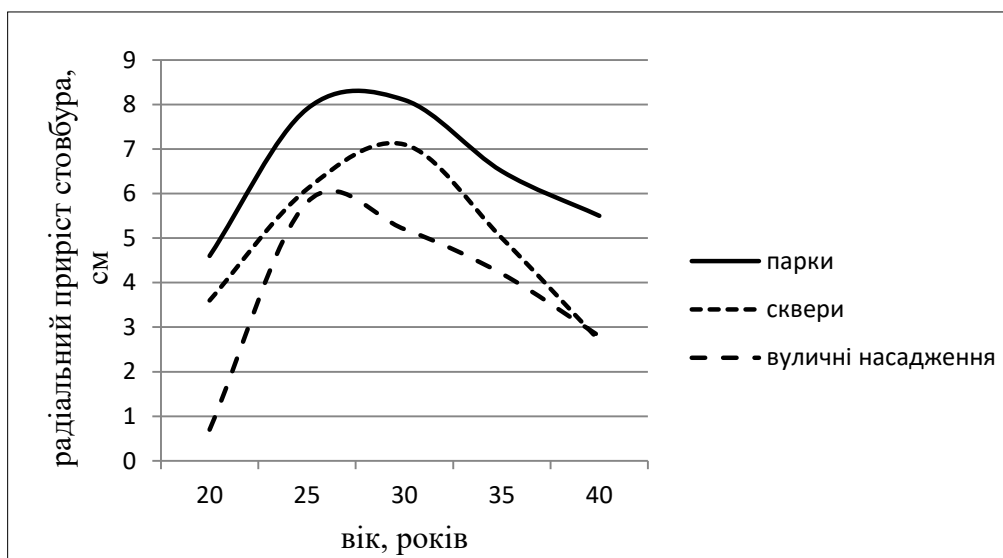


Рис. 3. Радіальний приріст стовбурів *Aesculus hippocastanum* L. у міських насадженнях на південному сході України

Таблиця 2

Реакція *Aesculus hippocastanum* L. віком 40 років на техногенний вплив середовища

Категорія насаджень	Висота стовбура, м			Діаметр стовбура, см		
	середня, м	зниження щодо максимальної висоти		середній, см	зниження щодо максимального діаметра	
		м	%		см	%
парки	14,4			46,0		
сквери	12,4	2,0	14	34,7	11,3	25
вуличні насадження	10,7	3,7	26	28,7	17,3	38

У вуличних насадженнях найбільший приріст стовбура *Aesculus hippocastanum* у радіальному напрямку визначено в період від 20 до 25 років, після чого показник значно зменшується. Кульмінація радіального приросту стовбура в парках і скверах відбувається дещо пізніше в період між 25 та 30 роками.

Реакцію дерев *Aesculus hippocastanum* на різні умови зростання представлено в таблиці 2. Найбільші показники висоти стовбура та його діаметра серед дерев віком 40 років встановлено в парках досліджуваних міст. У скверах відбувається зниження середньої висоти стовбура на 14% щодо показників парках, а у вуличних насадженнях – на 26%. Така ж закономірність простежується і під час аналізу даних діаметра стовбурів. Зниження показника коливається від 25% у скверах до 38% у вуличних насадженнях.

Головні висновки. *Aesculus hippocastanum* відіграє значну роль у насадженнях промислових міст південного сходу України завдяки своїм декоративним якостям і високим адаптивним здатностям. Репрезентативність виду в міських насадженнях становить від 4% у парках, 6% у скверах до

12% у вуличних насадженнях. Встановлено, що умови зростання впливають на ріст і розвиток дерев та позначаються у диференціації їхніх біометричних параметрів. З підвищенням техногенного навантаження збільшується амплітуда зміни значень. Розкид по висоті становить 3,7 м, по діаметру стовбура – 17,3 см. Найбільші показники висоти та діаметра стовбура дерев визначено в парках досліджуваних міст. У скверах відбувається зниження середньої висоти стовбура на 14% щодо показників у парках, а у вуличних насадженнях – на 26%; зниження показників діаметра стовбура коливається від 25% у скверах до 38% у вуличних насадженнях. Динаміка біометричних параметрів стовбурів за різних умов зростання свідчить про підвищену чутливість *Aesculus hippocastanum* до стресових навантажень і про перспективність використання виду у фітоіндикації стану міського середовища. Окрім того, отримані результати слід враховувати під час реконструкції існуючих і під час створення нових насаджень загального користування за використанням *Aesculus hippocastanum*.

Література

1. Grigor'ev Y.S., Pakhar'kova M.N. Effect of industrial environmental pollution on winter dormancy in Scotch Pine. *Russian Journal of Ecology*. 2001. Vol. 32. No. 6. P. 437–439.
2. Яловенко А.С. Життєвий стан деревних насаджень парку ім. Т.Г. Шевченка м. Запоріжжя. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2011. Вип. 19. Т. 1. С. 143–149.
3. Сергейчик С.А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск, 1994. 279 с.
4. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. Санкт-Петербург, 1997. 210 с.
5. Бессонова В.П., Юсыпова Т.И. Семенное возобновление древесных растений и промышленные поллютанты (SO₂ и NO₂). Запорожье, 2001. 193 с.
6. Кузнецов С.І., Немерцалов В.В. Фактори впливу та вимоги до інтродукційної оптимізації зелених насаджень міського середовища: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Донецьк, 2008. С. 13–14.
7. Авдеева Е.В. Рост и индикаторная роль зеленых насаждений в урбанизированной среде. Красноярск, 2007. 382 с.
8. Левон Ф.М., Ильенко А.А., Назарова Н.А. Современное состояние и проблемы сохранения конского каштана обыкновенного в зеленых насаждениях г. Киева : материалы XI Международной научно-практической конференции. Москва, 2008. С. 108–110.
9. Гришко В.М., Зубровська О.М. Накопичення важких металів та перебіг вільнорадикальних реакцій в асиміляційних органах деревних рослин в умовах забруднення. *Физиология растений и генетика*. 2015. Т. 47. № 1. С. 47–57.
10. Поляков О.К., Сулова О.П., Нецветов М.В., Дацько О.М., Лихацька О.М. Життєздатність деревних рослин у міських вуличних насадженнях на Південному Сході України. *Промышленная ботаника*. 2012. Вып. 12. С. 12–18.
11. Поляков О.К., Сулова О.П., Хархота Л.В. Стан деревних рослин у паркових насадженнях промислових міст південного сходу України. *Промышленная ботаника*. 2013. Вып. 13. С. 109–115.
12. Сулова О.П. Різноманіття та вікова структура деревних рослин у вуличних насадженнях міста Покровськ. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27.4. С. 83–86.
13. Сулова О.П. Сучасний стан деревних паркових насаджень м. Слов'янськ. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Вип. 28.5. С. 57–60.
14. Попов Г.В., Бондаренко-Борисова И.В. Об устойчивости конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) к вредителям и болезням на юго-востоке Украины. *Промышленная ботаника*. 2007. Вып. 7. С. 252–258.

ВМІСТ ПІГМЕНТІВ У ХВОЇ *PICEA ABIES* І *PICEA PUNGENS* В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО М. КРИВИЙ РІГ

Федорчак Е.Р.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг
huseinova93@gmail.com

Криворізький регіон із металургійним і гірничо-збагачувальними комбінатами характеризується інтенсивним техногенним навантаженням, виділенням пилу й отруйних газів. Під дією шкідливих викидів: діоксиду сірки, оксиду вуглецю, сірководню, оксиду азоту – відбувається забруднення атмосфери, що негативно впливає на стан рослин. Досліджено фотосинтетичні пігменти хвої *Picea abies* та *P. pungens* в насадженнях, що зазнають різномірного аеротехногенного впливу в потужному промисловому центрі Степової зони України – Кривому Розі. Проаналізовано вміст пігментів у хвої другого року життя 30–40-річних дерев обох видів із 8-ти моніторингових ділянок. Показано динаміку вмісту хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів у шпильках протягом п'яти місяців вегетаційного періоду 2017 року. Зазначено, що у хвої *P. abies* та *P. pungens* на всіх ділянках із травня по вересень знижується вміст хлорофілу *a* (до 27,2% та 25,0% відповідно) та хлорофілу *b* (до 17,9% та 20,0% відповідно) порівняно з фоновою територією. Водночас збільшується концентрація каротиноїдів, що виконують захисну функцію в реакціях фотосинтезу – відповідно до 26,1% та 24,0%. Доведено, що найпотужнішого негативного впливу зазнають насадження від промислового забруднення (біля ПРАТ «ПівніГЗК» і ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») та викидів автомобілів (на вул. Черкасова, на вул. Ватутіна та на проспекті Металургів), у хвої яких спостерігали появу мінімальних і рідше максимальних показників вмісту пігментів. Особливо зниження концентрації пігментів у хвої обох ялин спостерігається на проспекті Металургів порівняно з вул. Черкасова та вул. Ватутіна, де показники знижувались щодо контролю, проте здебільшого різниці не суттєва. Отримані результати свідчать про доцільність використання пігментних комплексів *P. abies* та *P. pungens*, які мають чутливий асиміляційний апарат щодо пошкодження аерополлютантами, як біоіндикаторів стану повітряного середовища. *Ключові слова*: хвойні рослини, біоіндикатори, хвоя, хлорофіли *a* і *b*, каротиноїди, аерополлютанти.

Content of pigments in needles of *Picea abies* and *Picea pungens* in conditions of industrial Kryvyi Rih city. Fedorchak E.

The Kryvyi Rih region, with its metallurgical and mining-and-processing combines, is characterized by intense technogenic pressure, dust and poisonous gas emissions. Under the influence of harmful emissions (sulfur dioxide, carbon monoxide, hydrogen sulfide, nitrogen oxide), pollution occurs in the atmosphere, which adversely affects the plant health condition. We studied photosynthetic pigments in needles of *Picea abies* and *P. pungens* in plantings exposed to aerotechnogenic influence of various levels in the big industrial center of steppe zone of Ukraine (Kryvyi Rih). We analyzed the pigment content in needles of the second year of life sampled from 30–40-year-old trees of both species in 8 monitoring sites. The paper shows the content changes for chlorophylls *a* and *b* as well as carotenoids in the needles during five months of growing season of year 2017. For the needles of *Picea abies* and *P. pungens* from all the sites, we noticed the decreasing content of chlorophyll *a* (to 27.2% and 25.0% respectively) and chlorophyll *b* (to 17.9% and 20.0% respectively) from May till September, in comparison with background territory. At the same time, content of carotenoids performing the protective function in photosynthetic reactions increased up to 26.1% and 24.0% respectively. It is shown that the most intensive negative influence on plantings is caused by industrial pollution (near Private JSC “Northern Ore Dressing Works” and Public JSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih”) and exhaust gases (in the Cherkasov Street, in the Vatutina Street and Metallurgists Avenue): the minimum or, more rarely, the maximum rates of pigment content appeared in needles of the plants exactly from these sites. The most significant decreasing pigment concentrations in needles of both spruce species are noticed in the Metallurgists Avenue in comparison with the Cherkasov Street and the Vatutina Street, where indicators fell relative to control, but, in most cases, the difference is statistically unreliable. Our research results demonstrate the feasibility of using the pigment complexes of *Picea abies* and *P. pungens*, with the assimilative apparatus sensitive to air pollution damage, as indicators of air environmental conditions. *Key words*: coniferous plants, indicators, needles, chlorophylls *a* and *b*, carotenoids, aeropollution.

Постановка проблеми. В Європі та у світі Україна виділяється серед інших країн своїми великими родовищами заліза, запаси яких становлять 54% [4]. Під час видобутку залізної руди в атмосферу потрапляють різні види забруднюючих речовин, серед яких найбільш поширені – це пил, діоксид сірки, оксид вуглецю, сірководень, оксид азоту та інші [4; 13]. Особливо актуальна ця проблема для промислових міст Степової зони України, де в окремих промислових районах екологічний стан характеризується як кризовий. Велику роль у покращенні умов середовища відіграють зелені насадження [1; 5].

Проте вони швидко реагують на наявність у повітрі навіть малих доз токсичних речовин, пошкоджуються твердими частками промислових викидів, які у людей і тварин не спричиняють видимих наслідків. Тому рослини вважають найкращими індикаторами навколишнього середовища [14].

Актуальність дослідження. У Кривому Розі, де річний об'єм викидів підприємств за 2011 рік становив 358,6 тис. тон, дослідження впливу токсичних речовин на рослини мають стати невіддільним складником екологічного моніторингу [3]. Останнім часом саме види родини *Pinaceae* пропонують використовувати

як біоіндикатори аеротехногенного забруднення [1; 14]. На Криворіжжі поширеними в озелененні представниками хвойних є *Picea abies* (L.) Karst. та *Picea pungens* Engelm., які зростають у поодиноких, рядових, групових і куртинних типах насаджень, що робить їх зручними тест-системами для біоіндикації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки стану міських насаджень необхідна рання діагностика життєдіяльності деревостанів, що в короткі терміни дає змогу отримати повну інформацію про ступінь техногенного впливу на них. Передусім пошкодження хвойних проявляються на фізіолого-біохімічному рівні, потім поширюються на ультраструктурний і клітинний рівні [6]. Така сприйнятливність пояснюється тим, що більшість важливих фізіологічних процесів здійснюється в асиміляційному апараті, який служить центром варіабельності або пластичності організму [10]. Відомо, що одним із біохімічних показників реакції рослин на зміну факторів зовнішнього середовища, ступеня їх адаптації до нових екологічних умов є вміст хлорофілів і каротиноїдів – головних фоторецепторів фотосинтезуючої клітини [13]. Широко вживаним показником для індикації пошкодження хвої, спричиненого дією забруднюючих повітря речовин, є зниження вмісту хлорофілу та збільшення кількості каротиноїдів [12]. У літературі зарубіжних і вітчизняних учених широко обговорюється фізіологія впливу шкідливих викидів промислових підприємств та автотранспорту на пігментний вміст хвойних [1; 11–13].

Слід зазначити, що дослідження пігментного комплексу хвойних рослин в умовах високої загазованості (м. Іжевськ) показали, що *P. pungens* характеризується як більш стійкий вид порівняно з *P. abies* через підвищений вміст хлорофілу *a* [11]. Проте низка дослідників [15] зазначає, що хвоя *P. abies* та *P. pungens* має однаковий ступінь пошкодження у відповідь на забруднення атмосферного повітря, а кількість пігментів у останнього виду, навпаки, була меншою. Тому актуально порівняти пігментний комплекс та його вміст в обох видів ялин протягом вегетаційного періоду, що дасть можливість оцінити реакцію рослин на дію техногенного забруднення.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В процесі моніторингу атмосферного повітря не досить уваги приділяється використанню хвойних насаджень міста для дослідження змін їхнього пігментного комплексу під впливом техногенного навантаження.

Новизна. Дослідження пігментного комплексу хвої видів роду *Picea* – *P. abies* та *P. pungens*, поширених у насадженнях м. Кривий Ріг, досі не проводилися, тому отримані нами дані започатковують моніторингові спостереження сезонної динаміки вмісту пігментів у хвойних залежно від різних умов зростання.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати наукової роботи дають змогу

виявити особливості сезонної динаміки вмісту фотосинтетичних пігментів і порівняти їхню кількість в асиміляційному апараті видів *P. abies* та *P. pungens* в насадженнях із різним рівнем аеротехногенного впливу в умовах великого промислового міста у межах Степової зони.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалом для досліджень слугувала хвоя другого року життя 30–40-річних дерев *P. abies* та *P. pungens*, яка відбиралася протягом вегетаційного періоду 2017 р. Досліджувалася форма з блакитно-зеленою хвоєю (*P. pungens* “Glauca”), оскільки саме вона набула значного поширення в озелененні як Кривого Рогу, так і інших міст України [2].

Методично доцільним вважається використання для дослідів хвої саме такого віку, яка, з одного боку, вже повністю розвинена і стабільна, а з іншого – не демонструє жодних симптомів старіння [17]. Особливості початкового періоду розвитку хвої, яка відбиралася для аналізів, визначали погодні умови вегетаційного періоду 2017 року. Температура повітря щодо багаторічних середньомісячних показників фактично була в нормі: 15,5°C (травень) – 24,4°C (серпень). Максимальне відхилення температури від норми перевищувало багаторічні показники на +3,2°C в серпні. Найбільша вологість повітря була в липні та становила 86%, найменша – 42% (у червні) (<http://www.pogodaiklimat.ru>). Посушливі періоди чергувалися з дощовими. Кліматичних аномалій, здатних суттєво змінити вихідні пропорції вмісту окремих компонентів у пігментному комплексі, не спостерігалось.

Основні 8 моніторингових насаджень були розташовані у трьох районах міста: Металургійному, Покровському та Тернівському (рис. 1). Перші три насадження розташовані на відносно малозабруднених аерополітантами ділянках – дендрарію Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС) (ділянка 1, контроль), парку «Шахтарський» (ділянка 2) і парку Героїв АТО (ділянка 3). Наступні три – біля проїзної частини з високою інтенсивністю автотранспортного руху на вул. Черкасова (ділянка 4), на вул. Ватутіна (ділянка 5) і, особливо, на проспекті Металургів (ділянка 6), де кількість автомобілів за одну годину утричі більша порівняно з вул. Черкасова та вдвічі – порівняно з вул. Ватутіна. Найвища концентрація аеротехногенних викидів спостерігається на ділянках 7 – поблизу ПрАТ Північного гірничо-збагачувального комбінату («ПівніГЗК») та 8 – біля металургійного гіганта ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Хвою *P. abies* і *P. pungens* збирали по 5 зразків із 10 дерев із кожної ділянки. Для визначення вмісту пігментів брали середню пробу в п'ятикратній повторюваності: до 0,1 г подрібненого рослинного матеріалу додавали 2 мл диметилсульфоксиду (ДМСО), а потім три години витримували на водяній бані за температури 67°C. В отриманому екстракті проводили

вимірювання за допомогою спектрофотометра СФ-2000 за довжини хвилі 665 і 649 нм – для хлорофілів *a* і *b* відповідно, 480 нм – для каротиноїдів. Вміст пігментів обчислювали за такими формулами:

$$C_a = 12,19 \times A_{665} - 3,45 \times A_{649};$$

$$C_b = 21,99 \times A_{649} - 5,32 \times A_{665};$$

$$C_{\text{кар}} = (1000 \times A_{480} - 2,14 \times C_a - 70,16 \times C_b) / 220,$$

де C – концентрація пігментів, мг/мл [16].

Статистичний аналіз проводили за допомогою Microsoft Office Excel 2003. Для порівняння двох незалежних вибірок ми використовували *t*-критерій Стьюдента (за $P < 0,05$).

Виклад основного матеріалу. Для ранніх проявів стресового стану рослин під дією забруднення на фізіолого-біохімічному рівні найчастіше використовують показники вмісту хлорофілу *a* і *b*, які є чутливими до дії аерополітантів.

Максимальний вміст хлорофілу *a* у хвої *P. abies* та *P. pungens* був зазначений у травні (1,04 мг/г сирової речовини та 1,24 мг/г сирової речовини) на відносно «чистій» ділянці (контроль) (рис. 2), що в середньому на 16,3% та 20,6% більше порівняно з насадженнями біля промислових підприємств. Дещо менші виявлено відмінності у рослин *P. abies* та *P. pungens*, що зростали біля автошляхів, які в середньому були на 12,2% та 15,1% нижче, ніж у КБС.

Найбільша кількість хлорофілу *a* у хвої *P. abies* та *P. pungens* в травні спостерігалася й іншими дослідниками [1; 7; 12]. Це пояснюється достатньою кількістю опадів на початку вегетації та оптимальною для розвитку рослин температурою повітря, яка різко підвищується в наступні місяці.

Найменші показники хлорофілу *a* у двох видів *P. abies* та *P. pungens* зафіксовано в насадженнях Металургійного району (на 40 км південніше КБС НАН України). У рослин *P. abies* та *P. pungens* біля «АрселорМіттал Кривий Ріг» в останньому місяці вегетаційного періоду кількість хлорофілу *a* дорівнювала 0,58 мг/г сирової речовини та 0,70 мг/г сирової речовини, що на 21,6% та 29,3% достовірно менше порівняно з деревами ботанічного саду. В насадженнях на проспекті Металургів хвоя обох видів ялин містила на 10,1% та 10,6% менше хлорофілу *a*, порівняно з аналогічними показниками дерев, що зростали на вул. Черкасова та на 7,5% і 8,4% менше порівняно з рослинами на вул. Ватутіна. Така тенденція спостерігалася і в насадженнях парку Героїв АТО, де значення були меншими, порівняно з деревами парку «Шахтарський» та насадженнями ботанічного саду. Очевидно, що негативний вплив на вміст фотосинтезуючих пігментів здійснюють викиди автомобілів і металургійного комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг». Суттєвим є вплив і природних факторів: температури повітря, кількості опадів, що залежить від географічного розташування. Менша кількість атмосферних опадів у південних районах міста спричинює затримку нормального розвитку асиміляційного апарату, що відобра-

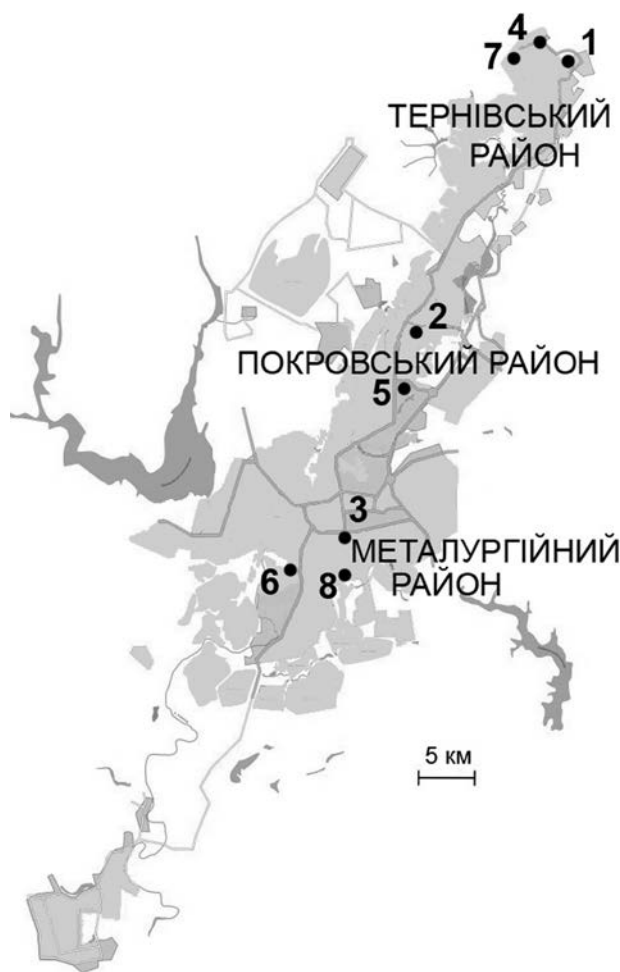


Рис. 1. Картосхема регіону Кривого Рогу, на якій зображено ділянки, що досліджувалися

жається на кількості пігментів. Такі зміни є відповідною реакцією рослин до комплексного впливу екологічних факторів. В умовах стресу зниження пігментів зазначають й інші дослідники [1; 12].

Під час досліджень протягом п'яти місяців зазначено в більшості випадків достовірно зниження показників хлорофілу *a* у рослин обох видів біля доріг і промислових підприємств, особливо у *P. abies*. У хвої *P. pungens* в насадженнях міста спостерігалася відносна стабільність вмісту хлорофілу *a*, а також більш висока його концентрація, ніж у *P. abies*, яка чутливіше реагує на техногенний вплив.

До складу хлоропластів рослин також входить хлорофіл *b*, що переносить засвоєну ним енергію на хлорофіл *a* [17]. Максимум накопичення хлорофілу *b* у *P. abies* та *P. pungens* спостерігався у травні в КБС (0,41 мг/г сирової речовини та 0,50 мг/г сирової речовини), що в середньому більше на 9,8% та 18,0% порівняно з деревами, що зростали біля промислових підприємств та вище на 4,9% та 14,0%, ніж у пришляхових насадженнях відповідно (рис. 3). Близькі до отриманих нами показники вмісту хлорофілу *b* у хвої *P. abies* (0,37 мг/г сирової речовини) та у *P. pungens* (0,51 мг/г сирової речовини), отримані М.С. Тіговою (дендрарій м. Уссурійськ) [7; 8].

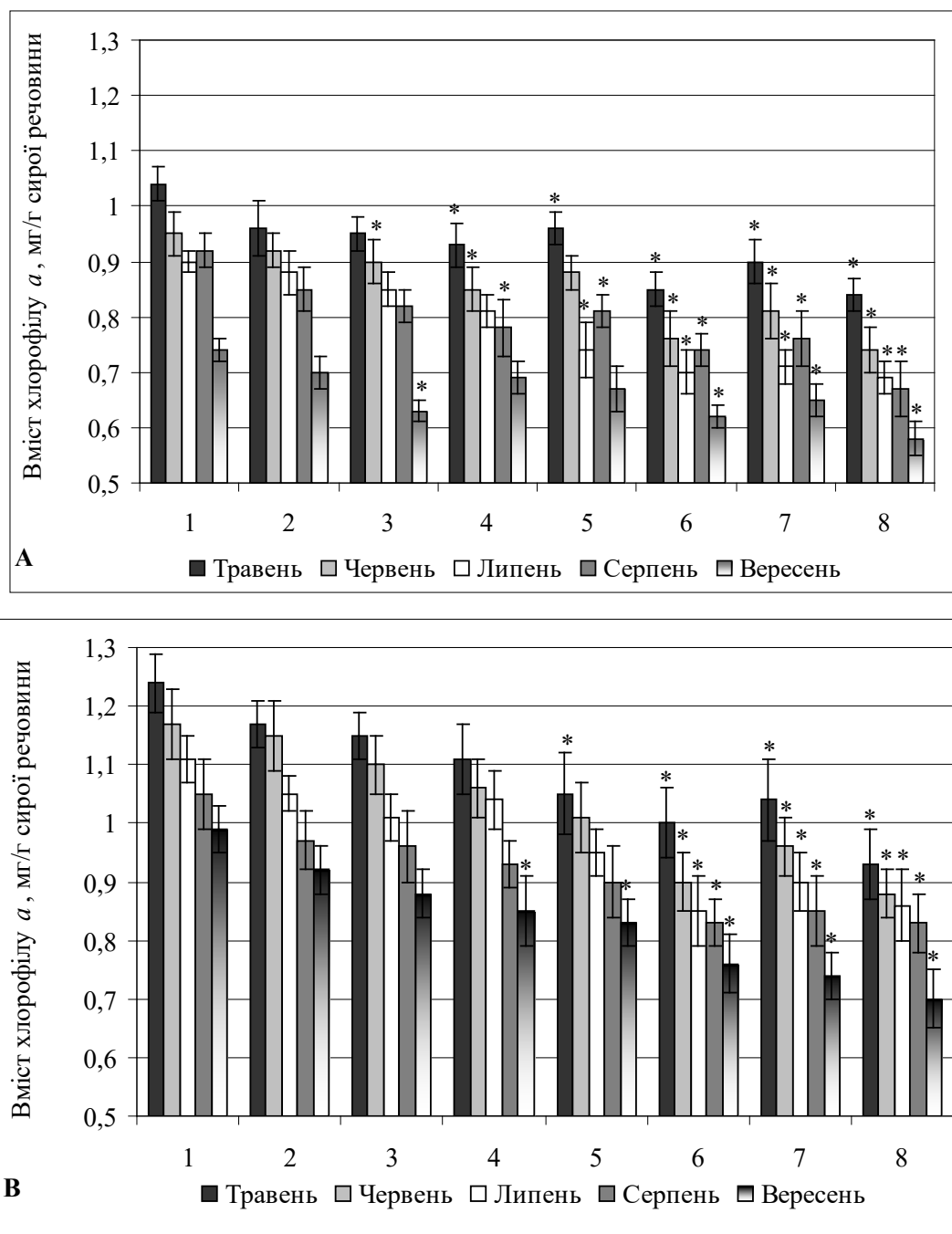


Рис. 2. Кількісний вміст хлорофілу *a*, мг/г сирої речовини у видів *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б) з різних насаджень м. Кривий Ріг (1–8 – ділянки; $n = 5$; * – значення достовірно відрізняються від контролю за $P < 0,05$)

Вміст хлорофілу *b* у мінімальній кількості виявлений у хвої *P. abies* та *P. pungens* у вересні біля комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг» (0,29 мг/г сирої речовини та 0,33 мг/г сирої речовини), що на 14,7% та 21,4% менше порівняно з рослинами ботанічного саду. Протягом п'яти місяців спостерігалось не суттєве збільшення хлорофілу *b* у хвої насаджень обох видів ялин у міру їх віддалення від автомобільних і промислових викидів гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів. З окремих публікацій відомо, що забруднюючі речовини послаблюють накопичення

хлорофілу *b* більшою мірою, ніж хлорофілу *a*, що може зменшити активність фотосинтетичного апарату та порушити метаболізм рослин [9; 12]. Проте інші дослідники [5; 11], навпаки, наголошують на переважанні кількісних змін вмісту хлорофілу *a* в пігментному комплексі хвойних на урбанізованих територіях; вміст же хлорофілу *b* залишається відносно стабільним. У нашому випадку підтверджується другий варіант динамічних змін пігментного комплексу: зі збільшенням рівня забруднення міського середовища помітніше знижується кількість хлорофілу *a*, ніж *b*.

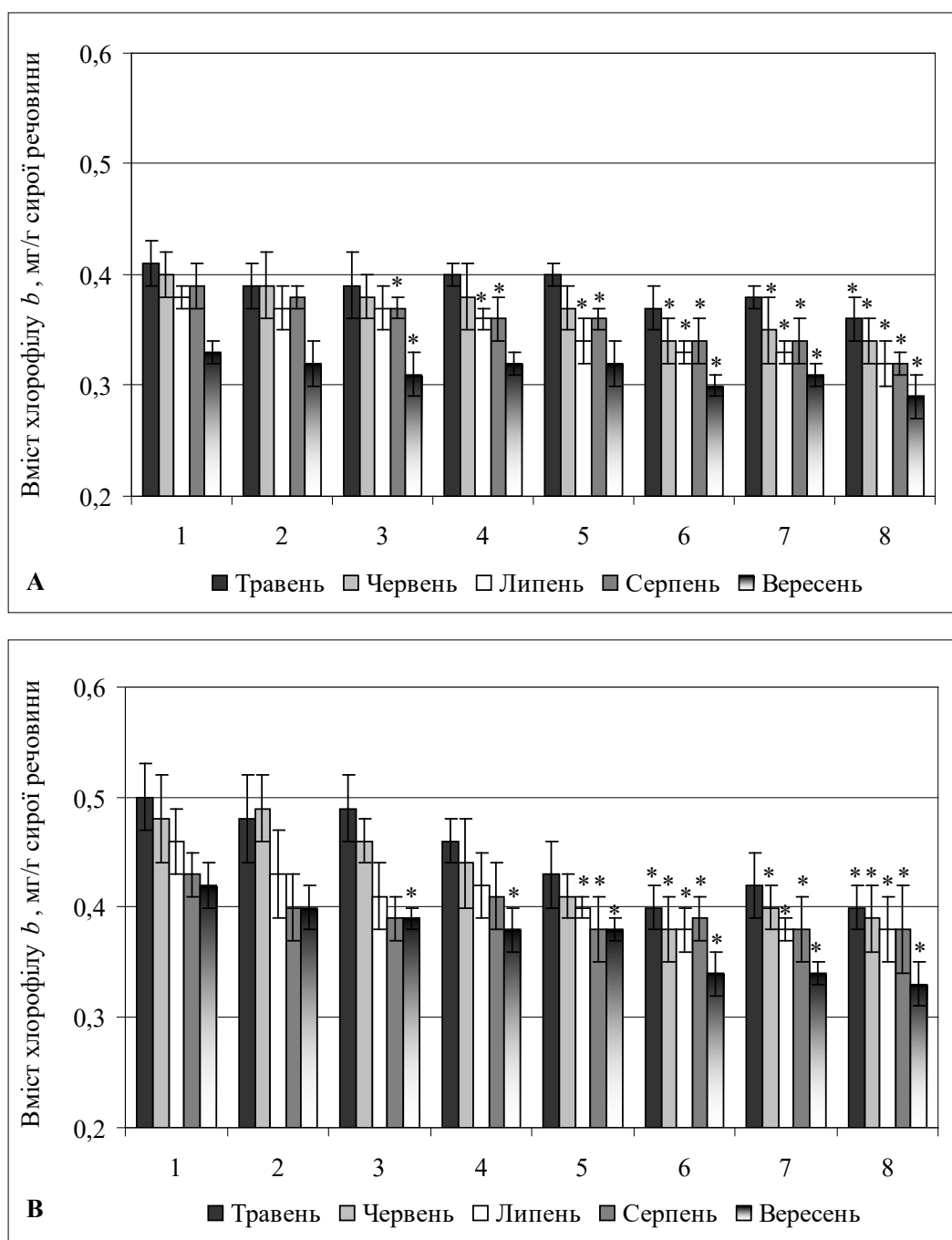


Рис. 3. Кількісний вміст хлорофілу *b*, мг/г сирої речовини у видів *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (В) з різних насаджень м. Кривий Ріг (1–8 – ділянки; $n = 5$; * – значення достовірно відрізняються від контролю за $P < 0,05$)

Дискусійними також виявилися дані, які стосуються ступеня стійкості фотосинтетичного апарату різних видів хвойних до впливів несприятливих чинників. Якщо низка дослідників [15] зазначає, що у двох видів ялин (*P. abies* та *P. pungens*) спостерігаються однакові наслідки пригнічення функціонування пігментного комплексу під дією токсикантів, то ми маємо підстави вказувати на кращу адапційну збалансованість вмісту пігментів у *P. pungens*.

Обов'язковим компонентом пігментної системи рослин є каротиноїди. Їх кількість у хвої дерев обох

видів роду *Picea* протягом п'яти місяців змінювалась від 0,20 до 0,34 мг/г сирої речовини; концентрація підвищувалася відповідно до збільшення рівня забруднення (рис. 4). Наприклад, найбільший їх вміст – 0,32 та 0,34 мг/г сирої речовини – спостерігається у хвої *P. abies* та *P. pungens* у вересні біля «АрселорМіттал Кривий Ріг», що на 18,5% та 21,4% більше порівняно з деревами КБС. Близькі значення були у рослин обох видів біля ПрАТ «ПівнГЗК» та біля автошляхів, що свідчить про їхню захисну реакцію на забруднювачі атмосферного повітря.

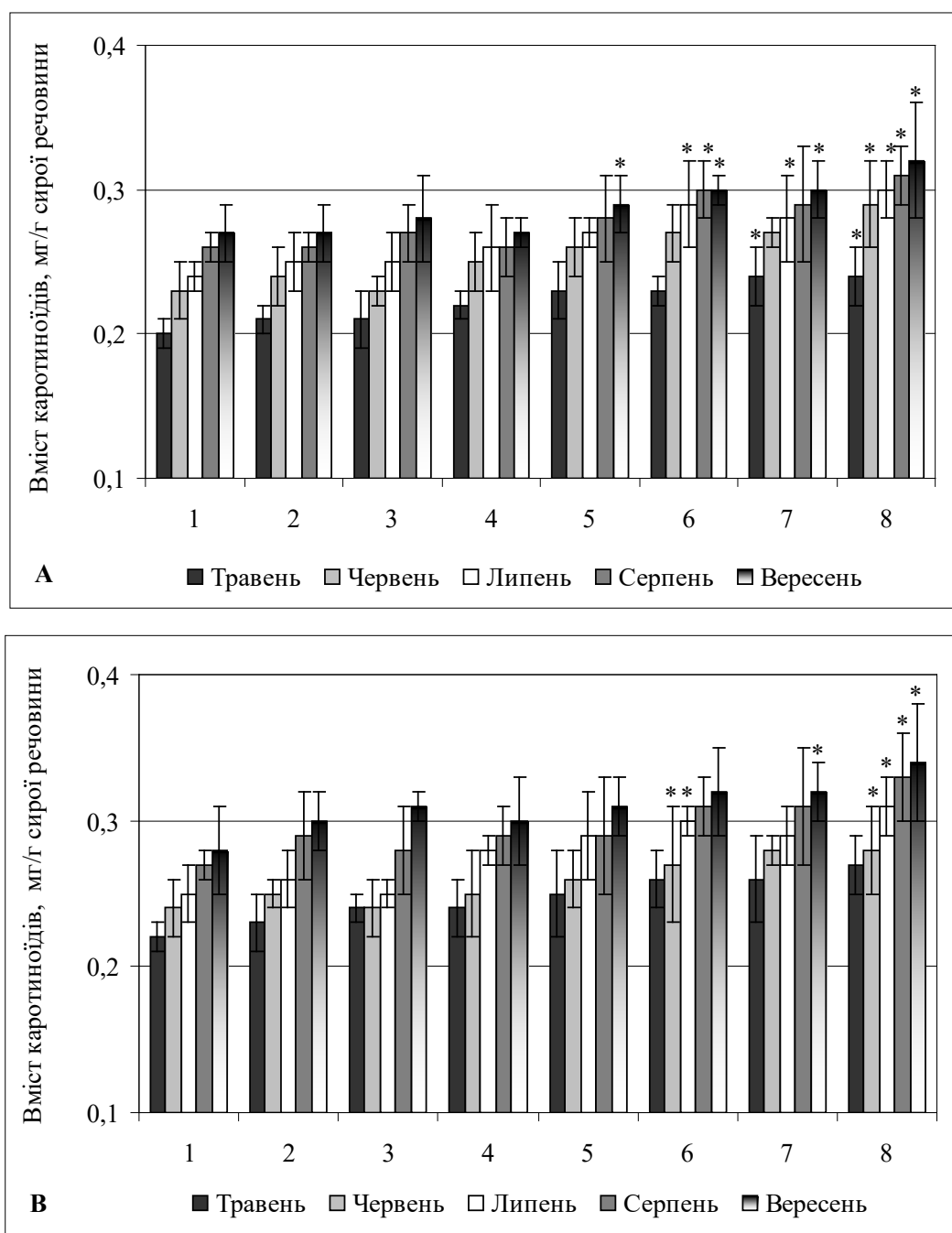


Рис. 4. Кількість каротиноїдів у хвої *Picea abies* (A) та *Picea pungens* (B) із різних насаджень м. Кривий Ріг (1–8 – ділянки; $n = 5$; * – значення достовірно відрізняються від контролю за $P < 0,05$)

Найменша кількість каротиноїдів у хвої дерев *P. abies* та *P. pungens* зафіксована на всіх ділянках у травні, особливо у рослин із насаджень КБС (0,20 мг/г сирової речовини та 0,22 мг/г сирової речовини). Протягом п'яти місяців зазначено несуттєву різницю вмісту каротиноїдів у видів роду *Picea* між дослідженими ділянками.

Вміст каротиноїдів у хвої інтродуцента *P. abies* з дендрарію м. Уссурійськ, де повітря можна вважати відносно «чистим», становив 0,19–0,22 мг/г сирової речовини [8]. У хвої дерев цього ж виду з насаджень

м. Осік в умовах атмосферного забруднення цементним пилом цей показник становив 0,21–0,25 мг/г сирової речовини [12]. Суттєво більших величин цей показник досягав біля автошляхів м. Дніпро у хвої *P. pungens*: 0,20–0,37 мг/г сирової речовини [1]. Такі дані, загалом, збігаються з нашими, які отримано під час досліджень на Криворіжжі. Ми вважаємо, що в нашому випадку збільшення вмісту каротиноїдів у пігментних комплексах дерев біля промислових підприємств та автошляхів, порівняно з об'єктами на малозабруднених ділянках, є їхньою захисною реакцією на техногенний вплив.

Діапазон умісту пігментів у фотосинтетичному апараті хвойних протягом року залежить від кліматичних умов і екологічних факторів урботехногенного середовища, а також від географічного положення. Наприклад, зменшення показників пігментів спостерігалось у Металургійному районі, що розташований у південній частині міста, де до того ж розташований металургійний комбінат – «рекордсмен» серед джерел забруднення повітряного басейну.

Отже, результати проведених нами досліджень впливу забруднення атмосфери викидами автомобілів і техногенними токсикантами промислових підприємств на пігментний комплекс хлорофілу хвойних рослин у насадженнях м. Кривий Ріг показали, що зі збільшенням рівня концентрації аерополутантів відбуваються суттєві зміни в кількості пігментів.

Головні висновки. Результати проведених досліджень показали, що промислові та автотранспортні викиди аерополутантів у м. Кривий Ріг значно впливають на пігментний комплекс хвої *P. abies* та *P. pungens*. Зазначено зниження вмісту хлорофілів *a* та *b* у хвої обох досліджених видів роду *Picea* протягом п'яти місяців порівняно з контрольною «чистою» територією. При цьому біль-

шою мірою зменшується кількість хлорофілу *a*, ніж хлорофілу *b*. Виявлено, що вміст хлорофілів *a* та *b* у хвої *P. abies* та *P. pungens* протягом вегетаційного періоду збільшувався за віддалення насаджень від промислових підприємств та автошляхів, досягаючи максимумів показників у травні, а мінімальних – у вересні, що пояснюється зниженням інтенсивності роботи фотосинтетичного апарату та несприятливим зниженням температури повітря. Встановлено, що зі збільшенням рівня забруднення вміст каротиноїдів зростає, що пов'язано з їхньою захисною функцією. Виявлено, що у *P. abies* вміст усіх пігментів має менші величини, ніж у *P. pungens*, що свідчить про більш стійкий асиміляційний апарат останньої.

Перспективи використання результатів дослідження. Оперативна реакція рослин на стрес, яка відбувається на фізіолого-біохімічному рівні, в короткі терміни дає змогу отримати повну інформацію про ступінь техногенного впливу на них. У зв'язку з вищенаведеним пропонується використовувати пігментні комплекси *P. abies* та *P. pungens* для оцінки стану забруднення повітряного середовища як цілорічно доступних біоіндикаторів.

Література

1. Бессонова В.П., Пономарьова О.А. Морфометричні показники та вміст пластидних пігментів хвої *Picea pungens* Engelm. залежно від відстані до автошляху. *Biosystems Diversity*. 2017. № 25 (2). С. 96–101. DOI: 10.15421/01171.
2. Білик О.В. Ялина колюча (*Picea pungens* Engelm.) у насадженнях Національного дендропарку «Софіївка» НАН України (інтродукція, розмноження, культивування). *Науковий вісник НЛТУ України*. 2006. № 16 (1). С. 44–48.
3. Гришко В.М., Шишиков Д.В., Пісковата О.М., Данильчук О.В., Mashtaler N.V. Важкі метали: надходження в ґрунти, переміщення в рослинах та екологічна небезпека. Донецьк: «Донбас», 2012. 304 с.
4. Кучеров К.І., Овчиннікова Н.Б. Сучасні проблеми екологічної безпеки гірничо-збагачувальних комбінованих робіт з навколишнього середовища. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. 2009. № 849. С. 90–96.
5. Сергейчик С.А. Эколого-физиологический мониторинг устойчивости сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в техногенной среде. *Биосфера*. 2015. Т. 7. № 4. С. 384–391.
6. Старикова Е.А., Воскресенская О.Л., Сарбаева Е.В. Изменение пигментного комплекса ели колючей в условиях городской среды. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 10 (52). С. 45–48. DOI: 10.18454/IRJ.2016.52.044.
7. Титова М.С. Особенности фотосинтезирующей активности хвои интродуцированных видов *Picea* A. Dietr. в дендрарии горнотаежной станции. *Фундаментальные исследования*. 2013. № 11. С. 128–132.
8. Титова М.С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis*. *Вестник ОГУ*. 2010. № 12 (118). С. 9–12.
9. Тужилкина В.В., Ладанова Н.В., Плюснина С.Н. Влияние техногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат сосны. *Экология*. 1998. № 2. С. 89–93.
10. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. Москва: «Мир», 1988. 348 с.
11. Bukharina I.L., Vedernikova K.E., Pashkova A.S. Morphophysiological traits of spruce trees in conditions of Izhevsk. *Forest Studies*. 2016. № 2. P. 96–106. DOI: 10.1134/S1995425516070027.
12. Lepedus H., Cesar V., Suver M. (2003). The annual changes of chloroplast pigments content in current- and previous-year needles of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) exposed to cement dust pollution. *Acta Botanica Croatica*. 2003. № 62 (1). P. 27–35.
13. Mikhailova T.A., Afanasieva L.V., Kalugina O.V., Shergina O.V., Taranenko E.N. Changes in nutrition and pigment complex in pine (*Pinus sylvestris* L.) needles under technogenic pollution in Irkutsk region, Russia. *Journal of Forest Research*. 2017. № 22. P. 386–392. DOI: 10.1080/13416979.2017.1386020.
14. Mosseler A., Major J.E., Simpson J.D., Daigle B., Lange K., Park Y.S., Johnsen K.H., Rajora O.P. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany*. 2001. № 78 (7). P. 928–940. DOI: 10.1139/b00-065.
15. Soukupova J., Rock B.N., Albrechtova J. Comparative study of two spruce species in a polluted mountainous region. *New Phytologist*. 2001. № 150 (1). P. 133–145. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2001.00066.x.
16. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophyll *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. 1994. № 144. P. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2.
17. Zarek M. Seasonal fluctuations of photosynthetic pigments content in *Taxus baccata* needles. *Dendrobiology*. 2016. № 76. P. 13–24. DOI: 10.12657/denbio.076.002.

ВПЛИВ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ВЕГЕТАТИВНИЙ БАЛАНС І ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗДОРОВ'Я ДІВЧАТ

Єрмішев О.В.

Донецький національний університет імені Василя Стуса
пр. Юності, 23, 21030, м. Вінниця
o.yermishev@donnu.edu.ua

Результати численних досліджень у різних країнах світу дають підстави вважати вплив кліматичних і погодних умов на людину надійно встановленим науковим фактом. Але існуюча незначна кількість досліджень з приводу впливу погодно-кліматичних умов на вегетативний баланс в організмі здорової людини повністю не розкриває механізми цього впливу. Саме вегетативній нервовій системі і перш за все її симпатичному відділу належить особлива роль у формуванні пристосувальних реакцій організму, розвитку метеотропних реакцій, тобто вегетативна нервова система є первинним місцем докладання метеорологічних впливів, що викликають зрушення в її рівновазі. Діяльність вегетативної нервової системи спрямована на забезпечення необхідного функціонального стану фізіологічних систем для адекватної реакції організму на вплив зовнішнього середовища. Оскільки функціональний фон ВНС у людей неоднаковий, то і реакції на метеорологічні зрушення схильні до значних коливань. Визначення вегетативного статусу та направленість вегетативної активності в організмі дівчат проводили за допомогою Функціонально-вегетативної діагностики (ФВД) за методом В. Макаца. Автор обстежив 849 дівчат, з яких 487 дівчат віком 7–11 років та 362 дівчини віком 16–20 років, ФВД проводилася ранком об 10⁰⁰–11⁰⁰. Оскільки стан вегетативної нервової системи є визначальним у розвитку метеотропних реакцій, було проведено аналіз даних дослідження вегетативного тонуусу у сонячну, мінливу та хмарну погоду і визначення сприятливих і несприятливих погодних умов для організму. Було виявлено, що за впливу метеорологічних факторів на організм практично здорових молодих дівчат спостерігаються вікові особливості проявів метеолабільності. У здоровому організмі зміни фізіологічних процесів і функціональної активності систем під впливом такого фактору як зміна погоди легко компенсуються, і особлива роль у цьому належить вегетативній нервовій системі, діяльність якої забезпечує адекватну реакцію організму на вплив факторів зовнішнього середовища. *Ключові слова:* погода, погодно-кліматичні умови, вегетативна нервова система, вегетативний баланс.

The influence of climate and weather conditions on the vegetative balance and functional health of girls. Yermishev O.

The results of numerous studies in different countries of the world give reason to consider the influence of climatic and weather conditions on a person a well-established scientific fact. However, there is little research on the effect of weather and climatic conditions on the vegetative balance in the body of a healthy person that does not fully reveal the mechanisms of this influence. It is the autonomic nervous system and, above all, its sympathetic department that plays a special role in the formation of adaptive reactions of the body, the development of meteorotropic reactions. That is, the autonomic nervous system is the primary place of application of the meteorological effects that cause a shift in its equilibrium. The activity of the autonomic nervous system is aimed at providing the necessary functional state of physiological systems for an adequate response of the organism to the environmental influence. Since the functional background of ANS in humans is different reactions to meteorological shifts are prone to significant fluctuations. The determination of vegetative status and the orientation of vegetative activity in the body of girls has been performed using functional vegetative diagnostics (FVD) according to the method of V. Makats. We surveyed 849 girls, 487 of which are the girls aged 7–11 years old and 362 – girls aged 16–20 years. FVD was conducted in the morning from 10.00 to 11.00. Since the state of the autonomic nervous system is decisive in the development of meteorotropic reactions, the analysis of the study data of vegetative tone in sunny, changing and cloudy weather as well as the determination of favorable and unfavorable weather conditions for the organism have been performed. The age-specific features of meteorolability have been found to be observed due to the influence of meteorological factors on the body of healthy young girls. In a healthy organism the changes in physiological processes and functional activity of systems under the influence of such a factor as weather change are easily compensated and a special role in this belongs to the autonomic nervous system whose activity provides an adequate response of the organism to the influence of environmental factors. *Key words:* vegetative nervous system, weather-climatic conditions, vegetative balance, weather.

Постановка проблеми. Ще в давні часи люди звернули увагу на зв'язок їх самопочуття з погодними умовами. Натепер відомо, що з режимом метеорологічних елементів пов'язані, наприклад, зміни народжуваності і смертності, спалаху таких хвороб як пневмонія, бронхіт, грип тощо. Результати численних досліджень у різних країнах світу дають підстави вважати вплив кліматичних і погодних умов на людину надійно встановленим науковим фактом [1].

Але існуюча незначна кількість досліджень з питань впливу погодно-кліматичних умов на вегетативний баланс в організмі здорової людини повністю не розкриває механізми цього впливу.

Актуальність дослідження. Зменшення негативних наслідків впливу погоди на людину – досить актуальне завдання для нашої країни. За деякими оцінками кількість людей із метеолабільністю серед практично здорового населення становить 25–45 %,

серед хворих дорослих – 55–70%, а серед хворих дітей – 40–60%. Тому знання про механізми вегетативної регуляції фізіологічних функцій в організмі людей за дії метеорологічних факторів дозволять розширити нашу уяву про вплив абіотичних екологічних факторів на організм людини і винайти методи профілактики підвищеної метеочутливості [2; 3].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Здоров'я розглядається як процес безперервного пристосування організму до умов навколишнього середовища. Його показниками є адаптаційні можливості організму. Перехід від здоров'я до хвороби пов'язаний зі зниженням адаптаційних можливостей, зменшенням здатності організму адекватно реагувати на вплив екологічних факторів. Загально визнаними критеріями здоров'я людини є показники функціонального стану основних систем адаптації організму: серцево-судинної, дихальної, нервової, імунної, що забезпечується і контролюється вегетативною нервовою системою [4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сучасному етапі дослідники приділяють велику увагу оцінці метеорологічних факторів із точки зору їх впливу на організм людини і вивченню процесів, пов'язаних із цим впливом [6].

Про те, що людина чутлива до зміни погоди, було відомо ще 1000 років тому. В системі заходів, спрямованих на підвищення ефективності профілактики і лікування хвороб, важливе значення має попередження патологічних реакцій, які виникають у зв'язку зі зміною метеорологічних чинників. Численні клінічні спостереження, досвід роботи як вітчизняних, так і зарубіжних вчених показали достовірно встановлені факти зв'язку між виникненням і загостренням низки патологічних станів (стенокардія, гіпертонічні кризи, інфаркт міокарда і мозку, бронхіальна астма, цукровий діабет, порушення психіки) і змінами атмосферних процесів, особливо в період циклонів, перед проходженням атмосферних фронтів, при зміні сонячної активності, магнітних варіаціях поля Землі тощо.

Більш ніж у половини дорослого населення зовнішні чинники сприяють прояву стану підвищеної метеочутливості, який характеризується здатністю організму людини реагувати на метеогеофізичні чинники у вигляді формування адаптивних геометеотропних реакцій [7]. Відомо, що питома вага здорових осіб із підвищеною метеочутливістю становить від 28 до 57,5% [8]. Він значно вище серед осіб із різними хронічними захворюваннями. Таким чином, метеочутливість – це реакція організму на зміну погодних умов, яка в науковій літературі проходить під назвою метеотропна реакція, що об'єднує всі види реакцій організму на дію погодних факторів.

Слід вказати на той факт, що виникнення метеотропної реакції може наступити раніше видимих змін погодних умов, у такому випадку йдеться про

сигнальну реакцію. Або ж метеотропна реакція може проявитися незабаром після зміни погоди, вона носить характер послідовної реакції [9]. У розвитку метеотропних реакцій виділяється три фази: 1) фаза клініко-фізіологічної адаптації організму до впливу атмосферно-фізичних чинників; 2) фаза підвищеної чутливості до цих чинників, яка проявляється зміною нервово-психічної, імунно-алергічної реактивності; 3) фаза дезадаптації до погоди, що виявляється у здорових людей різними функціональними синдромами, а у хворих – появою клінічних і субклінічних реакцій і загострень захворювань, тобто метеотропні реакції призводять до структурно-функціональних змін організму людини, порушення компенсаторних реакцій, які проявляються різними симптомо-комплексами [10]. У клітинах, тканинах і організмі загалом відбувається мобілізація механізмів, спрямованих на пом'якшення та стабілізацію процесів, які призводять до зміцнення адаптивних механізмів. Відомо, що реакцію організму на погоду обумовлюють стать, вік, зріст, маса тіла, статура, темперамент, характер харчування.

Вчені вважають, що розвиток метеотропних реакцій безпосередньо пов'язаний із вегетативною дисфункцією. Саме вегетативній нервовій системі (ВНС) і перш за все її симпатичному відділу належить особлива роль у формуванні пристосувальних реакцій організму, розвитку метеотропних реакцій, тобто вегетативна нервова система є первинним місцем докладання метеорологічних впливів, які викликають зрушення в її рівновазі.

Впливаючи на відповідні баро-, термо-, хемо- і інші рецептори, метеорологічні фактори викликають активізацію симпатичної нервової системи, її десинхронізацію, тобто внутрішню неузгодженість незалежних ритмів, що виражається пригніченням функції імунної системи, зміною терморегуляції, виникненням вегетативно-вісцерально-судинних порушень у дні з несприятливою погодою [11–13]. Діяльність вегетативної нервової системи спрямована на забезпечення необхідного функціонального стану фізіологічних систем для адекватної реакції організму на вплив зовнішнього середовища. Оскільки функціональний фон ВНС у людей неоднаковий, то і реакції на метеорологічні зрушення схильні до значних коливань.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Вивчити вплив метеорологічних факторів на тонус вегетативної нервової системи і функціональний стан організму та дати оцінку з точки зору їх впливу на організм людини.

Новизна. Вперше було встановлено вплив метеорологічних факторів на тонус вегетативної нервової системи і функціональний стан організму дівчат, проведено порівняльний аналіз особливостей вегетативного балансу та механізму адаптації дівчат 7–11 та 16–20 років.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Результати наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу вивчити механізми екологічної адаптації в організмі дівчат, що дасть можливість розробити заходи по запобіганню виникнення негативних впливів екологічних факторів.

Виклад основного матеріалу. Визначення вегетативного статусу та направленість вегетативної активності в організмі дівчат проводили за допомогою Функціонально-вегетативної діагностики (далі – ФВД) за методом В. Макаца. Методика і прилади для його здійснення офіційно дозволені МОЗ України «Нова медична техніка і нові методи діагностики» (№ 5 від 25.12.1991; № 1.08-01 від 11.01.1994) та Вченою радою МОЗ України (№ 1.08-01 від 11.01.1994) [14]. Автор обстежив 849 дівчат, з яких 487 дівчат були віком 7–11 років (молодший шкільний вік (МШВ) та 362 дівчини віком 16–20 років (юначий шкільний вік (ЮШВ)). ФВД проводилася зранку о 10⁰⁰–11⁰⁰.

Для ФВД використовується прилад ВІТА 01 М, напруга в замкнутому колі якого не перевищує рівнів мембранних потенціалів (1–5 мкА; 0,03–0,6 В) і який не потребує для своєї роботи зовнішніх джерел енергії. Він має два діагностичні електроди, базовий електрод-акцептор електронів (АЕ) – випуклу пластинку зі спеціального сплаву, попередньо покриту окисною плівкою (5×7 см) та 1 спарений діагностичний електрод (ДЕ – донор електронів) у вигляді посрібленої пари, які розташовані в ебонітових чашках діаметром 1 см і обгорнуті поролоновими прокладками.

Базовий електрод (АЕ) фіксується спеціальним паском через вологу прокладку (змочену фізіологічним розчином) у пупкової області (центральна мезогастральна ділянка (0-зона) з натягом середньої щільності для створення стабільних умов обстеження. Діагностичні електроди (ДЕ) також звожуються фізіологічним розчином. Процедура проводиться в ортостатичному положенні людини.

В процесі тестування електроди ДЕ під прямим кутом із незначним тиском (на рівні дотику) одночасно контактують із кожною парою симетричних функціонально-активних зон шкіри (ФАЗ) (ліва-права на кожній кінцівці) протягом 1–4 с. до одержання стабільних показників у мікроамперах. Через кожні три контакти з ФАЗ електроди повторно змочуються фізіологічним розчином. Загалом було вивчено біоелектричну активність 12-ти симетричних пар функціонально-активних зон шкіри (24 ФАЗ) – 12-ти на руках та 12-ти на ногах, які відображають функціональну активність симпатичної та парасимпатичної нервової системи [15].

Відомо, що зміни фізіологічного стану організму проявляються трансформацією електрошкірного опору в певних ФАЗ шкіри, які топографічно співпадають із ходом 12-ти класичних акупунктурних меридіанів (функціональних систем): сечовий міхур (BL), жовчний міхур (GB), шлунок (ST)

і тонкий кишківник (SI), стан лімфатичної системи (TE), товстий кишківник (LI), сума показників яких формує показник загальної симпатичної активності (СА) організму (стан діяльності симпатичної нервової системи); легені (LU), перикард (PC), серце (HT), селезінка і підшлункова залоза (SP), печінка (LR), нирки (KI), сума показників яких формує показник загальної парасимпатичної активності (ПА) організму (стан діяльності парасимпатичної нервової системи).

Для діагностики використовували кореляції між змінами електропровідності в 24-х репрезентативних ФАЗ (характеризували стан меридіана загалом) і стан класичних акупунктурних меридіанів, які «визначають» функціональний стан відповідних їм внутрішніх органів і систем організму. Отриманні в мкА дані ФВД переводили у відносні значення. Відносне співвідношення суми показників загальної симпатичної активності до парасимпатичної активності визначали як направленість вегетативного балансу. Числовим результатом цього співвідношення був вегетативний коефіцієнт kV. Одержані дані порівнювали з нормою і робили висновок про ступінь відхилення від неї, рівень змін вегетативного балансу [16].

Математико-статистична обробка результатів спостережень проводилася за допомогою методу непараметричної статистики, запропонованого Є.А. Дерев'янку для визначення величини зсуву досліджуваної функції [17].

Оскільки стан вегетативної нервової системи є визначальним у розвитку метеотропних реакцій, було проведено аналіз даних дослідження вегетативного тону у сонячну, мінливу та хмарну погоду і визначення сприятливих і несприятливих погодних умов для організму.

При дослідженні системно-вікової залежності в жіночій групі віком 7–11 років (молодший шкільний вік (МШВ) у сонячну, мінливу та хмарну погоду і порівнянні з показниками вікової фізіологічної норми виявлено, що вплив погодно-кліматичних умов на організм призводить до змін функціональної активності і гомеостазу організму (Рис. 1). Чітко простежується, що показники активності функціональних систем (ФС) за впливу сонячної, мінливої та хмарної погоди дублюють лінію норми, відрізняючись амплітудою, тобто мають однакову направленість. Причому наявність достовірних змін досліджуваних параметрів показників активності ФС із лінією норми свідчить, що максимальні розбіжності відбувалися за впливу мінливої погоди на організм.

За впливу мінливої погоди спостерігаються максимальні відхилення показників активності ФС по відношенню до функціонально-вікової норми і характеризуються підвищенням показників активності в ФС легень (LU), тонкого кишківника (SI), селезінки і підшлункової залози (SP), сечового міхура (BL) і зниженням стану перикарду (PC),

лімфатичної системи (TE), товстого кишківника (LI), печінки (LR) та нирок (KI) по відношенню до зони вікової функціональної норми.

В хмарну погоду спостерігається підвищення функціональної активності в ФС легень (LU), сечового міхура (BL) і зниження в ФС стану товстого кишківника (LI), тонкого кишківника (SI), селезінки і підшлункової залози (SP), печінки (LR).

В сонячну погоду спостерігається незначне підвищення функціональної активності в ФС легень (LU), серця (HT), тонкого кишківника (SI), лімфатичної системи (TE) і зниження в ФС печінки (LR), нирок (KI), жовчного міхура (GB) та шлунку (ST). Відомо, що ФС сечового міхура (BL) є пейсмейкером, який забезпечує симпатичну направленість вегетативного балансу організму, а ФС селезінки і підшлункової залози (SP) – пейсмейкером парасимпатичної нервової системи.

В сонячну погоду активність цих ФС не змінюється, що свідчить про еволюційно-екологічний характер цього абіотичного екологічного фактору. Загалом незначний хаотичний малюнок функціональних залежностей може бути пов'язаний фізіологічно-функціонально незрілістю процесів адаптації та швидкістю їх формувань і стабілізації в організмі дівчат віком 7–11 років.

При дослідженні системно-вікової залежності в жіночій групі віком 16–20 років (юнацький шкільний вік (ЮШВ) у сонячну, мінливу та хмарну погоду і порівнянні з показниками вікової фізіологічної норми виявлено, що вплив погодно-кліматичних умов на організм призводить до змін функціональної активності і гомеостазу організму (Рис. 2). Чітко простежується, що показники активності функціональних систем (ФС) за впливу сонячної, мінливої та хмарної погоди дублюють лінію норми, мають

однакову направленість і характеризуються значною амплітудою змін активності ФС.

На відміну від показників жіночої групи віком 7–11 років наявність достовірних змін досліджуваних параметрів показників активності ФС із лінією норми свідчить, що максимальні розбіжності відбувалися за впливу хмарної погоди на організм. За такої погоди спостерігаються максимальні відхилення показників активності ФС по відношенню до функціонально-вікової норми, які характеризуються підвищенням показників активності в ФС легень (LU), стану перикарду (PC), тонкого кишківника (SI), селезінки і підшлункової залози (SP), сечового міхура (BL) і зниження стану лімфатичної системи (TE), товстого кишківника (LI), печінки (LR), нирок (KI) та жовчного міхура (GB) відносно зони вікової функціональної норми. Аналогічні, але менш виражені зміни активності ФС відбуваються за дії мінливої та сонячної погоди, причому за дії сонячної погоди амплітуда відхилень показників активності ФС відносно функціонально-вікової норми виявляється мінімальною.

Більш хаотичний малюнок змін досліджуваних параметрів показників активності ФС відносно лінії вікової функціональної норми може бути пов'язаний із особливостями процесів адаптації в організмі дівчат 16–20 років. Швидкий темп морфологічних і функціональних змін розвитку всіх органів і систем у цей період пов'язаний зі статевими гормонами та активацією репродуктивної функції.

Відомо, що відносне співвідношення суми показників загальної симпатичної активності до парасимпатичної активності визначає направленість вегетативного балансу. Числовим результатом цього співвідношення є вегетативний коефіцієнт kV , за рівнем якого визначають вегетативну

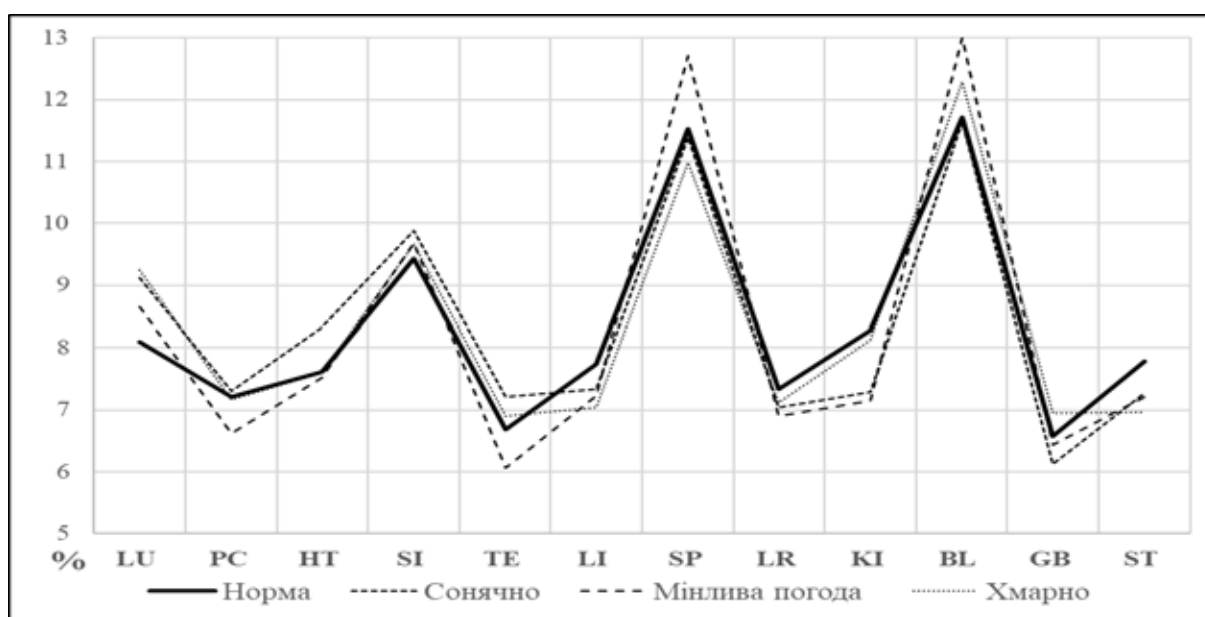


Рис. 1. Системно-вікова залежність в організмі у дівчат віком 7–11 років за впливу різних погодних умов, $p \leq 0,05$

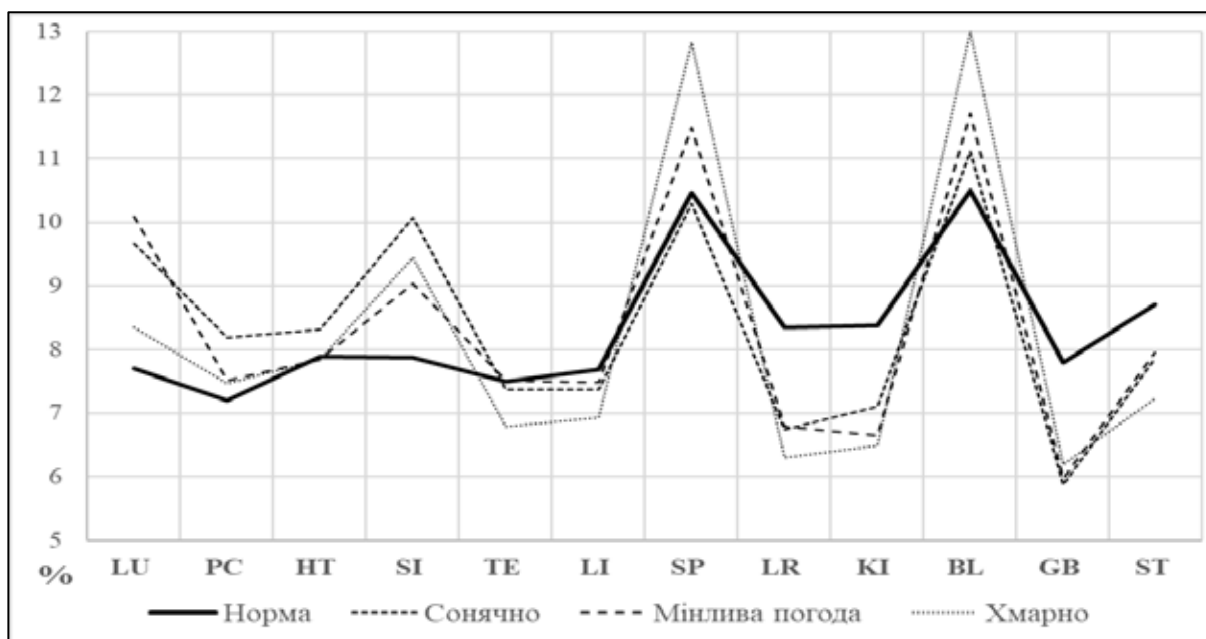


Рис. 2. Системно-вікова залежність в організмі дівчат віком 16–20 років за впливу різних погодних умов, $p \leq 0,05$

Таблиця 1

Вегетативний баланс в організмі дівчат за дії сонячної, мінливої та хмарної погоди

Вегетативна направленість	Сонячна погода		Мінлива погода		Хмарна погода	
	МШВ Σ 287 – 100 %	ЮШВ Σ 193 – 100 %	МШВ Σ 138 – 100 %	ЮШВ Σ 58 – 100 %	МШВ Σ 62 – 100 %	ЮШВ Σ 111 – 100 %
Парасимпатична активність (kV до 0,86)	31	24,4	12,3	34,5	14,5	18,9
Функціональна рівновага (kV 0,87 – 1,13)	53,2	60,1	47,8	48,3	46,7	75,6
Симпатична активність (k-V >1,14)	15,7	15,6	39,9	17,2	28,7	5,4

дисперсію (розсіювання) за критичними зонами, тобто співвідношення парасимпатичної активності (kV до 0,86), функціональної рівноваги (kV 0,87-1,13) та симпатичної активності (k-V >1,14). Ці показники можна використовувати для функціонально-екологічної оцінки впливу факторів довкілля на організм людини.

З отриманого масиву даних про стан функціонального здоров'я дитячого населення певної території та усередненої інформації про відхилення вегетативної нервової системи можна проводити аналіз впливу на людину як абіотичних факторів, так і можливих екологічних проблем території, ступінь її екологічної порушеності. За розробленими автором критеріями функціональне здоров'я людей знаходиться в зоні умовної норми, коли 70 % входять в зону функціональної рівноваги (ФР) і по 15 % – в зону парасимпатичної активності та симпатичної активності [14]. При аналізі отриманих даних виявлено, що жодна вікова група жінок не підпадає під ці вимоги, що свідчить про порушення функціональ-

но-вегетативного здоров'я та дизадаптації організму за впливу екзо- та ендоекологічних факторів.

При аналізі отриманих результатів у групі спостереження у дівчат 7–11 років було виявлено, що за дії сонячної погоди в організмі дівчат виникає виражена парасимпатикотонія, але і спостерігається найбільша кількість дівчат у зоні функціональної рівноваги. За мінливої погоди 39,9% дівчат знаходяться в зоні симпатичної активності, а за мінливої – 28,7%. Саме симпатичному відділу вегетативної нервової системи належить особлива роль у формуванні пристосувальних реакцій організму до умов зовнішнього середовища.

При аналізі отриманих результатів у групі спостереження у дівчат 16–20 років було виявлено, що за дії хмарної та сонячної погоди в зоні функціональної рівноваги знаходиться відповідно 75,6% та 60,1% дівчат, спостерігається незначна парасимпатикотонія за дії сонячної погоди. Високий рівень парасимпатичної активності є захисною компенсаторною реакцією нейроендокринних механізмів регуляції

на тривалий характер дії сукупності несприятливих антропо-екологічних чинників, яка на тлі виснаження мобілізуючого впливу симпатичного відділу вегетативної нервової системи набуває характеру дизрегуляції та стає стійкою.

У здоровому організмі зафіксовано патологічні зрушення фізіологічних процесів під впливом такого фактору як зміна погоди, які легко компенсуються. У хворому організмі чи за дії двох і більше комбінованих екологічних факторів компенсаторні резерви виснажені, тому розвиваються різного ступеня вираженості негативні реакції, які отримали назву метеопатичних. Наростання патофізіологічних змін зазвичай прямо пропорційне інтенсивності дизадаптаційних процесів функціональних систем організму. При тривалих і повторних діях погодно-метеорологічних факторів виникає реакція органів внутрішньої секреції, що розглядається як «реакція напруги» загального адаптаційного синдрому. Під їх впливом змінюються ферментативні процеси, інтенсивність гліколізу, рівень основного обміну, порушується структура колоїдів крові і тканин [18; 19].

Багато адаптаційних процесів недоступні безпосередньому спостереженню. Такі процеси протікають в організмі здорової і хворої людини протягом усього життя здебільшого повільно, безперервно, з послідовністю періодів. На розвиток адаптації впливають генетичні програми, гострі і хронічні захворювання, лікувальні заходи [20]. Хвороба порушує здатність організму пристосовуватися до мінливих погодних умов. Таким чином, знання про

метеочутливість необхідні для діагностики стану підвищеної метеочутливості, метеопатологічних реакцій, для їх профілактики. Профілактика включає комплекс заходів, спрямованих на активацію захисних та адаптаційних механізмів, на зниження підвищеної чутливості організму до впливу навколишнього середовища.

Головні висновки:

1. Проведене дослідження впливу метеорологічних факторів на організм практично здорових молодих дівчат дає підставу говорити про вікові особливості проявів метеолабільності.

2. У здоровому організмі зміни фізіологічних процесів і функціональної активності систем під впливом такого фактору як зміна погоди легко компенсуються.

3. Особлива роль належить вегетативній нервовій системі, діяльність якої забезпечує адекватну реакцію організму на вплив факторів зовнішнього середовища.

4. Знання про метеочутливість і метеопатичні реакції необхідні для розробки як профілактичних, так і лікувальних заходів, спрямованих на підвищення неспецифічної резистентності та адаптаційних механізмів організму, на нормалізацію функцій органів і систем як основу для нормальних реакцій при несприятливих змінах зовнішнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. Буде проведено подальше дослідження впливу екологічних факторів як абіотичних, так і антропогенних метеопатичних реакцій при різних патологічних станах.

Література

1. Гордиевский А.Ю., Гордиевская Н.А. Влияние метеоусловий как экологического фактора вегето-соматических показателей организма дошкольников. Самарский научный вестник. 2016. № 1 (14). С. 23–26.
2. Григорьев К.И., Поважная Е.Л. Проблема повышенной метеочувствительности у детей и подростков. Российский вестник перинатологии и педиатрии, 2018; 63:(3). С. 84–90.
3. Коровкина А.Н. Оценка взаимосвязи функционально-динамического состояния вегетативной нервной системы с регуляторной тонусом периферического отдела сосудов верхних конечностей. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2016. № 4. С. 39–45.
4. Jänig W. Integrative Action of the Autonomic Nervous System. Neurobiology of Homeostasis. Cambridge University Press. 2008. 636 p.
5. Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof P., Linden P.J., Hanson C.E. Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. UK, Cambridge : Cambridge University Press, 2007. С. 163.
6. Куценко Т.В. Вплив метеорологічних факторів на показники організму дітей різного віку. Вісник Черкаського університету. 2015. № 2 (335). С. 67–71.
7. Григорьев А.И., Григорьев К.И. Роль неблагоприятных факторов окружающей среды в формировании нарушений адаптации у детей и подростков. Медицинская сестра. 2018. № 7 С. 32–38. <https://doi.org/10.29296/25879979-2018-07-07>.
8. Peng Y.-F., Tang J.-H., Fu Y., Fan I.-c., Hor M.-K., Chan T. Analyzing Personal Happiness from Global Survey and Weather Data: A Geospatial Approach. Plos one. 2016. P. 1–17. DOI:10.1371/journal.pone.0153638.
9. Yabluchanskiy M.I., Bychkova O.Y., Lysenko N.V. et al. From physiological to pathological meteosensitivity. Journal of V.N. Karazin`KhNU. 2013. № 1090. P. 5–8.
10. Chmura H.E., Glass T.W., Williams C.T. Biologging Physiological and Ecological Responses to Climatic Variation: New Tools for the Climate Change Era. Ecology and Evolution. 2018. Vol. 6. Article 92. doi: 10.3389/fevo.2018.00092.
11. Ходаков В.Е., Соколова Н.А., Чёрный С.Г. Влияние природно-климатических факторов на социально-экономические и производственные системы : монография. Гринь Д.С., 2012. 354 с.
12. Udovenko I.L., Hechumyan A.F., Sidorenko N.Yu., Nadeina O.S. Evaluation of Natural and Climatic Resources in Order to Develop Preservation of Health Technology and Human Adaptation to Anthropogenically. European Journal of Medicine. Series B. 2015. Vol. 2. Is. 1. P. 60–76. DOI: 10.13187/ejm.s.b.2015.2.60.

13. Gosling S.N., Hondula D.M., Bunker A., Ibarreta D., Liu J., Zhang X., Sauerborn R. Adaptation to Climate Change: A Comparative Analysis of Modeling Methods for Heat-Related Mortality. *Environmental Health Perspectives*. 2017. 087008-1. doi.org/10.1289/EHP634.
14. Макац В.Г., Курик М.В., Петрук В.Г., Нагайчук В.І., Єрмішев О.В. Основи функціонально-екологічної експертизи (невідомо вегетологія). Том VI : монографія. Вінниця : Наукова ініціатива, 2018. 128 с.
15. Yermishev Oleh V. Peculiarities of functional-vegetative homeostasis of preschool-age females (first childhood). *Biologija*. 2019. Vol. 65. № 1. P. 56–65. DOI: <https://doi.org/10.6001/biologija.v65i1.3987>.
16. Макац В.Г., Нагайчук В.І., Макац С.Ф., Єрмішев О.В. Невідома китайська голкотерапія (проблеми вегетативного патогенезу). Том IV : монографія. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. 286 с.
17. Интегральная оценка работоспособности при умственном и физическом труде / под ред. Е.А. Деревянко. М. : Экономика, 1990. 109 с.
18. Новиков В.С., Сороко С.И. Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. СПб : Политехника-принт. 2017. 476 с.
19. Parashar R., Amir M., Pakhare A., Rathi P. Age Related Changes in Autonomic Functions. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2016. Vol. 10. Issue 3. P. 11–13. DOI: 10.7860/JCDR/2016/16889.7497.
20. Henderson K., Loreau M. How ecological feedbacks between human population and land cover influence sustainability. *PLoS Comput Biol*. 2018. 14(8): e1006389.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО ЛЁГКОГО БЕТОНА НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Кравченко С.А., Постернак А.А., Агаева О.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ул. Дидрихсона, 4, 65029, г. Одесса

alex.bk@ukr.net

Широкое применение отходов и вторичных продуктов промышленности для производства бетонных и железобетонных изделий, а также снижение массы строительных конструкций, экономия сырья и топливно-энергетических ресурсов являются основными направлениями снижения материалоемкости строительства. Одним из способов является применения многокомпонентного вяжущего, в состав которого, кроме уменьшенного количества портландцемента, входят негашеная известь, зола-унос ТЭЦ и химические добавки. Представляет интерес исследование физико-механических свойств таких бетонов. В работе приведены результаты экспериментальных исследований по определению верхней f_{cre}^v и нижней f_{cre}^0 границы микротрещинообразования конструкционного легкого бетона на пористых заполнителях. Определение границ области микротрещинообразования проводилось ультразвуковым методом под нагрузкой осевого сжатия. Положение параметрических точек f_{cre}^0 и f_{cre}^v определяли графически по зависимостям между сжимающими напряжениями и временем прохождения ультразвукового импульса; дифференциальным коэффициентом поперечных деформаций; коэффициентом объемных деформаций. Для количественной оценки зависимостей параметрических точек f_{cre}^0 и f_{cre}^v от исследуемых факторов состава составлены квадратичные уравнения регрессии. Увеличение расхода многокомпонентного вяжущего повышает границы микротрещинообразования f_{cre}^0 и f_{cre}^v в среднем на 14 % и 6 %. Существуют оптимальные расходы многокомпонентного вяжущего, зависящие от объемной концентрации керамзитового гравия в смеси, при которых параметрическая точка f_{cre}^0 принимает минимально возможные значения. Для каждого из видов бетона были получены линейные уравнения регрессии f_{cre}^0 / f_{cd} и f_{cre}^v / f_{cd} от обобщенного фактора состава, а также от прочности бетона. *Ключевые слова:* микротрещинообразование, конструкционный, лёгкий бетон, многокомпонентное вяжущее.

Дослідження мікротріщиноутворення конструкційного легкого бетону на пористих заповнювачах. Кравченко С.А., Постернак О.О., Агаєва О.А.

Широке застосування відходів і вторинних продуктів промисловості для виробництва бетонних і залізобетонних виробів, а також зниження маси будівельних конструкцій, економія сировини та паливно-енергетичних ресурсів є основними напрямками зниження матеріалоемності будівництва. Одним зі способів є застосування багатоконпонентного в'язучого, до складу якого, окрім зменшеної кількості портландцементу, належить негашене вапно, зола-унос ТЕЦ і хімічні домішки. Інтерес викликає дослідження фізико-механічних властивостей таких бетонів. У роботі наведені результати експериментальних досліджень щодо визначення верхньої f_{cre}^v та нижньої f_{cre}^0 границі мікротріщиноутворення конструкційного легкого бетону на пористих заповнювачах. Визначення границь області мікротріщиноутворення проводилось ультразвуковим методом під навантаженням осевого стиску. Положення параметричних точок f_{cre}^0 і f_{cre}^v визначали графічно за залежностями між стискаючими напруженнями та часом проходження ультразвукового імпульсу; диференційним коефіцієнтом поперечних деформацій; коефіцієнтом об'ємних деформацій. Для кількісної оцінки залежностей параметричних точок f_{cre}^0 і f_{cre}^v від досліджуваних факторів складені квадратичні рівняння регресії. Збільшення витрат багатоконпонентного в'язучого підвищує границі мікротріщиноутворення f_{cre}^0 і f_{cre}^v у середньому на 14 % і 6 %. Існують оптимальні витрати багатоконпонентного в'язучого, які залежать від об'ємної концентрації керамзитового гравію в суміші, при яких параметрична точка f_{cre}^0 приймає мінімально можливі значення. Для кожного з видів бетону були отримані лінійні рівняння регресії f_{cre}^0 / f_{cd} і f_{cre}^v / f_{cd} від узагальненого складу, а також від міцності бетону. *Ключові слова:* мікротріщиноутворення, конструкційний, легкий бетон, багатоконпонентне в'язуче.

The study of microcrack formation of structural light weight concrete with porous aggregates. Kravchenko S., Posternak O., Ahaieva O.

The wide use of wastes and secondary products of industry for concrete and reinforced concrete item production, as well as reduction of mass of building structures, saving of raw materials, fuel and energy resources are the main directions of reduction of material consumption in construction. One method is application of the multicomponent binder which contains in its composition reduced amount of portland cement, unslaked lime, fly ash of combined heat and power plant and chemical additives. Research of physical and mechanical properties of such concretes is of interest. This paper presents the results of experimental researches on selection on the study of the upper f_{cre}^v and lower f_{cre}^0 boundaries of microcrack formation light weight concrete with porous aggregates. The boundaries of the microcrack formation area were determined by the ultrasonic method under axial compression load. Position of parametric points f_{cre}^0 and f_{cre}^v was determined graphically from the dependencies between the compressive stress and the time of the ultrasonic pulse; differential coefficient of lateral deformation; coefficient of volumetric deformations. The quadratic

regression equation were composed to quantitative assessment of dependence parametric points f_{cr}^0 and f_{cr}^V from the investigated factors. Increasing the consumption of the multicomponent binder increases the boundaries of microcrack formation f_{cr}^0 and f_{cr}^V by 14% and 6% on average, respectively. There are optimal rates of multicomponent binder depending on the volume concentration of the ceramic gravel in the mixture, at which the parametric point f_{cr}^0 takes the minimum possible values. For each of the accepted ages of concrete, linear regression equations f_{cr}^0/f_{cd} and f_{cr}^V/f_{cd} were obtained from the generalized composition factor and also from the strength of the concrete. *Key words:* microcrack formation, constructive, light weight concrete, multicomponent binder.

Постановка проблеми. Исследования и производственный опыт показывают, что преимущества строительства предусматриваются применением легких бетонов, особенно в тех случаях, когда имеется достаточно мощная база для производства местных пористых заполнителей [1]. Основными направлениями снижения материалоемкости в строительстве является снижение массы строительных конструкций на основе применения эффективных материалов; более широкое использование промышленных отходов; экономия сырья, топливно-энергетических ресурсов в производстве материалов и конструкций. Особое значение имеет широкое внедрение в производство бетонных и железобетонных изделий отходов и вторичных продуктов промышленности [2].

Актуальность исследования. Вопросы совершенствования структуры и свойств легких бетонов, а также их особенности и преимущества на смешанных заполнителях и композиционных вяжущих нашли отражение во многих отечественных и зарубежных исследованиях. Увеличить объем изготавливаемого бетона, снизив стоимость, можно путем применения многокомпонентного вяжущего, в состав которого, кроме уменьшенного количества портландцемента, входят негашеная известь, зола-унос ТЭЦ и химические добавки [1].

Как известно, полное представление о физико-механических свойствах бетонов не возможно без анализа микроразрушений их структуры в процессе нагружения. При этом область напряженного состояния, находящаяся в границах микроразрушений, имеет принципиальное значение для оценки многих важных процессов деформирования и прочности бетона.

Цель исследований заключалась в получении экспериментальных данных верхней и нижней границы микротрещинообразования конструкционного легкого бетона на пористых заполнителях.

Характеристика используемых материалов и методика исследований. В Одесской государственной академии строительства и архитектуры разработана технология малоцементных бетонов на основе 4-компонентного вяжущего содержащего, кроме портландцемента и молотой негашеной извести, также активную минеральную добавку (зола-уноса) и гипс [3; 6].

Определение нижней f_{cr}^0 и верхней f_{cr}^V границ области микротрещинообразования конструкционных бетонов проводилось ультразвуковым методом в соответствии с методикой [4] с помощью прибора УК-10 ПМС параллельно с определением

их прочностных и деформативных характеристик. Измерение времени прохождения ультразвуковых импульсов τ_σ через опытный образец с ростом нагрузки проводилось в перпендикулярном и диагональном по отношению к направлению осевого сжатия. В первом случае ультразвуковые щупы устанавливались на противоположных гранях образца строго друг против друга, а показания прибора снимали при трех положениях щупов: сверху, в середине и внизу образца. Во втором случае щупы устанавливали также на противоположных гранях образца: один сверху, другой – внизу. Таким образом охватывалась большая область одноосного напряженного состояния бетонной призмы.

Результаты исследований. Границы микротрещинообразования связывают с прочностью бетона и параметрами структуры [5]. Сравнение приведенных в ряде работ значений напряжений, соответствующих началу трещинообразования в материале, показывает, что величины их колеблются в широких пределах – от 0,5 до 0,8 f_{cd} . Поэтому определенный интерес вызывает установление параметрических точек f_{cr}^0 (нижняя граница микротрещинообразования) и f_{cr}^V (верхняя условная граница микротрещинообразования) процесса деформирования керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем (МКВ) под нагрузкой осевого сжатия.

Изучение структурных изменений в исследуемом керамзитобетоне в процессе его нагружения проводили, решая следующие задачи:

1) выявление характера и степени влияния возраста керамзитобетона на изменение границ микротрещинообразования, характеризуемых параметрическими точками f_{cr}^0 и f_{cr}^V , в зависимости от факторов состава;

2) установление и анализ статистически надежных зависимостей $f_{cr}^0 = f(\text{МКВ}, r, B, t)$ и $f_{cr}^V = f(\text{ЦИЗ}, r, B, t)$.

Для решения поставленных задач использовали результаты опытов по определению параметрических точек f_{cr}^0 и f_{cr}^V . Положение параметрических f_{cr}^0 и f_{cr}^V определяли графически по зависимостям между сжимающими напряжениями σ (относительным уровнем напряжений η) и:

- а) временем прохождения ультразвукового импульса Δt , мкс;
- б) дифференциальным коэффициентом поперечных деформаций $\Delta \nu$;
- в) коэффициентом объемных деформаций $\Delta \theta$.

Для характеристики происходящих в структуре бетона изменений были сопоставлены относитель-

ные объемные деформации бетона θ , дифференциальное изменение объема $\Delta\theta$ и изменение дифференциального коэффициента поперечной деформации $\Delta\nu$ с диаграммой состояния материала, выраженной кривой изменения времени прохождения ультразвуковых колебаний в бетоне.

Анализ диаграмм состояний исследуемых составов керамзитобетона в возрастах п.п. и 28 сут. показывает, что начальные стадии нагружения вплоть до уровня напряжений $f_{\text{кр}}^0 / f_{\text{cd}}$ не вызывают образования микротрещин, которые можно было бы обнаружить косвенным путем измерения поперечных и продольных деформаций или скорости распространения ультразвуковых импульсов. Значение дифференциального коэффициента поперечных деформаций $\Delta\nu$ при этом не возрастает, приращение объема образца $\Delta\theta$ остается практически постоянным, а время прохождения ультразвуковых импульсов уменьшается, что свидетельствует об уплотнении материала.

Рост величины $\Delta\nu$ и увеличение времени распространения ультразвукового импульса является признаком начала микротрещинообразования, то есть превышение уровня $f_{\text{кр}}^0$. При дальнейшем нагружении развитие микротрещин ускоряется. Поперечные деформации растут быстрее продольных, то есть уменьшение объема сжимаемого образца замедляется, а время прохождения ультразвуковых импульсов увеличивается.

Поскольку относительное изменение объема по сравнению с первоначальным равно $\theta = \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2$, то минимуму объема отвечает условие $\Delta\theta = 0$ или $\Delta\nu = 0,5$, что означает равенство величин объемных деформаций сжатия и расширения материала. Это условие используется для определения второй параметрической точки $f_{\text{кр}}^v$, рассматриваемой как верхняя граница микроразрушений [5]. При этом анализ объемных относительных деформаций θ показывает, что вначале с ростом нагрузки объем тела уменьшается, а к концу загрузки начинает увеличиваться в связи с изменением знака его приращения. Такое состояние керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем под действием нарастающего напряжения сжатия характерно для всех исследуемых составов, хотя количественные оценки параметрических точек $f_{\text{кр}}^0$ и $f_{\text{кр}}^v$ равные.

Для количественной оценки зависимостей параметрических точек $f_{\text{кр}}^0$ и $f_{\text{кр}}^v$ от исследуемых факторов состава – расхода многокомпонентного вяжущего (x_1) и агрегатно-структурного фактора γ (x_2) в возрасте керамзитобетона t (x_3) – (п.п.), 28 сут. использовали квадратичные уравнения регрессии, которые с учетом статистически незначимых коэффициентов выглядят так:

$$f_{\text{кр}}^0 = 0,491 + 0,036x_1 - 0,028x_2 + 0,029x_3 - 0,023x_1x_2 + 0,009x_1x_3 - 0,026x_2x_3 + 0,027x_1^2 - 0,011x_2^2 + 0,021x_3^2; \quad (1)$$

$$f_{\text{кр}}^v = 0,928 + 0,029x_1 - 0,027x_2 + 0,005x_3 + 0,009x_1x_2 + 0,009x_1x_3 - 0,017x_2\tilde{\theta}_3 - 0,017x_2x_3 - 0,003x_1^2 + 0,01x_2^2 + 0,018x_3^2; \quad (2)$$

Полученные уравнения по F-критерию Фишера адекватны ($F_{\text{ад}} < F_{\text{табл.}}$) и имеют информационную ценность ($F_{\text{инф.}} > F_{\text{табл.}}$). Графическая интерпретация указанных зависимостей приведена на рис. 1 и 2.

Анализ уравнений (1), (2) и графиков на рис. 1 и 2. показывает, что увеличение расхода многокомпонентного вяжущего в диапазоне изменения этого фактора повышает границы микротрещинообразования $f_{\text{кр}}^0$ и $f_{\text{кр}}^v$ в среднем на 14 % и 6 %. Из рис. 1 видно, что существуют оптимальные расходы многокомпонентного вяжущего, зависящие от объемной концентрации керамзитового гравия в смеси, при которых параметрическая точка $f_{\text{кр}}^0$ принимает минимально возможные значения. Для параметрической точки $f_{\text{кр}}^v$ такая закономерность не наблюдается.

Увеличение расхода многокомпонентного вяжущего монотонно повышает верхнюю границу области микротрещинообразований, что связано с увеличением прочности растворной составляющей керамзитобетона. Косвенными подтверждением этого является повышение границ области микротрещинообразования растворной составляющей керамзитобетона (кривая 3 на рис. 1 и 2).

Проведенный математико-статистический анализ выявил возможность использования линейного выражения для описания достаточно надежной статистической связи между $Y = f_{\text{кр}}$ и $x = [(В/МКВ) + \gamma]$; нулевая гипотеза о равенстве нулю генерального коэффициента корреляции ($H_0: \rho_{xy} = 0$) отвергнута в пользу альтернативной при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что свидетельствует о наличии линейной связи между $f_{\text{кр}}$ и $[(В/МКВ) + \gamma]$ в каждом из принятых возрастов бетона.

В результате применения регрессионного анализа для каждого из принятых возрастов бетона были получены линейные уравнения регрессии:

$$f_{\text{кр}}^0 (\text{п.п.}) = 0,6956 - 0,2207 (В/ЦИЗ) + \gamma, \quad (3)$$

$$f_{\text{кр}}^0 (28) = 0,7893 - 0,3197 (В/ЦИЗ) + \gamma, \quad (4)$$

$$f_{\text{кр}}^v (\text{п.п.}) = 0,9726 - 0,0457 (В/ЦИЗ) + \gamma, \quad (5)$$

$$f_{\text{кр}}^v (28) = 0,984 - 0,0615 (В/ЦИЗ) + \gamma, \quad (6)$$

Графическая интерпретация зависимости параметрических уравнений $f_{\text{кр}}^0 / f_{\text{cd}}$ и $f_{\text{кр}}^v / f_{\text{cd}}$ в возрасте $t = \text{п.п.}, 28 \text{ сут.}$ от обобщенного фактора состава $(В/МКВ) + \gamma$ в границах 95 % доверительных интервалов приведены на рис. 3 и рис. 4. Результаты графического анализа позволяют сделать вывод о линейности кривых регрессий без дополнительной проверки значимости коэффициентов регрессии v_1 . Полученные зависимости 7 и 8 для определения $f_{\text{кр}}^0 / f_{\text{cd}}$ и $f_{\text{кр}}^v / f_{\text{cd}}$ хоть и характеризуют степень влияния на эти величины различных факторов, но не

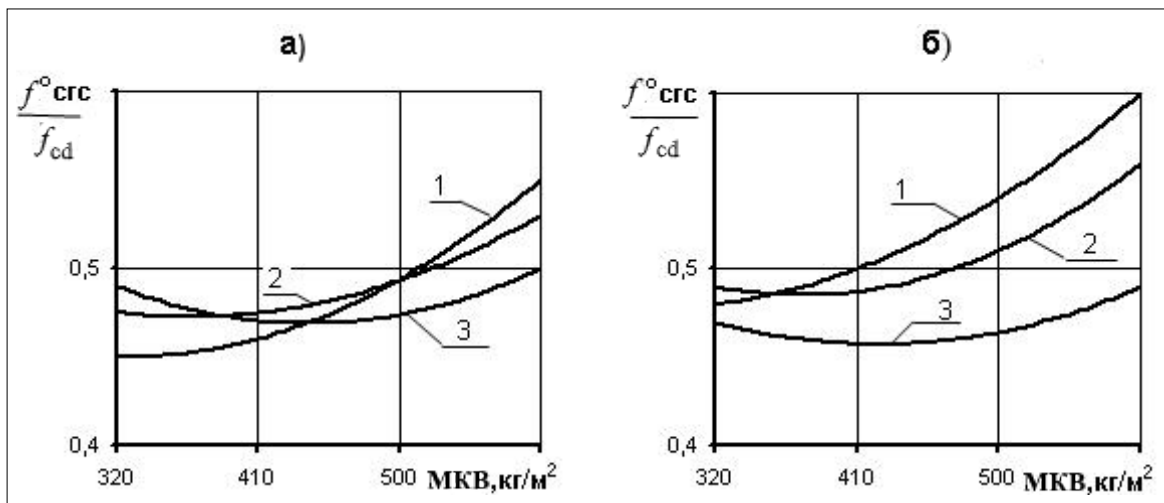


Рис. 1. Зависимость нижней границы микротрещинообразования керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем f^0_{crg} / f_{cd} от расхода МКВ вяжущего и агрегатно-структурного фактора r ; а; б в возрасте соответственно п.п.; 28, 1; 2; 3 – при значении r соответственно 0,35; 0,45; 0,55

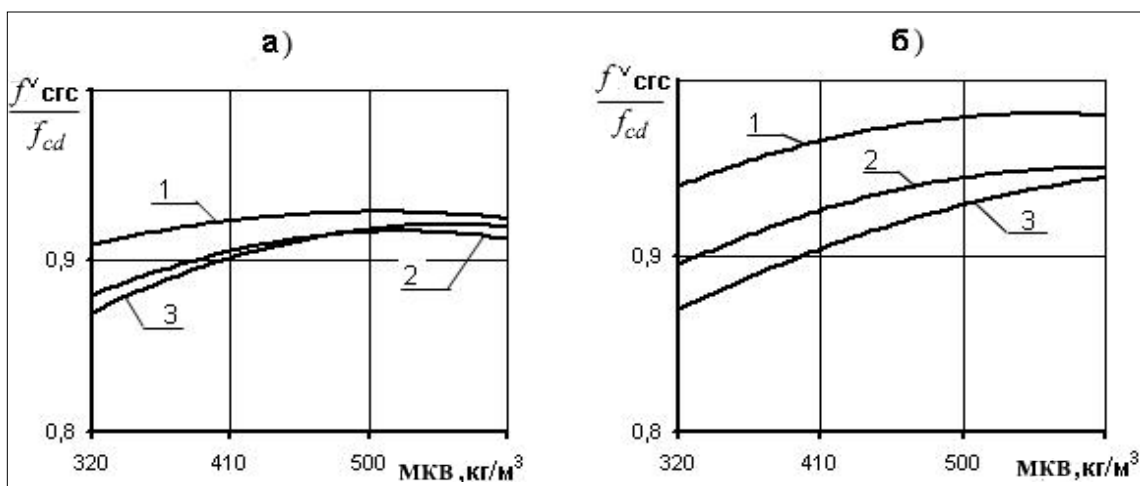


Рис. 2. Зависимость верхней границы микротрещинообразования керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем f^v_{crg} / f_{cd} от расхода МКВ вяжущего и агрегатно-структурного фактора r ; а; б в возрасте соответственно п.п.; 28, 1; 2; 3 – при значении r соответственно 0,35; 0,45; 0,55

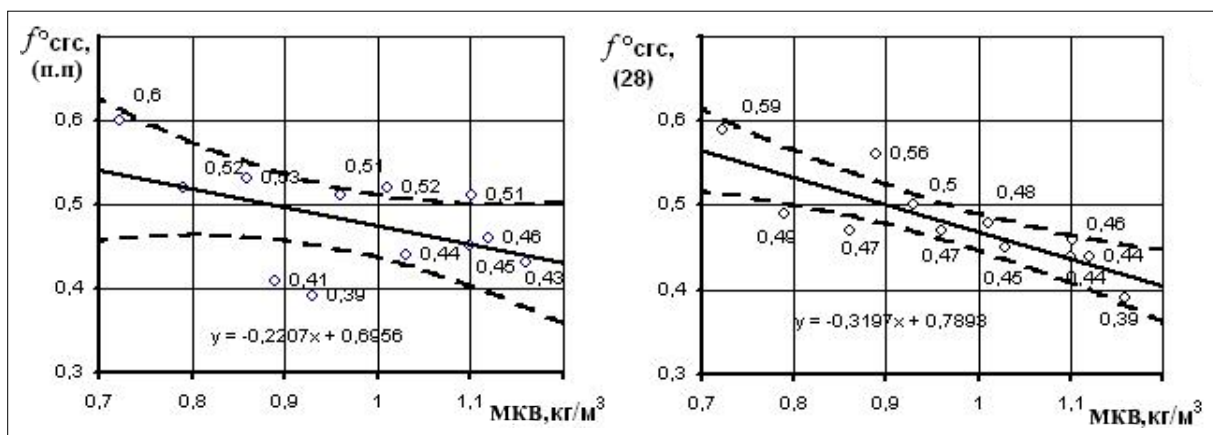


Рис. 3. Зависимость нижней границы микротрещинообразования керамзитобетона на МКВ вяжущем f^0_{crg} / f_{cd} от обобщенного фактора состава

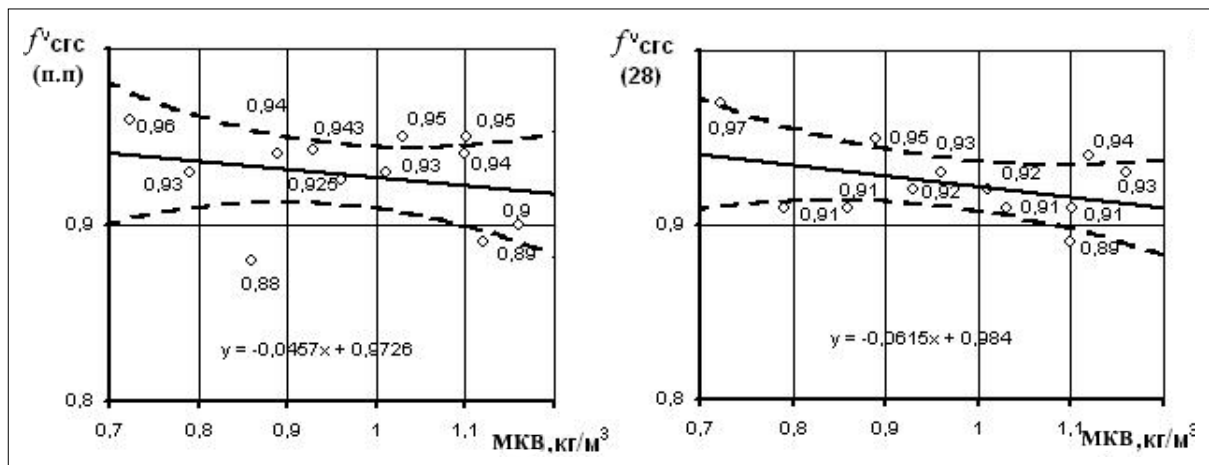


Рис. 4. Зависимость верхней границы микрокрешинообразования керамзитобетона на МКВ вяжущем f^v_{crc}/f_{cd} от обобщенного фактора состава

очень удобны для практических расчетов, поскольку связаны с использованием параметров, обычно неизвестных при проектировании.

Многие исследователи связывают параметрические уровни f^0_{crc}/f_{cd} и f^v_{crc}/f_{cd} с прочностью бетона. Такой подход относительно прост и обладает существенным расчетным преимуществом. Используя значения f^0_{crc}/f_{cd} и f^v_{crc}/f_{cd} , применяя метод наименьших квадратов, получены такие зависимости:

$$f^0_{crc}/f_{cd} = 0,389 + 0,078 \lg f_{cd}, \quad (7)$$

$$f^v_{crc}/f_{cd} = 0,863 + 0,063 \lg f_{cd}, \quad (8)$$

Главные выводы. Область напряженного состояния, находящаяся в границах микроразрушений, имеет принципиальное значение для оценки многих важных процессов деформирования и прочности бетона. Факторы состава оказывают существенное влияние на границы области микроразрушений: увеличение расхода многокомпонентного вяжущего и концентрация керамзитового гравия повышает f^0_{crc} и f^v_{crc} . Для определения границ микроразрушений в зависимости от прочности керамзитобетона рекомендуется использовать выражение (7) и (8).

Литература

1. Основные свойства легких бетонов на пористых заполнителях / А.А. Постернак, С.А. Кравченко, И.П. Агафонова, С.С. Иванова. Научный журнал «Вчені записки ТНУ імені І.В. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 29(68) № 6, ч. 2. Київ, 2018. С. 189–193.
2. Постернак О.О., Кравченко С.А., Костюк А.І. Несуча здатність і деформативність керамзитобетонних огорожувальних конструкцій : монографія. Одеса : ОДАБА, 2018. 176 с.
3. Кравченко С.А., Постернак О.О., Столевич І.А. Конструкційні та конструкційно-теплоізоляційні легкі бетони на пористих заповнювачах. Ресурсоекономні матеріали, конструкції,будівлі та споруди : зб. наук. праць, вип. № 31. Рівне : УДУВГП, 2015. С. 213–221.
4. Методические рекомендации по определению механических характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружении. М. : НИИЖБ, 1984. 48 с.
5. Проектування керамзитобетонів з урахуванням рецептурно-технологічних факторів і конструкцій на їх основі для монолітного будівництва : монографія / В.С. Дорофеев, А.І. Костюк та ін. Одеса : ОДАБА, 2014. 176 с.
6. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций. М. : НИИЖБ, 1986. 80 с.

ЕКОЛОГО-ЕРГОНОМІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЯК СКЛАДНИК ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА

Протасенко О.Ф.¹, Мигаль Г.В.²

¹Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
просп. Науки, 9А, 61166, м. Харків
olha.protasenko@hneu.net;

²Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
вул. Чкалова, 17, 61070, м. Харків
g.mygal@khai.edu

Зелене будівництво сьогодні – один із найбільш ефективних інструментів забезпечення сталого розвитку суспільства. Застосування його принципів дає змогу досягти трьох важливих результатів: по-перше, ефективно використовувати енергетичні ресурси; по-друге, зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище; по-третє, створювати комфортні умови життєдіяльності людини. Елементом оцінювання під час сертифікації «зеленої» будівлі є визначення її впливу на стан здоров'я людини під час роботи або в побуті. Проте таке оцінювання часто обмежене визначенням впливу лише кількох показників на здоров'я людини, наприклад, якість повітря у приміщенні, екологічність будівельних матеріалів та інше, лишаючи поза увагою питання впливу на людину об'єктів усередині приміщення (меблі, технічне обладнання тощо). Цей факт визначив проблемне питання в зеленому будівництві – необхідність доповнення принципів екологічного проектування ергономічними складниками. У роботі обґрунтовано доцільність застосування еколого-ергономічного проектування в зеленому будівництві, що дасть змогу забезпечити людині необхідну для збереження її здоров'я триєдність – екологічність, комфорт і безпеку. Основні результати роботи полягають у такому: а) за результатами інформаційно-аналітичного пошуку наведено визначення поняття «еколого-ергономічне проектування»; б) представлено систему еколого-ергономічного оцінювання робочого місця (або помешкання), що є необхідним складником у проектуванні; в) запропоновано систему оцінювання можна застосовувати не тільки для «зелених» будівель, але й для оцінювання реконструйованих об'єктів, оскільки такі будівлі також потребують запровадження новацій, які дають змогу підвищити рівень безпеки людини. Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що: а) обґрунтовано застосування еколого-ергономічного проектування в зеленому будівництві; б) запропоновано для еколого-ергономічного оцінювання застосовувати нові показники – суб'єктивні оцінювання працівником ступеня реалізації його екологічних і ергономічних потреб (запитів), що дасть змогу враховувати індивідуальні потреби працівника. Практичну значимість проведеної роботи визначає можливість через еколого-ергономічне оцінювання визначати вплив «зелених», а також реконструйованих будівель на здоров'я людини. Застосування принципів еколого-ергономічного проектування в зеленому будівництві дасть змогу знизити ймовірність негативного впливу на здоров'я людини через застосування екологічно безпечних будівельних матеріалів; визначити екологічні й ергономічні пріоритети працівників; підвищити економічні показники діяльності об'єкта (будівлі) через зростання продуктивності працівників. *Ключові слова:* зелене будівництво, ергономіка, еколого-ергономічне проектування, здоров'я, безпека, комфорт.

Ecological-ergonomic designing as a component of green building. Protasenko O., Mygal G.

Green building is one of the most effective tools for ensuring sustainable development of society for today. The application of its principles allows achieving three important results: firstly, to use energy resources effectively, secondly, to reduce the negative impact on the environment and, thirdly, to create comfortable conditions for human life. An element of assessment during the certification of a green building is to determine its impact on human health at work or domestic conditions. However, such estimate is often limited by the determining of the impact only a few indicators on a human's health, such as indoor air quality, the eco-friendliness of building materials, etc., while neglecting the effects of the things in the premise on human's health (for instance, furniture, technical equipment, etc.). This fact identified a problematic issue in green building: it is the need to supplement the principles of environmental designing with ergonomic components. The expediency of using ecology-ergonomic designing in green building is shown, which provides the conservation of trinity for human's health – ecology, comfort and safety. The main results of the work are as follows: a) the definition of the concept “ecology-ergonomic designing” is given; b) a system of ecology-ergonomic estimate of the workplace (or domestic conditions) is presented, which is a necessary component in the designing; c) the system of ecology-ergonomic estimate can be applied for the estimate of reconstructed buildings, as such buildings also require innovations that can increase human safety. The originality of the presented results as follows: a) the usage of ecology-ergonomic designing in green building is substantiated; b) it is proposed to use new indicators for ecology-ergonomic estimate – subjective estimate by the employee of the degree of realization of his ecological and ergonomic needs (requests), which allows taking into account the individual needs of the employee. The opportunity to assess the effects of “green” as well as reconstructed buildings on human's health through the ecology-ergonomic estimate is the practical importance of the results of research. The applying of the ecology-ergonomic designing principles in the green building allows decreasing the possibility of negative impact on human's health through the choice more suitable eco-friendly building materials; to determine the ecological and ergonomic priorities of the employee; to increase economic indicators of the object (building) through the increase of employee productivity. *Key words:* green building, ergonomics, ecology-ergonomic designing, health, safety, comfort.

Постановка проблеми. Базовим складником розвитку суспільства є практичне впровадження у різних сферах людської діяльності положень концепції сталого розвитку, що дає можливість досягти балансу між потребами нинішнього суспільства і майбутніх поколінь.

Одним із основних інструментів впровадження цієї концепції в життя є зелене будівництво. Сьогодні застосування його принципів дає змогу досягти трьох важливих результатів: по-перше, ефективно використовувати енергетичні ресурси; по-друге, зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище; по-третє, створювати комфортні умови життєдіяльності людини. Безумовно, зазначені результати потребують використання певної системи оцінювання [1–4]. Наразі найбільш відомі системи оцінювання результатів зеленого будівництва – BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design) і DGNB (German Sustainable Building Council). На рис. 1 показано головні критерії, за якими працюють системи BREEAM, LEED, DGNB.

Очевидно, що наведені критерії багато в чому схожі, оскільки мають спільну мету – забезпечити сталий розвиток суспільства. Проте один із критеріїв потребує особливої уваги – здоров'я людини. Потреба в увазі до нього зумовлена тим, що поняття «здоров'я» у межах стандартів оцінено лише за двома основними показниками: 1) екологічність використаних для будівництва матеріалів і їхній вплив на здоров'я людини; 2) вплив запропонованих енергоефективних систем життєзабезпечення

(вентиляція, освітлення, каналізація тощо) «зеленої» будівлі на здоров'я людини. При цьому поза увагою залишають питання впливу на здоров'я людини елементів забезпечення життєдіяльності (меблів, офісної і побутової техніки тощо), якими заповнюються приміщення «зелених» будівель після їхньої здачі до експлуатації. Треба зазначити, що в багатьох випадках негативний вплив на здоров'я людини справляє саме неякісне облаштування приміщень усередині, що може спричинити погіршення самопочуття і зниження працездатності людини. Отже, виникає суперечлива ситуація: з одного боку, будівля може відповідати найсучаснішим екологічним стандартам, а з іншого – мати багато недоліків у внутрішньому облаштуванні, що знижує позитивні результати впровадження принципів зеленого будівництва. У цій ситуації можливим є перехід від суто екологічного проєктування до еколого-ергономічного, що дасть змогу поєднати три важливі складники для збереження і підтримки здоров'я людини – екологічність, комфорт і безпеку.

Актуальність дослідження. У питанні створення безпечних і комфортних умов діяльності для людини концепція зеленого будівництва спирається на два моменти:

- 1) оцінювання впливу об'єктів зеленого будівництва на здоров'я людини, що дасть змогу визначити проблемні питання, які потребують доопрацювання;
- 2) пошук ефективних шляхів підвищення безпеки і комфорту людини.

Щодо другого моменту, то зазначимо, що це складне завдання для практичної реалізації, оскільки її найкраще рішення зазвичай є не в певній галузі

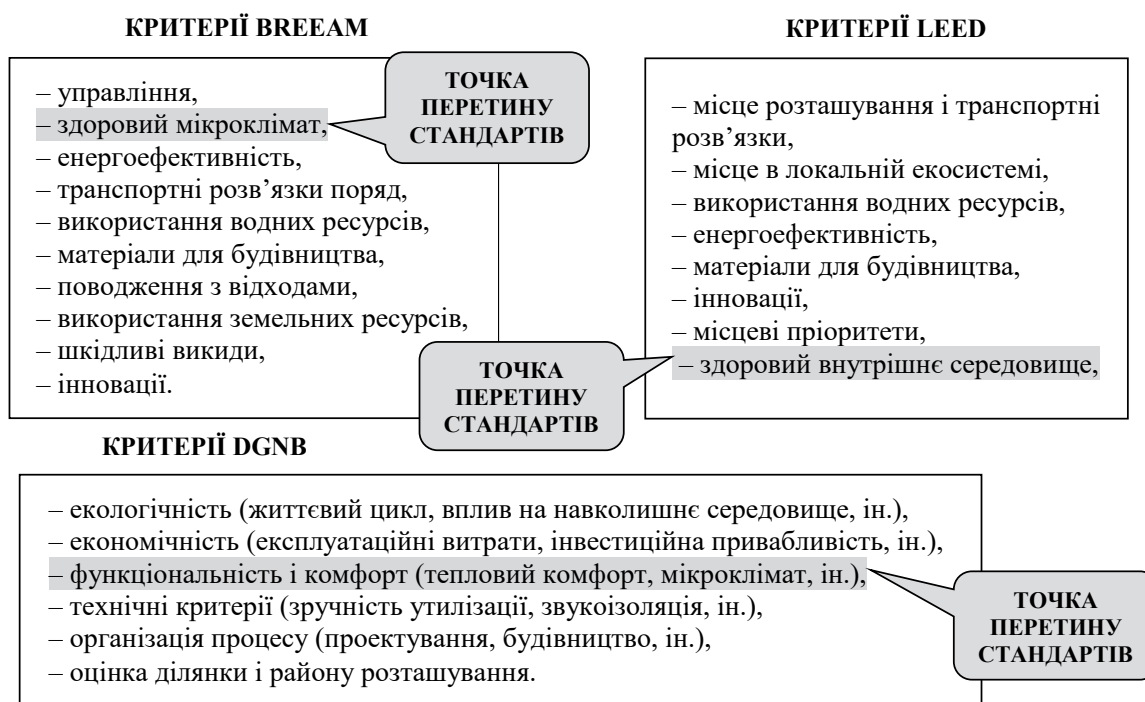


Рис. 1. Критерії стандартів з оцінювання об'єктів зеленого будівництва

знань, а на перетині багатьох галузей. Інакше кажучи, це завдання потребує комплексного підходу до свого рішення. Саме тому для забезпечення екологічності, комфорту і безпеки людини для зеленого будівництва актуальним є застосування принципів еколого-ергономічного проектування. При цьому екологічний складник буде відповідати за додержання екологічних норм і стандартів під час проектування, будівництва та експлуатації будівель, а ергономічний – за створення і підтримку відповідних вимогам безпеки умов праці (або повсякденної життєдіяльності) людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення літератури з питання оцінювання впливу об'єктів зеленого будівництва на здоров'я і благополуччя людини показало, що є опубліковані результати досліджень, проте їх небагато [5–7]. Така ситуація зумовлена двома причинами. По-перше, у самих стандартах зеленого будівництва є розділи [5], в яких від початку передбачено заходи із забезпечення безпеки людини, які обов'язково реалізують під час будівництва і перевіряють їх виконання під час введення «зеленого» об'єкта до експлуатації. Отже, априорі будівля є безпечною для людини, що означає відсутність потреби в додаткових дослідженнях. Однак, як зазначено вище, не всі показники для комплексного оцінювання впливу на здоров'я людини будівлі враховані. По-друге, зелене будівництво – відносно нова сфера діяльності, тому об'єктів, які побудовано за цими стандартами, небагато. Наприклад, в Україні їх сьогодні не більше 10, а в деяких країнах їх узагалі немає. Цей факт ускладнює можливість проведення досліджень. Крім того, для одержання достовірних результатів, такі дослідження мають бути досить тривалими й охоплювати значну кількість випробовуваних, що також складно забезпечити.

Аналіз опублікованих результатів досліджень із питання впливу об'єктів зеленого будівництва на здоров'я людини [6; 7] дав змогу зробити такі узагальнення:

1) для проведення дослідження обрано групу робітників, які постійно працюють в офісному приміщенні. Дослідження проводили у два етапи. Перший етап – оцінювання показників стану здоров'я працівників під час роботи у звичайній будівлі. Другий етап – оцінювання показників стану здоров'я працівників під час роботи в будівлі, побудованій за стандартами зеленого будівництва. Далі, одержані на обох етапах результати досліджень порівнювали і робили висновки. Отже, достовірність результатів з оцінювання впливу «зелених» будівель на стан здоров'я працівників не викликає сумнівів;

2) порівняння результатів обох етапів дослідження дало змогу авторам одержати такі кількісні показники: рівень захворюваності працівників на астму і респіраторні недуги у звичайній будівлі становив 16,28%, під час роботи в «зеленій» будівлі – 6,32%; від загальної кількості днів непрацездатності через хворобу за кілька місяців; відсутність працівників на робочому місці через депресивні або стресові стани у звичай-

ній будівлі становив 20,21% від загальної кількості днів непрацездатності, у «зеленій» – 14,06%; також на суб'єктивному рівні працівники зазначили підвищення продуктивності роботи після переїзду до «зеленої» будівлі. Отже, можна зробити висновок, що найбільш суттєвий позитивний результат від роботи працівників у «зеленій» будівлі має фізіологічний стан їхнього здоров'я, соціально-психологічний складник має нижчі показники;

3) також у дослідженні проаналізовано рівень абсентеїзму працівників. У висновках щодо цього вказано, що його рівень знизився, проте жодних кількісних даних не наведено. Відомо, що абсентеїзм – це психологічний стан уникання працівником виконання своїх робочих обов'язків. Головною причиною виникнення цього стану є незадовільні умови праці. Звичайно, факт позитивного впливу роботи працівників у «зеленій» будівлі на рівень абсентеїзму не викликає сумнівів. Однак відсутність кількісних показників дає змогу припустити, що це зниження є незначним, порівняно з показниками стану фізіологічного здоров'я працівників, що потребує доопрацювання.

Отже, маємо висновок: зелене будівництво дає змогу зробити діяльність працівника екологічно безпечною і комфортною, проте для реалізації важливої для забезпечення здоров'я працівників триєдності – екологічність, безпека, комфорт – необхідне доповнення екологічних стандартів ергономічними.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. З огляду на викладене можна сформулювати таку наукову проблему: сьогодні для забезпечення сталого розвитку суспільства актуальним є застосування принципів зеленого будівництва, проте її невирішеною частиною є необхідність застосування замість суто екологічних принципів проектування і будівництва еколого-ергономічних, що визначає мету цієї роботи.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, ергономіка – це наука, яка створює практичні рішення із забезпечення максимально безпечних і комфортних умов праці для людини через поєднання різних наукових напрямів (психології, фізіології, інженерії тощо). Такий підхід робить ергономіку гнучкою, завдяки чому вона миттєво реагує на появу нових запитів у суспільстві щодо безпеки і знаходить для відповіді на них найефективніші рішення.

У світлі важливості реалізації концепції сталого розвитку суспільства одним із основних напрямів роботи сучасної ергономіки стало впровадження принципів екологічної безпеки людини як на робочому місці, так і в побуті. Саме тому останніми роками ергономіка в систему оцінювання якості організації і безпеки робочого місця працівника додала новий акцент – екологічність [8; 9]. Це привело до поступового переходу від ергономічного проектування внутрішнього середовища приміщень до еколого-ергономічного [10], принципи якого можна застосувати і в зеленому будівництві (рис. 2).

Розглянемо детальніше, що являє собою еколого-ергономічне проектування і яким чином у ньому поєднано екологічні й ергономічні аспекти. Еколого-ергономічне проектування – це доволі нове поняття в ергономіці, визначення якого сьогодні можна сформулювати так. Еколого-ергономічне проектування – пошук оптимального поєднання умов праці та технічного забезпечення на робочому місці, яке відповідатиме сучасним психофізіологічним, соціальним, інженерно-технічним і екологічним вимогам. Безумовно, еколого-ергономічне проектування базується на результатах практичного дослідження робочих місць, тому його важливим складником є система оцінювання, за результатами проведення якої буде визначено проблемні питання і здійснено пошук їх рішень. Загалом система оцінювання вклю-

чає сьогодні 48 показників. Спрощений приклад такого оцінювання наведено в табл. 1.

У представленій таблиці для оцінювання застосовані традиційні ергономічні показники: α – оцінка показника, який вимірюють у балах від 0 до 5, при цьому 0 – найбільш негативний варіант, 5 – найбажаніший; β – питома вага показника, яку встановлюють залежно від значущості показника для оцінюваної системи та вимірюють у відсотковому значенні. Оцінювання коефіцієнта екологічності здійснюють за бальною шкалою в діапазоні від 0 до 5 балів (0 – низький рівень екологічності, 5 – максимальний рівень). Також до системи еколого-ергономічного оцінювання введено показники суб'єктивного оцінювання працівником ступеня реалізації його екологічних і ергономічних потреб (запитів) на робочому місці [8]. Цей момент



Рис. 2. Взаємозв'язок принципів ергономічного проектування робочого (побутового) середовища і зеленого будівництва

Таблиця 1

Еколого-ергономічне оцінювання робочого місця (спрощений варіант)

№ з/п	Елементи і характеристики робочого середовища	Ергономічність		Коефіцієнт екологічності, бали
		α , бали	β , %	
1	Транспортна інфраструктура об'єкта			
2	Рівень озеленення підприємства			
3	Загальні характеристики будівлі			
4	Санітарний стан приміщення			
5	Робочий стіл			
6	Робоче крісло			
7	Технічне оснащення			
8	Освітлення у приміщенні			
9	Повітрообмін у приміщенні			
10	Кондиціонування			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Підсумкові результати з оцінювання:		$\gamma =$		$e =$
Суб'єктивне оцінювання працівником ступеня реалізації його екологічних потреб (запитів) на робочому місці, бали				$P_e =$
Суб'єктивне оцінювання працівником ступеня реалізації його ергономічних потреб (запитів) на робочому місці, бали				$P_\gamma =$
Висновки і рекомендації:				

є важливим, оскільки суб'єктивне сприйняття працівником якості організації робочого місця і простору може суттєво відрізнятись від об'єктивних показників, що, як зазначено вище, може стати причиною виникнення абсентеїзму. Суб'єктивне оцінювання можна реалізувати шляхом простого соціологічного опитування працівників. Відповіді можна оцінити за допомогою бальної системи. Отже, за допомогою системи еколого-ергономічного оцінювання робочого місця працівника можна визначити ступінь впливу зеленої будівлі на здоров'я людини як за екологічними, так і за ергономічними показниками.

Перспективи використання результатів дослідження. Загалом застосування принципів еколого-ергономічного проектування в зеленому будівництві дасть змогу надалі досягти таких результатів у реалізації концепції сталого розвитку суспільства:

1) в екологічній сфері: знизити або навіть виключити ймовірність негативного впливу на здоров'я людини через застосування екологічно безпечних будівельних матеріалів;

2) у соціальній сфері: визначити екологічні й ергономічні пріоритети працівників і, відповідно, знизити ймовірність виникнення у них таких негативних психологічних станів, як депресія, стрес, абсентеїзм тощо;

3) в економічній сфері: підвищити економічні показники діяльності об'єкта (будівлі) через зростання продуктивності працівників.

Ба більше, це дасть можливість реалізувати необхідну для підтримки і збереження здоров'я людини (під час роботи або в побуті) триєдність – екологічність, комфорт і безпеку.

Головні висновки. На підставі вищевикладеного маємо такі підсумки:

1) зелене будівництво сьогодні – один із найбільш ефективних інструментів забезпечення сталого розвитку суспільства;

2) елементом оцінювання під час сертифікації «зеленої» будівлі є визначення її впливу на стан здоров'я людини під час роботи або в побуті. Проте таке оцінювання часто обмежується визначенням впливу лише кількох показників на здоров'я людини, наприклад якістю повітря у приміщенні, освітленням, екологічністю будівельних матеріалів та іншим, лишаючи поза увагою питання впливу на людину об'єктів усередині приміщення (меблі, технічне обладнання тощо). Це дало змогу визначити проблемне питання в зеленому будівництві – необхідність доповнення принципів екологічного проектування ергономічними складниками;

3) аналіз літературних джерел із цієї проблеми показав доцільність застосування еколого-ергономічного проектування в зеленому будівництві. Ба більше, такий підхід дасть змогу забезпечити людині необхідну для збереження її здоров'я триєдність – екологічність, комфорт і безпеку;

4) у роботі представлено систему еколого-ергономічного оцінювання робочого місця (або помешкання), яка є необхідним складником у проектуванні. Особливістю цієї системи є нові показники – суб'єктивні оцінювання працівником ступеня реалізації його екологічних і ергономічних потреб (запитів), що зумовлено невідповідністю між суб'єктивним сприйняттям і об'єктивними показниками якості організації як зовнішнього, так і внутрішнього облаштування будівлі;

5) крім того, запропоновану систему оцінювання можна також застосовувати і для оцінювання реконструйованих об'єктів, оскільки зелене будівництво – це відносно новий напрям у реалізації концепції сталого розвитку суспільства, тому відсоток зелених будівель, порівняно з будівлями, побудованими не за зеленими стандартами, значно нижчий, крім того, такі «не зелені» будівлі потребують також запровадження новацій, які дадуть змогу підвищити рівень безпеки людини.

Література

1. Близнюк О. В. Внедрение «зеленых» стандартов строительства в целях реализации национальных интересов. *Экономика строительства*. 2012. № 2. С. 29–36.
2. Бенуж А.А., Колчигин М.А. Анализ концепции зеленого строительства как механизма по обеспечению экологической безопасности строительной деятельности. *Вестник МГСУ*. 2012. № 12. С. 161–165.
3. Асаул А.Н., Иванов С.Н. Основные направления развития «зеленого» строительства. *Вестник ТОГУ*. 2015. № 1(36). С. 169–178.
4. Arijit Sinha, Rakesh Gupta, Andreja Kutnar. Sustainable Development and Green Buildings. *Drvna industrija*. 2013. № 64(1). P. 45–53.
5. Practical Guides for Creating Successful New Communities – Guide 8: Creating Health-Promoting Environments. *TCPA. Living Draft*. 2017. 36 p.
6. Norm G. Miller, Dave Pogue, Quiana D. Gough, Susan M. Davis. Green Buildings and Productivity. *The Journal of Sustainable Real Estate*. 2009. Vol. 1. № 1. P. 65–89.
7. Amanjeet Singh, Matt Syal, Sue C. Grady, Sinem Korkmaz. Effects of Green Buildings on Employee Health and Productivity. *American Journal of Public Health*. 2010. № 100(9). P. 1665–1668.
8. Протасенко О.Ф. Дослідження й аналіз показників екологічності робочого середовища. *Комунальне господарство міст*. 2018. Вип. 7(146). С. 127–132.
9. Мигаль Г.В., Протасенко О.Ф. Нові поняття сучасної ергономіки. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2018. №79. С. 162–170.
10. Мигаль С.П., Мигаль Г.В. Еколого-ергономічне проектування середовища людини. *Науковий вісник будівництва*. 2014. № 4(78). С. 33–37.

ОСОБЛИВОСТІ СТАНУ КОМПОНЕНТІВ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ В ТКАНИНАХ КОРЕНІВ *ALLIUM CEPA L.*

Боброва М.С.¹, Ворона С.О.²

¹Центральноукраїнський державний педагогічний університет
імені Володимира Винниченка
вул. Шевченка, 1, 25006, м. Кропивницький
kazna4eeva@gmail.com

²Кіровоградський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр
Міністерства внутрішніх справ України
вул. Вокзальна, 58, 25006, м. Кропивницький
biolog-1@ukr.net

У статті розкрито залежність балансу вмісту прооксидантів і антиоксидантів в тканинах організму від впливу екологічних факторів середовища. Зазначено роль прооксидантно-антиоксидантної системи для організму рослин і тварин. Наголошено на недостатньому рівні систематизації наявної інформації про роль прооксидантно-антиоксидантної системи в забезпеченні стійкості рослин до патогенів. Експериментальним шляхом виявлено рівень та джерела генерації супероксиданіонрадикалу як основного прооксиданту; фонову та стимульовану концентрацію малонового діальдегіду як першочергового продукту перекисного окиснення ліпідів і активність цитохромоксидази як ключового ферменту, що є маркером рівня пошкодження мембран прооксидантами. Досліджено активність основних ферментних антиоксидантів: супероксиддисмутази, каталази, глутатіонпероксидази. Виявлено рівень основних низькомолекулярних антиоксидантів: аскорбінової кислоти, глутатіону. Здійснено порівняльний аналіз всіх перерахованих показників в тканинах коренів *Allium cepa L.* різних за рівнем стійкості до хвороб сортів. Виявлено, що у високостійкого сорту відмічається як підвищений рівень генерації супероксиданіонрадикалу, так і найвища активність ферментних антиоксидантів і високий рівень низькомолекулярних антиоксидантів. Рівень пошкодження мембран тканин коренів *Allium cepa L.* високостійкого сорту незначний, про що свідчить найнижча концентрація малонового діальдегіду в порівнянні з результатами, встановленими для середньо- і малостійкого сорту. Протилежне значення показників виявлене в тканинах малостійкого сорту. В результаті проведеного дослідження сформульовано висновки про взаємозалежність рівня стійкості сорту *Allium cepa L.* до хвороб та вмісту прооксидантів та антиоксидантів в його тканинах. *Ключові слова:* прооксиданти, антиоксиданти, стійкість сорту рослин до хвороб, *Allium cepa L.*

Features of the state of the components of the prooxidant and antioxidant system in *Allium cepa L.* root tissues. Bobrova M., Vorona S.

The dependence of the balance of the content of prooxidants and antioxidants in the body tissues from the influence of environmental factors of the medium is noted. The value of the prooxidant-antioxidant system for the organism of plants and animals is revealed. The features of its functioning in plant tissues are noted. It is emphasized that there is insufficient level of systematization of available information about the role of the prooxidant-antioxidant system in ensuring the resistance of plants to pathogens. Experimentally found: the level and sources of superoxide anion radical generation as the main prooxidant; background and stimulated concentration of malonic dialdehyde as the primary product of lipid peroxidation and cytochrome oxidase activity as a key enzyme marker of the level of membrane damage by prooxidants. The activity of the main enzyme antioxidants: superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase was studied. The level of basic low molecular weight antioxidants: ascorbic acid, glutathione has been revealed. A comparative analysis of all of these parameters in the tissues of *Allium cepa L.* differing in the level of resistance to diseases of the varieties is carried out. It was found that in the tissues of plants variety with high level resistance to the diseases there is marked high level of generation of superoxide anion radical, and the highest activity of enzyme antioxidants and high level of low molecular weight antioxidants. The level of damage to the membranes of the root tissues of high resistance to the diseases is small, as evidenced by the lowest concentration of malondialdehyde in comparison with the results established for medium and low-level resistance varieties. The opposite value of the indicators was found in the root tissues of a labile to diseases variety. As a result of the study, conclusions were drawn on the interdependence between the level of resistance of the *Allium cepa L.* to diseases and the content of prooxidants and antioxidants in its root tissues. *Key words:* prooxidants, antioxidants, plant resistance to diseases, *Allium cepa L.*

Постановка проблеми. В умовах погіршення екологічної ситуації внаслідок антропогенного забруднення біосфери особливо актуальною є зміна величин показників прооксидантно-антиоксидантної системи (далі – ПАС), яка характеризує всі фізіоло-

гічні та патологічні процеси рослинного організму. Розуміння механізму імунізацію рослин та ролі в ньому компонентів ПАС відкриває перспективи їх використання і модифікації для підвищення захисних сил організму, окреслює нове коло досліджень

в галузі імунології, селекції, біотехнології та генної інженерії. В умовах несприятливої екологічної ситуації актуальним залишається кількісний вміст низькомолекулярних антиоксидантів та продуктів вільнорадикального перекисного окислення (далі – ВРПО), які надходять до нашого організму з продуктами харчування рослинного походження. Дослідження ролі активних форм Оксигену (далі – АФО) у протиінфекційному захисті тварин, процесах окисного вибуху, механізмах старіння та апоптозу відкрило перспективи пошуку аналогів у рослинному світі.

Мета дослідження – вивчити зміни показників стану прооксидантно-антиоксидантної системи тканин коренів *Allium cepa L.* в залежності від їх рівня стійкості до хвороб.

Актуальність дослідження. Дослідження механізмів, що забезпечують підтримку високого імунного статусу рослин, є особливо актуальним в умовах несприятливої екологічної ситуації, що визначає створення імунного дефіциту не лише у людини та тварин, але й у рослин, та викликає необхідність вивчення компонентів і факторів стійкості та ПАС рослинних об'єктів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

1) дослідити стан компонентів прооксидантної ланки тканин коренів *Allium cepa L.* різних за рівнем стійкості сортів до хвороб;

2) дослідити стан компонентів антиоксидантної ланки тканин коренів *Allium cepa L.* різних за рівнем стійкості сортів до хвороб;

3) встановити зв'язок між показниками стану ПАС та рівнем стійкості сорту рослин до хвороб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно робіт Apel K. та Hirt H., у нормально функціонуючій клітині є певний баланс між активацією та дезактивацією Оксигену, тому кількість його активних форм залишається на безпечному рівні, однак ушкодження рослинних тканин під дією стресових чинників, як правило, призводить до активації Оксигену, при цьому порушується баланс між утворенням та руйнуванням АФО [1]. Значення АФО у процесах ВРПО та механізми антиоксидантного захисту (далі – АОЗ) розкрито в працях Хрипача Л.В., Рєвазової Ю.А., Колупаєва Ю.Е., Костюка В.А., Бараненко В.В., Карпець Ю.В. та інших дослідників [2–9]. Загальноприйнятим є твердження, що основною мішенню АФО є клітинні мембрани, ліпіди яких зазнають ферментативного та вільнорадикального перекисного окиснення, яке першочергово пошкоджує молекули поліненасичених жирних кислот [7]. Генерація АФО рослинною клітиною відбувається у відповідь на дію екологічних стресорів абіотичного походження [1–3]. В роботах Kawano T. [8], Heiser I., Elstner E. [9], Foyer C.H., Noctor G. [10] відмічено посилення загальної продукції АФО рос-

линами при вторгненні патогенів (бактерії, гриби, мікоплазми) та описані механізми реакції надчутливості. О.П. Дмитрієв та Ж.М. Кравчук відмічають значення АФО у формуванні набутої системної стійкості рослин до патогенів як сигнальних інтермедіатів активації генів ферментів, що беруть участь у синтезі антиоксидантів та фітоалексинів [11]. На сучасному етапі розробкою проблеми АФО та АОЗ рослинних організмів займається британська школа біохімії, яку очолює Dr Nicholas Smirnoff [7]. Згідно робіт О.Г. Полескої, найбільше значення для рослинної клітини має синглетний кисень, супероксиданіонрадикал, гідроген пероксид та гідроксил радикал [12]. Загалом питання про значення АФО та антиоксидантів в рослинній клітині не є однозначним та вичерпним і потребує ретельного дослідження й систематизації.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Недослідженим є зв'язок стійкості рослин та їх адаптації до умов існування в плані зміни величин показників ПАС; роль окремих компонентів ПАС у забезпеченні стійкості рослин до хвороб, біохімічних та молекулярних механізмів цієї стійкості.

Новизна. У роботі вперше здійснено комплексний аналіз компонентів прооксидантної та антиоксидантної ланки тканин коренів *Allium cepa L.* Визначено рівень та джерела генерації супероксиданіонрадикалу, виявлено зв'язок між рівнем стійкості до хвороб різних сортів *Allium cepa L.* та значеннями показників ПАС, обґрунтовано роль окремих ланок ПАС в захисті рослин від патогенів.

Методологічне або загальнонаукове значення. На основі проведених досліджень експериментально виявлено найбільш значущі показники стану ПАС, які можуть бути використані для встановлення стійкості рослин до хвороб.

Результати, отримані при виконанні 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 при викладанні курсів «Фізіологія рослин», «Біохімія», «Екологія».

Виклад основного матеріалу. Кількісний аналіз компонентів стану ПАС тканин *Allium cepa L.* здійснювали на тканинах коренів рослин таких сортів: «Глобус» (високостійкий сорт – 9 клас стійкості), «Веселка» (середньостійкий сорт – 7 клас стійкості) та «Донецька золотиста» (малостійкий сорт – 5 клас стійкості). Кожна дослідна група включала 10 проб.

Методи дослідження. Визначення біохімічних показників здійснювали згідно загальноприйнятих методик: концентрацію $\bullet\text{O}_2$ (нмоль $\bullet\text{O}_2$ /гс) досліджували спектрофотометричним НСТ-тестом [13], концентрацію малонового діальдегіду (далі – МДА) (мкмоль/кг) визначали за реакцією

з 2-тіобарбітуровою кислотою в кислому середовищі, активність супероксиддисмутази (далі – СОД) (ОД активності) визначали кінетично за швидкістю 50 %-го інгібування аутоокиснення адреналіну, активність каталази (мкмоль/г·хв) – методом О.М. Баха та С.М. Зубкової, активність GSH-пероксидази (ОД активності) – реактивом Елмана, концентрацію аскорбінової кислоти (далі – АК) (ммоль/кг) – титруванням за Тільмансом, концентрацію GSH (ммоль/кг) – за допомогою реактиву Елмана, активність цитохромоксидази (ОД активності, індофенольна одиниця за хв. на г тканини) – за методом W. Straus [14].

Результати дослідження і значення показників стану ПАС тканин коренів *Allium cepa L.* наведені в таблиці 1.

Так, спектрофотометрично визначений фоновий рівень утворення $\bullet\text{O}_2$ цибулі сорту «Глобус» переважає рівень «Донецької золотистої» і «Веселки» у 1,31 і 1,17 рази відповідно ($p_{1,2,3} < 0,05$).

Стимульований НАД·Н НСТ-тест виявив зростання показника концентрації $\bullet\text{O}_2$ в порівнянні з фоном на 230,55 %, 233,10 % та 147,61 % в тканинах рослин сорту «Глобус», «Веселка» та «Донецька золотиста». Отже, найвищий рівень генерації $\bullet\text{O}_2$ мають тканини коренів цибулі сорту «Глобус», що в 1,16 рази ($p_{1,2} < 0,05$) переважає рівень «Веселки» та в 1,75 рази ($p_{1,3} < 0,05$) – «Донецької золотистої». В результаті порівняння вмісту $\bullet\text{O}_2$ у «Веселки»

і «Донецької золотистої» виявлено переважання середньостійкого сорту над малостійким в 1,50 рази ($p_{2,3} < 0,05$).

Стимуляція НАДФ·Н призводить до зростання рівня $\bullet\text{O}_2^-$ в порівнянні з фоном на 423,64 % для тканин коренів цибулі сорту «Глобус» та на 472,25 % та 514,01 % для сорту «Веселка» та «Донецька золотиста» відповідно. Таким чином, міжсортове співвідношення показників стимульованого НАДФ·Н рівня генерації $\bullet\text{O}_2^-$ склало 1,12 : 1,04 : 1,00 відповідно до порядку згадування сортів ($p_{1,2} < 0,02$, $p_{1,3} < 0,001$, $p_{2,3} < 0,25$).

Стимуляція дріжджами викликає підвищення рівня утворення $\bullet\text{O}_2^-$ на 14,74 %, 14,89 % та 14,69 % в тканинах рослин сорту «Глобус», «Веселка» та «Донецька золотиста» відповідно. Розподіл міжсортового співвідношення показників склав 1,31 : 1,12 : 1,00 ($p_{1,2} < 0,5$, $p_{1,3} < 0,5$, $p_{2,3} < 1$).

Стимуляція NaF посилює генерацію $\bullet\text{O}_2^-$ в тканинах коренів цибулі високо-, середньо-, та малостійкого до хвороб сорту на 17,07 %, 13,20 % та 21,80 % відповідно, змінюючи таким чином показник міжсортового порівняння: 1,26 : 1,04 : 1,00. Дослідження рівня МДА виявило найвищу його концентрацію в тканинах коренів цибулі сорту «Донецька золотиста», що в порівнянні з «Веселкою» та «Глобусом» має переважання в 1,52 і 2,91 рази ($p_{1,2} < 0,001$) для фонового рівня та в 2,74 і 5,34 рази для стимульованого ($p_{1,2} < 0,001$). Міжсортове порівняння

Таблиця 1

Порівняння показників стану компонентів ПАС коренів *Allium cepa L.* різних сортів за рівнем стійкості до хвороб

№	Показники стану ПАС	Сорти рослин		
		«Глобус»	«Веселка»	«Донецька»
1.	НСТ тест (фоновий рівень), нмоль $\bullet\text{O}_2^-$ /г·с	5,34 ± 0,01*	4,56 ± 0,37	4,08 ± 0,01***
2.	НСТ тест (стимуляція НАД·Н), нмоль $\bullet\text{O}_2^-$ /г·с	17,65 ± 0,38	15,19 ± 1,09**	10,11 ± 0,27***
3.	НСТ тест (стимуляція НАДФ·Н), нмоль $\bullet\text{O}_2^-$ /г·с	27,96 ± 0,29	26,10 ± 0,64	25,07 ± 0,54
4.	НСТ тест (стимуляція дріжджами), нмоль $\bullet\text{O}_2^-$ /г·с	6,13 ± 0,74	5,24 ± 0,44	4,68 ± 0,82
5.	НСТ тест (стимуляція NaF), нмоль $\bullet\text{O}_2^-$ /г·с	6,25 ± 0,77	5,16 ± 0,88	4,97 ± 0,36
6.	МДА ₀ , мкмоль/кг	17,53 ± 1,30*	36,02 ± 0,79**	54,76 ± 4,07***
7.	МДА _{1,5} , мкмоль/кг	14,42 ± 0,48*	28,25 ± 0,01**	77,41 ± 11,33***
8.	Δ МДА, %	23,24 ± 5,28	29,24 ± 3,76	44,94 ± 16,75
9.	Аскорбінат, ммоль/кг	0,14 ± 0,01*	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,01***
10.	GSH, ммоль/кг	38,51 ± 0,28	38,65 ± 0,33	38,78 ± 0,39
11.	Каталаза, мкмоль/г·хв	0,99 ± 0,04	1,08 ± 0,04**	0,89 ± 0,04
12.	СОД, ОД	0,47 ± 0,02*	0,36 ± 0,02**	0,21 ± 0,01***
13.	GSH-пероксидаза, ОД	1,94 ± 0,02*	2,03 ± 0,02**	2,11 ± 0,01***
14.	Цитохромоксидаза, ОД	0,453 ± 0,006*	0,333 ± 0,01**	0,282 ± 0,007***

Примітки: * – $p_{1,2} < 0,05$ при порівнянні значень показників сорту «Глобус» і «Веселка»; ** – $p_{2,3} < 0,05$ при порівнянні значень показників сорту «Веселка» і «Донецька золотиста»; *** – $p_{1,3} < 0,05$ при порівнянні значень показників сорту «Донецька золотиста» і «Глобус»

середньо- і високостійкого до хвороб сорту характеризується перевагою в 2,02 рази для МДА₀ ($p_{1,2} < 0,001$) та в 1,95 рази для МДА_{1,5} ($p_{1,2} < 0,001$) по відношенню до сорту «Глобус». Таким чином, маємо наступне співвідношення показників для Δ МДА – 1,03 : 1,00 : 1,55 ($p_{1,3} < 0,05$, $p_{2,3} < 0,05$) відповідно до порядку сортів «Глобус», «Веселка» та «Донецька золотиста».

Біохімічний аналіз низькомолекулярних АО виявив найвищий рівень АК в тканинах коренів цибулі сорту «Глобус», що підтверджується переважанням її концентрації в 1,27 і 1,56 рази ($p_{1,2} < 0,05$, $p_{1,3} < 0,05$) в порівнянні з сортом «Веселка» та «Донецька золотиста», міжсортова різниця середньо- і мало-стійкого сорту склала 1,22 рази ($p_{1,2} < 0,05$).

Результати визначення активності основних ферментних АО свідчать, що співвідношення активності каталази тканин коренів цибулі сорту «Глобус», «Веселка» та «Донецька золотиста» складає 0,92 : 1,00 : 0,82 ($p_{1,2,3} < 0,05$), активності СОД 1,31 : 1,00 : 0,58 ($p_{1,2,3} < 0,05$), активності GSH-пероксидази – 0,96 : 1,00 : 1,04 ($p_{1,2,3} < 0,05$) відповідно.

Виявлено, що цитохромоксидаза проявляє найбільшу активність у тканинах коренів цибулі сорту «Глобус». Досліджуваний фермент в 1,36 рази більш активний, ніж у цибулі сорту «Веселка» та в 1,61 – ніж у «Донецької золотистої» ($p_{1,2} < 0,001$, $p_{1,3} < 0,05$). Значення активності цитохромоксидази коренів

цибулі сорту «Веселка» і «Донецька золотиста» відносяться як 1,18 : 1 ($p_{2,3} < 0,05$).

Таким чином, біохімічний аналіз коренів цибулі ріпчастої виявив зростання рівня компонентів ПАС зі збільшенням стійкості сорту цибулі ріпчастої до хвороб.

Головні висновки. Стійкість сорту до хвороб залежить від таких показників стану прооксидантно-антиоксидантної системи рослин: рівня генерації $\bullet\text{O}_2^-$, вмісту малонового діальдегіду, аскорбінової кислоти, глутатіону, активності супероксиддисмутази, глутатіонпероксидази, цитохромоксидази.

Тканини коренів *Allium cepa* L. характеризуються посиленням обох ланок прооксидантно-антиоксидантної системи відповідно до підвищення рівня стійкості сорту до хвороб з незначним переважанням прооксидантної активності.

Перспективи використання результатів дослідження. Зміна величин показників ПАС супроводжує всі фізіологічні та патологічні процеси, тому вона є об'єктом дослідження клінічної медицини, геронтології і привертає увагу вчених до проблеми ПАС. Перспектива використання і модифікації окремих компонентів АОЗ для підвищення захисних сил організму відкриває нове коло досліджень у галузі імунології. Створення сортів посиленої стійкості та підвищеного вмісту антиоксидантів є перспективним напрямком селекції, біотехнології та генної інженерії.

Література

1. Apel K. Hirt H. Reactive oxygen species : metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Plant Biol.* 2004. Vol. 55. P. 373–399.
2. Хрипач Л.В., Рєвазова Ю.А. Роль свободнорадикального окислення в пошкодженні генома факторами оточуючої середовища. *Вісник РАМН.* 2004. № 3. С. 16–18.
3. Колупаєв Ю.Е. Активні форми кислого в рослинах при дії стресорів: утворення і можливі функції. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія «Біологія».* 2007. Вип. 3 (12). С. 6–26.
4. Костюк В.А. Потапович А.И. Биорадикалы и биоантиоксиданты. Минск : БГУ, 2004. 179 с.
5. Колупаєв Ю.Е. Карпєць Ю.В. Активність супероксиддисмутази і каталази у колеоптилях пшениці за дії перексиду водню і нагрівання. *Фізіологія і біохімія культурних рослин.* 2007. Т. 39, № 4. С. 319–325.
6. Бараненко В.В. Супероксиддисмутаза в клітках рослин. *Цитологія.* 2006. Т. 48. № 6. С. 465–474.
7. Smirnoff N. Antioxidants and reactive oxygen species in plants. New York : Blackwell Publishing, 2005. 302 p.
8. 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.
9. 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.
10. Foyer C.H. Noctor G. Oxidant and antioxidant signaling in plants: are evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant, Cell and Environment.* 2005. Vol. 28. P. 1056–1071.
11. Дмитрієв О.П. Кравчук Ж.М. Активні форми кисню та імунітет рослин. *Цитологія і генетика.* 2005. № 39 (4). С. 64–75.
12. Полєсская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. Москва : КДУ, 2007. 140 с.
13. Цебринский О.И. Дифференцированное спектрофотометрическое определение продукции супероксида в тканях НСТ-тестом. *Актуальні проблеми сучасної медицини.* Вип.1. 2002. Т. 2. С. 96–97.
14. Посібник з експериментально-клінічних досліджень в біології та медицині / під ред. І.П. Кайдашева, О.В. Катрушова, В.М. Соколенко, О.І. Цебринського. Полтава, 1996. 271 с.

МЕТОД ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗМІН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Волков Д.В.

Приазовський державний технічний університет
вул. Університетська, 7, 87555 м. Маріуполь, Донецька область
fullmetalchemist2016@gmail.com

У даній роботі розглянуто метод оцінки екологічної ефективності транспорту в умовах температурних змін навколишнього середовища на прикладі середніх декадних температур у м. Маріуполі в зимовий період 2014–2018 рр. Знайдено тісний зв'язок між процесом згоряння палива в двигунах транспортних засобів і температурною інверсією. Дані дослідження демонструють тенденцію до зростання температури, викликану також накопиченням в атмосфері шкідливих парникових газів, що в свою чергу призводить до таких незворотних наслідків, як кліматичні зміни і глобальне потепління. Визначено параметри екологічної ефективності транспортної системи. Для визначення ефективності транспорту використаний метод екологічної оцінки. Встановлені показники методу: цінності транспорту і негативного впливу на навколишнє середовище. Цінність транспорту обумовлена показниками перевізної і вантажно-розвантажувальної роботи. Негативний вплив на навколишнє середовище визначений викидами в атмосферу, в поверхневі і підземні води, ґрунт забруднюючих речовин від пересувних та стаціонарних джерел, розміщенням відходів. Наведена графічна діаграма методу оцінки екологічної ефективності транспорту. Показані закономірності негативного впливу на навколишнє середовище з урахуванням вуглецевого сліду від експлуатації транспортних засобів. Досліджено спосіб досягнення вартісної оцінки екологічного ефекту. Запропоновано шляхи зменшення негативного впливу на навколишнє середовище без ціннісного збитку ефективності роботи транспортної системи: удосконалення двигунів, застосування альтернативних видів палив, використання гібридних енергетичних установ, виконання природоохоронних заходів та інше. Для оцінювання екологічної ефективності транспорту встановлені методи діючого управління, які забезпечують результати. Ступінь досягнення екологічної ефективності визначена виконанням природоохоронних заходів. *Ключові слова:* метод оцінки, екологічна ефективність транспорту, температурні зміни, інверсія, вуглецевий слід.

A method for assessing the environmental efficiency of transport in the environment of temperature changes. Volkov D.

In this paper, we consider a method for assessing the environmental efficiency of transport under conditions of temperature changes in the environment using the example of average ten-day temperatures in Mariupol during the winter period 2014–2018. A close relationship was found between the process of fuel combustion in vehicle engines and temperature inversion. These studies show a rising trend in temperature, also caused by the accumulation of harmful greenhouse gases in the atmosphere, which in turn leads to irreversible effects such as climate change and global warming. The parameters of the environmental efficiency of the transport system are determined. To assess the environmental efficiency of transport, the environmental assessment method was used. The indicators of the method are established: an indicator of the value of transport and an indicator of negative impact on the environment. The value of transport is determined by the indicators of transportation and handling. The negative impact on the environment is determined by emissions into the atmosphere, into surface and underground waters, the soil of pollutants from mobile and stationary sources, and waste disposal. A graphical diagram of the method for assessing the environmental efficiency of transport is given. The patterns of negative environmental impact are shown taking into account the carbon footprint from the operation of vehicles. The method of achieving a cost estimate of the environmental effect is determined. Ways are proposed to reduce the negative impact on the environment, without value damage to the efficiency of the transport system. To assess the environmental efficiency of transport, effective management methods have been established that provide assessment results. The degree of environmental efficiency is determined by the implementation of environmental measures. *Key words:* assessment method, environmental transport efficiency, temperature changes, inversion, carbon footprint.

Постановка проблеми. Останнім часом спостерігаються температурні зміни навколишнього середовища в бік потепління, що є результатом дії парникового ефекту: концентрації газів в атмосфері через зниження інтенсивності їх поглинання. Мірою обсягу парникових газів виступає вуглецевий слід, який пов'язаний з будь-яким видом діяльності людини, транспорту в системі: виробник – перевізник – споживач. Крім парникових газів, основну небезпеку становлять токсичні і канцерогенні речовини, які потрапляють в атмосферу, поверхневі і підземні води, ґрунт в період експлуатації і ремонту

транспортних засобів. Коливання температур, особливо взимку, значно посилюють забруднюючий ефект, наприклад під час розгону, гальмування автомобіля, при роботі двигуна на холостому ходу, при їзді по дорожнім ямам та іншому.

Актуальність дослідження. У цих умовах на перший план висувається необхідність оцінки екологічної ефективності транспорту – вимірюваних результатів роботи транспорту, пов'язаних з екологічними аспектами, заснованими на цільових показниках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі дослідницького пошуку були вивчені

теоретичні праці вітчизняних і зарубіжних вчених. На опрацювання оцінки екологічної ефективності функціонування міського пасажирського транспорту спрямована робота українських вчених В.С. Лень, К.В. Гнедіної [1]. Питаннями еколого-економічного аналізу ефективності газоподібних енергоносіїв на автомобільному транспорті займався П.М. Каніло [2]. Вивченню еколого-економічної ефективності природоохоронних заходів при експлуатації автотранспорту присвячені дослідження Л.Л. Абржіної [3], Оцінці ефективності заходів підвищення екологічної безпеки автомобільних двигунів приділяла увагу Т. В. Корчагіна [4]. Метод оцінки екологічної ефективності функціонування транспорту рідин, що твердіють, докладно описаний в роботі А.М. Берестового [5].

Тим часом питання екологічної ефективності транспорту при температурних змінах навколишнього середовища залишається досі недостатньо дослідженим.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою цієї роботи є дослідження методу оцінки екологічної ефективності транспорту в умовах температурних змін навколишнього середовища на прикладі середніх декадних температур у м. Маріуполі в зимовий період 2014–2018 рр.

Новизна. Вперше досліджено метод оцінки екологічної ефективності транспорту в умовах температурних змін навколишнього середовища.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для визначення ефективності транспорту використаний метод екологічної оцінки. Встановлені показники методу цінності транспорту і негативного впливу на навколишнє середовище, а також ефективного управління, які забезпечують результати оцінки. Запропонований метод уможливує процес оптимізації екологічної оцінки ціннісного збитку ефективності роботи транспортної системи.

Виклад основного матеріалу. Робота транспортної системи України в умовах зміни температур характеризується значним обсягом забруднення навколишнього середовища, який проявляється у нечистоті і споживанні атмосферного повітря, водних і земельних ресурсів, утворенні виробничих відходів, формуванні високих рівнів шуму і вібрації, виділенні тепла в навколишнє середовище, активізації несприятливих природних процесів та іншому.

За останні роки температура України зазнає інверсію. Температурна інверсія – це підвищення температури повітря з висотою в деякому шарі тропосфери, в приземному шарі, а також у вільній атмосфері і в нижніх 2 км [6]. Інтенсивність турбулентного перенесення при цьому слабшає, що призводить до скупчення забруднюючих речовин, які випускаються транспортними пересувними засобами, об'єктами логістичного ланцюга (рис. 1).

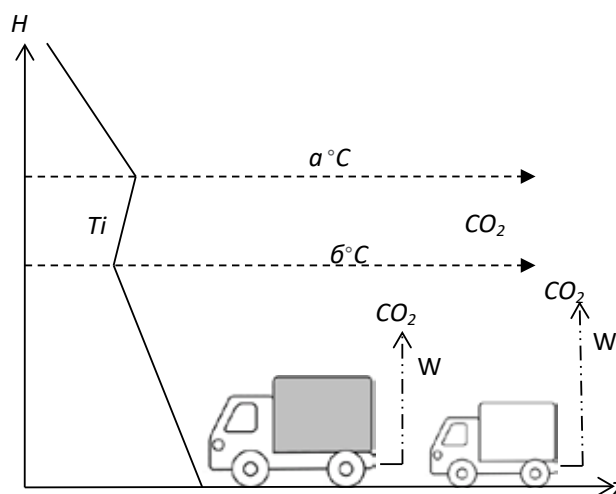


Рис. 1. Інверсія температури навколишнього середовища:

$a\text{ }^{\circ}\text{C}$ – верхня межа інверсійного шару; $b\text{ }^{\circ}\text{C}$ – нижня межа інверсійного шару; H – висота, км; Z – поверхневий шар землі; T_i – температурна інверсія; W – канцерогенні речовини.

На рис. 1 показана температурна інверсія, яка характеризується збільшенням градусів між верхньою і нижньою межею шару. Процес згоряння палива в двигунах транспортних засобів призводить до різкого збільшення вмісту CO_2 . Вуглекислий газ, що знаходиться в повітрі, інтенсивно поглинає інфрачервоні промені, затримуючи тим самим теплову енергію в атмосфері, створюючи так званий парниковий ефект, в результаті якого підвищується температура.

Підвищення температури повітря можна простежити на прикладі середніх декадних температур у м. Маріуполі в зимовий період 2014–2018 рр. за даними Українського гідрометеорологічного центру [7] (рис. 2).

Зимова декадна температура повітря протягом аналізованих років безперервно змінювалася. У січні 2014 р. середня мінімальна температура становила $-10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в січні 2018 р. підвищилася до $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, отже $\Delta t = -7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такі дослідження демонструють тенденцію до зростання температури.

Збільшення температури повітря викликане також накопиченням в атмосфері шкідливих парникових газів – метану, озону, оксидів азоту, фреонів та інших, – що в свою чергу призводить до таких незворотних наслідків, як кліматичні зміни й глобальне потепління.

Температурні зміни навколишнього середовища впливають на екологічну ефективність транспорту.

Під екологічною ефективністю транспорту слід розуміти факт досягнення цілей транспорту за певний час з мінімальними витратами.

Екологічна ефективність транспортної системи Східно-Українського регіону при коливаннях температур характеризується параметрами, відображеними на рис. 3.

Для визначення ефективності транспорту можна використовувати метод екологічної оцінки [8].

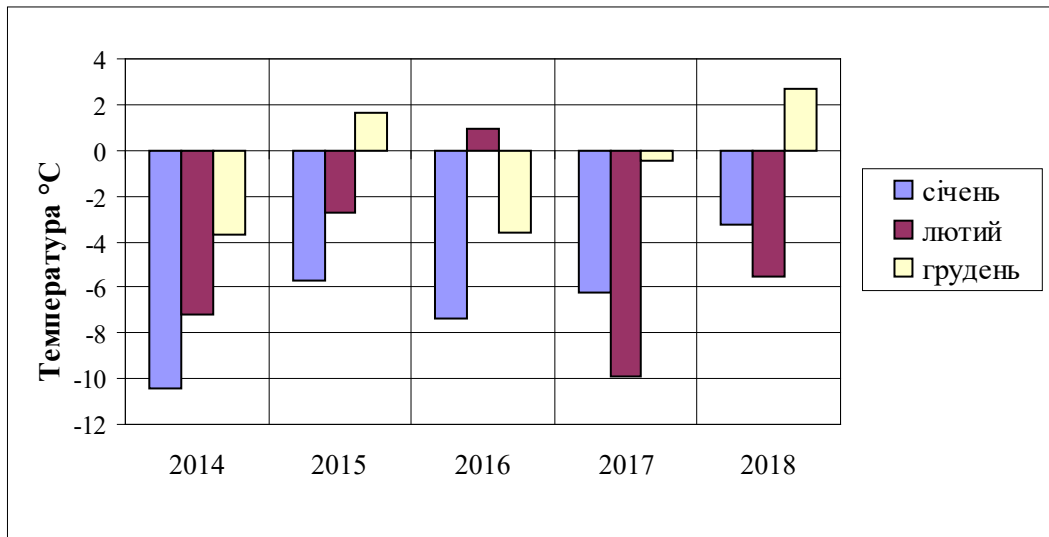


Рис. 2. Середня декадна температура у м. Маріуполі в зимовий період 2014–2018 рр.

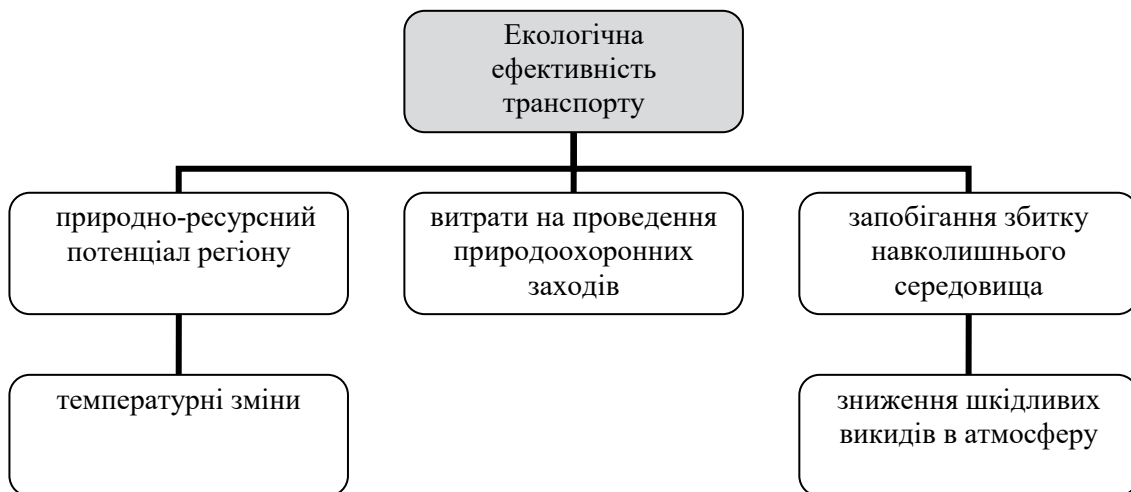


Рис. 3. Параметри екологічної ефективності транспорту

Мірою екологічної оцінки виступає показник ефективності для кожного виду транспорту з урахуванням впливу температурних змін (формула 1):

$$Ef = Ti(Pu/Ne), \quad (1)$$

де Ti – температурні зміни; Pu – показник цінності транспорту; Ne – негативний вплив на навколишнє середовище.

Показник цінності транспорту (Pu) характеризується ознаками перевізної і вантажно-розвантажувальної роботи. Оцінка роботи транспорту обчислюється з вантажних і пасажирських перевезень як наведений вантажообіг (формула 2):

$$Pu = \sum(G * Sg) + knp * \sum(Pa * Sp), \quad (2)$$

де: G – вага вантажу, т; Sg – дальність перевезення вантажу, т/км; Pa – кількість пасажирів, пас; Sp – дальність перевезення пасажирів, пас/км; knp – коефіцієнт перекладу пасажирообігу в вантажообіг. На залізничному, водному і автомобіль-

ному транспорті $knp = 1$, на повітряному транспорті $knp = 0,09$ [9].

Негативний вплив на навколишнє середовище (Ne) розраховується за формулою 3:

$$Ne = Kp(Ba + Cв + Zn + Po + Iv), \quad (3)$$

де: Ba – викид в атмосферу забруднюючих речовин від пересувних та стаціонарних джерел; $Cв$ – скидання забруднюючих речовин у поверхневі і підземні води, т; Zn – забруднення ґрунту; Po – розміщення відходів; $Iв$ – інші види негативного впливу на навколишнє середовище; Kp – коефіцієнт екологічної ситуації в регіоні.

Негативний вплив на навколишнє середовище з урахуванням вуглецевого сліду від експлуатації транспортних засобів визначається за питомою величиною маси викидів парникових газів, що утворюються на кожному етапі перевезення, наведеної до маси викидів діоксиду вуглецю за формулою 4:

$$N_6 = Pg/Py, \tag{4}$$

де: Pg – питома величина маси викидів парникових газів екв./ГДж, Py – маса викидів діоксиду вуглецю екв./ГДж.

Викиди CO_2 для всіх типів автомобільних двигунів обчислюються за формулою 5:

$$A_{CO_2} = \sum_1^n T_n * k_m * k_{CO_2} * \Phi_o, \tag{5}$$

де: T_n – споживання палива, т; k_m – перекладний множник, з тис. в ТДж (для бензину – 43,97 ТДж, дизельного палива – 42,50 ТДж, відпрацьованих масел – 40,19 ТДж, зріджених пропану і бутану – 47,31 ТДж[9]; k_{CO_2} – питомий коефіцієнт викидів CO_2 для автомобілів, що працюють на бензині – 69,3 т/ТДж, на дизельному паливі – 74,1 т/ТДж, на газі – 56,1 т/ТДж [9]; Φ_o – фракція окислення, приймається $\Phi_o=1$ [9]; n – число автомобілів.

При температурних коливаннях, особливо в холодний період, викиди парникових газів збільшуються через прогрів двигуна приблизно на 3% [9].

Графічно метод оцінки екологічної ефективності транспорту показаний на рис 4.

Зі збільшенням потужностей транспортної системи шляхом підвищення її ефективності, з позиції збільшення кількості вантажу, що перевозиться, або пасажирів відповідно значно збільшується рівень викидів забруднюючих речовин в навколишнє середовище. Негативний вплив, що є наслідком від експлуатації транспортних засобів, комплексно

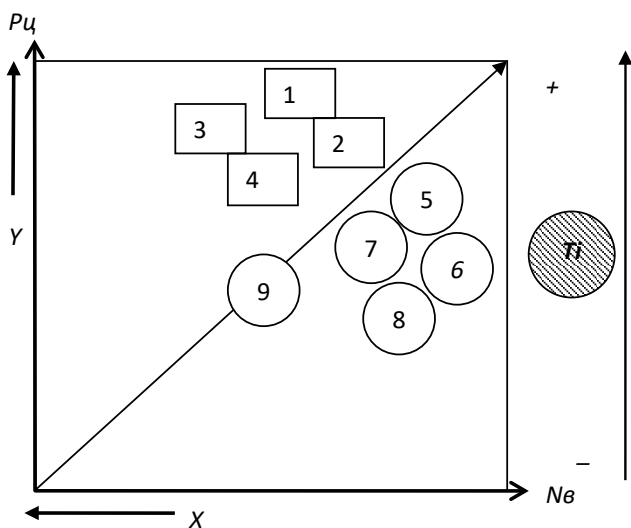


Рис. 4. Метод оцінки екологічної ефективності:

P_c – цінність транспортної системи; N_v – негативний вплив на навколишнє середовище; 1 – вага вантажу; 2 – дальність перевезення вантажу; 3 – кількість пасажирів; 4 – дальність перевезення пасажирів; 5 – викид в атмосферу забруднюючих речовин; 6 – забруднення води; 7 – забруднення ґрунту; 8 – розміщення відходів; 9 – вуглецевий слід; T_i – температурні зміни; X – зменшення негативного впливу на навколишнє середовище; Y – вдосконалення експлуатаційних характеристик транспорту

впливає на екологічну ситуацію в цілому. В тому числі це виражається в забрудненні повітря, води, ґрунту, а також зростанні відходів. Окремою проблемою виступає вуглецевий слід – концентрація CO_2 в атмосфері, підвищення якого при температурних змінах істотно впливає на зміну клімату, що в свою чергу веде до глобального потепління.

Саме тому для досягнення зменшення негативного впливу на навколишнє середовище без ціннісного збитку ефективності роботи транспортної системи необхідним є покращення експлуатаційних характеристик транспорту: вдосконалення двигунів, застосування альтернативних видів палив, використання гібридних енергетичних установ тощо.

Метод оцінки екологічної ефективності вимагає вартісної оцінки екологічного ефекту, який визначається за формулою 6:

$$E_c = C/Q, \tag{6}$$

де: E_c – екологічна ефективність транспорту в вартісному еквіваленті (грн); C – вартісна оцінка річного природоохоронного ефекту, грн/рік; Q – обсяг капітальних вкладень, грн/рік.

Для оцінювання екологічної ефективності транспорту використовуються методи ефективного управління: адміністративний і економічний, які забезпечують результати показників.

Адміністративний метод за допомогою наказів і розпоряджень виконує функцію регулювання і контролю. З цією метою визначається порядок несення відповідальності за екологічні наслідки управлінських рішень, створюється ефективна система програмно-цільового планування природоохоронних заходів. Проводиться екологічний моніторинг з використанням мережі стаціонарних і пересувних постів спостереження [10].

Економічний метод стимулює, створює умови матеріальної зацікавленості.

Ступінь досягнення екологічної ефективності визначається виконанням природоохоронних заходів:

- дотримання припустимих норм забруднення навколишнього середовища;
- вдосконалення маршрутної мережі транспорту, схем руху;
- витрачання на проведення природоохоронних заходів;
- запобігання шкоди навколишньому середовищу, зниження брудних викидів в атмосферу, водний басейн, зниження шуму тощо.

На завершення можна відзначити, що оцінка екологічної ефективності транспорту – безперервний процес збору і обробки даних та інформації, який вимагає постійного аналізу на предмет виявлення можливостей оптимізації.

Головні висновки. Досліджено метод оцінки екологічної ефективності транспорту в умовах температурних змін навколишнього середовища

на прикладі середніх декадних температур у м. Маріуполі в зимовий період 2014–2018 рр. Встановлено тісний зв'язок між процесом згоряння палива в двигунах транспортних засобів і температурною інверсією. Дані дослідження демонструють тенденцію до зростання температури, що в свою чергу впливає на кліматичні зміни. Визначено параметри екологічної ефективності транспортної системи. Для визначення ефективності транспорту використаний метод екологічної оцінки, встановлені показники методу. Сформовані закономірності негативного впливу на навколишнє середовище з урахуванням вуглецевого сліду від експлуатації транспортних засобів. Визначено

спосіб досягнення вартісної оцінки екологічного ефекту. Запропоновано шляхи зменшення негативного впливу на навколишнє середовище без ціннісного збитку ефективності роботи транспортної системи: удосконалення двигунів, застосування альтернативних видів палив, використання гібридних енергетичних установ, виконання природоохоронних заходів тощо.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати є певним внеском у дослідження як теоретичних, так і практичних аспектів екологічної ефективності роботи транспорту. У подальшому це сприятиме використанню розробленого методу на практиці.

Література

1. Лень В.С., Гнедіна К.В. Оцінка соціальної та екологічної ефективності функціонування міського пасажирського транспорту. *Економічний простір*. 2014. № 82. С. 94–103.
2. Эколого-экономический анализ эффективности использования газообразных энергоносителей в автомобильном транспорте. *Автомобильный транспорт* : сборник научных трудов / П.М. Канило, К.В. Костенко, М.В. Сарапина, М.А. Костыркин. Харьков : Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т, 2007. Вып. 21. С. 98–107.
3. Абржина Л.Л. Оценка эколого-экономической эффективности природоохранных мероприятий при эксплуатации автотранспорта: автореф. дис. ... канд. эконом. наук : 08.00.05. Екатеринбург, 2009. 23 с.
4. Корчагина Т.В. Оценка эффективности мероприятий повышения экологической безопасности автомобильных двигателей : автореф. дис. ... канд. эконом. наук : 08.00.05 ; Липецкий гос. технич. ун-т. Москва, 2000. 20 с.
5. Берестовой А.М. Синтез процессов и объектов в материальных потоках транспорта затвердевающих жидкостей : дис. ... докт. техн. наук. Мариуполь : ПГТУ, 2002. 528 с.
6. Павлова Е.И. Экология транспорта : учебник и практикум / Е.И. Павлова, В.К. Новиков. 5-е изд., перераб. и доп. Москва : Издательство Юрайт, 2017. 479 с.
7. Український гідрометеорологічний центр. *Інформаційний сервер погоди*. URL: <https://meteo.gov.ua/ua/34712> (дата звернення: 12.01.2020).
8. Горев А.Э. Теория транспортных процессов и систем : учебник. 2-е изд., испр. и доп. Москва : Издательство Юрайт, 2017. 217 с.
9. Руководство по инвентаризации выбросов ЕМЕП/ЕАОС 2009 (ред. 2013 г.). *Европейское агентство по окружающей среде*. URL: <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emep-eaos-po-inventarizacii/chast-b-glavy-posvyaschennye-tehnicheskim-aspektam/1-energetika/1-a-szhiganie/1-a-3-d-mezhdunarodnoe> (дата звернення: 14.01.2020).
10. Масленникова И.С. Экологический менеджмент и аудит : учебник и практикум / И.С. Масленникова, Л.М. Кузнецов. Москва : Издательство Юрайт, 2016. 328 с.

МІКРОМОРФОЛОГІЧНІ ОЗНАКИ (АНАТОМІЧНА СТРУКТУРА ЛИСТКІВ ТА СТЕБЕЛ, УЛЬТРАСТРУКТУРА НАСІНИН) *SEMPERVIVUM GLOBIFERUM* L.

Воробей П.М.¹, Футорна О.А.², Ольшанський І.Г.², Жигалова С.Л.², Безсмертна О.О.³

¹Інститут зоології імені Шмальгаузена Національної академії наук України
вул. Богдана Хмельницького, 15, Київ, 02000
vorobejpasha7@gmail.com

²Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного Національної академії наук України
вул. Терещенківська, 2, 01004, м. Київ
zhygalova2015@gmail.com, oksana_drofa@ukr.net, olshansky1982@ukr.net

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 64, 01601, м. Київ
olesya.bezsmertna@gmail.com

У статті наводяться результати мікроморфологічного дослідження (анатомічної структури листків та стебел, ультраструктури насінин) *Sempervivum globiferum* L. *Sempervivum globiferum* включений до Червоної книги України як *Jovibarba sobolifera* (Sims.) Opiz у статусі «рідкісний». Він знаходиться в Україні на південній межі ареалу. За гербарними та літературними даними авторами було встановлено поширення виду на території України і складена відповідна карта. Важливою причиною зміни чисельності популяцій є антропогенний вплив на них: викопування, знищення при розробках кар'єрів, будівництво, рекреація, витогування. Дослідження рідкісних і зникаючих видів є актуальним та необхідним у зв'язку з тим, що антропогенний вплив на навколишнє середовище призводить до зменшення біорізноманіття. Авторами було проведено аналіз зрізів листової пластинки та стебла, визначено їх анатомічні особливості, а також досліджена ультраструктура насінин *S. globiferum*. Отримані дані було порівняно з двома видами цього роду, які зростають на території України у схожих умовах та із загальними анатомічними характеристиками родини *Crassulaceae*. Аналіз результатів дослідження показав, що *S. globiferum* зберігає характерні анатомічні ознаки родини *Crassulaceae* та роду *Sempervivum*. Основними морфолого-анатомічними відмінностями досліджуваного виду від *S. ruthenicum* і *S. tectorum* є наявність двошарового епідермісу стебла та жолобчастої форми розрізу листової пластинки. Спільні риси спостерігаються у кільцевому типі провідної системи стебла, слабкому розвитку ксилеми та флоєми, не диференційованості мезофілу та розміщенні танінів. Також види мають амфістоматичні листки та продихи анізотипного типу. Насінини мають веретеноподібну форму, специфічну орнаментацию, що свідчить про посушливі місця зростання виду. *Ключові слова*: *Sempervivum*, анатомічні ознаки листка та стебла, *Crassulaceae*, ультраструктура насінин.

Micromorphological study (anatomical structure of lamina surface, ultrastructure of seeds) of *Sempervivum globiferum* L. Vorobej P., Futorna O., Olshanskyi I., Zhygalova S., Bezsmertna O.

The results of micromorphological study (anatomical structure of leaves and stems, seed ultrastructure) of *Sempervivum globiferum* L. *Sempervivum globiferum* is included in the Red Data Book of Ukraine as *Jovibarba sobolifera* (Sims.) Opiz in the status of "rare". It is located in Ukraine on the southern border of the area. According to herbarium and literary data we have established the distribution of the species in Ukraine and have made a map. An important cause of population change is the anthropogenic impact on them: excavation, destruction during quarrying, construction, recreation, trampling. The study of rare and endangered species is relevant and necessary in view of the fact that anthropogenic environmental impacts are reducing biodiversity. We analyzed cross-sections of leaf blade and stem, determined their anatomical features, and investigated the ultrastructure of *S. globiferum* seeds. We have compared the obtained data with two species of this genus that grow on the territory of Ukraine under similar conditions and with the general anatomical characteristics of the *Crassulaceae* family. Analysis of the results of the study showed that *S. globiferum* retains the typical anatomical features of the *Crassulaceae* family and the genus *Sempervivum*. The main morphological and anatomical differences of the studied species from *S. ruthenicum* and *S. tectorum* are the presence of a two-layer epidermis of the stem and a grooved form cross-section of the leaf blade. The circle type of the vascular tissue stem system, poor development of xylem and phloem, non-differentiation of mesophyll and disposition of tannins are the common features of these species. The species also has amphistomatic leaves and anisocytic stomata. The seeds have a fusiform shape, specific ornamentation, which indicates the arid habitat of the species. *Key words*: *Sempervivum*, anatomical features of leaf and stem, *Crassulaceae*, ultrastructure of seeds.

Постановка проблеми. На сьогодні набуває особливої актуальності проблема охорони біорізноманіття. У зв'язку з тим, що антропогенний вплив на навколишнє середовище призводить до зменшення біорізноманіття, дослідження рідкісних і зникаючих видів є актуальним та необхідним.

Актуальність дослідження. У роботі автори приймали обсяг родів за базою даних "Plants of the World online – Kew Science" (доступна онлайн: <http://www.plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:276452-1>) і розглядали рід *Sempervivum* у широкому розумінні (включаючи в нього рід *Jovibarba*).

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Для встановлення меж поширення *S. globiferum* на території України авторами були критично опрацьовані гербарні колекції Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (KW), Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України (KWHN), Ботанічного саду ім. академіка О.В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка (KWHU), Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна (CWU), Львівського національного університету імені Івана Франка (LW), Державного природознавчого музею НАН України (LWS), Інституту екології Карпат НАН України (LWKS), опрацьовані літературні джерела та проведені власні польові дослідження.

Виклад основного матеріалу. В Україні *S. globiferum* трапляється у Волинській, Рівненській, Київській, Чернігівській і Сумській областях (Андрієнко, 2008; Андрієнко та ін., 2009; Кузьмішина та ін., 2015; Панченко, Іванець, 2019). (Рис. 1).

Sempervivum globiferum – гемікриптофіт, сукулентна багаторічна трав'яна рослина з прикореневими розетками (2–5 см діаметром), які дають численні паросткові розетки. Прикореневі розетки з видовжено-клиноподібними листками (найширші у верхній третині), розетка зімкнена, майже куляста. Паросткові розетки розкриті, світло-зелені, їх листки яйцеподібні, загострені, війчасті. Стебло 15–25 (40)

см заввишки, товсте, пряме, опушене м'якими залозистими волосками. Стеблові листки широко- або яйцеподібно-ланцетні, по краю довговійчасті. Суцвіття щиткоподібне, з 3–4 завійок, квітки правильні, шестичленні, залозистоопушені, віночок світло-жовтий або зеленувато-білий. Плід – багатолістянка. Цвіте у липні-серпні, плодоносить у вересні. Розмножується переважно вегетативно (розетками), а також насіннево (Raunkiaer, 1934; Бордзіловський, 1953; Серебряков, 1962; Андрієнко та ін., 2009).

Sempervivum globiferum росте у Центральній і Східній Європі. Його відносять до рідкісних видів в Україні, Естонії, Словаччині, Польщі, Румунії та в багатьох регіонах Російської Федерації (Letachowicz, 1986; Letz, 1997; Андрієнко та ін., 2009). Узагальнені дані про зростання цього виду в РФ можна побачити тут: <http://oort.aari.ru/bio/86538>. *Sempervivum globiferum* включений до Червоної книги України як *Jovibarba sobolifera* (Sims.) Oriz у статусі «рідкісний». Він знаходиться в Україні на південній межі ареалу. Важливою причиною зміни чисельності популяцій є антропогенний вплив на них, а саме викопування, знищення при розробках кар'єрів, будівництві, рекреація, витоупування (Андрієнко та ін., 2009).

Морфолого-анатомічні ознаки широко застосовуються у систематиці рослин (Эсау, 1980; Barthlott, 1981; Zhygalova, Futorna, Levanets, 2014; Футорна, Жигалова, Ольшанський, 2016;

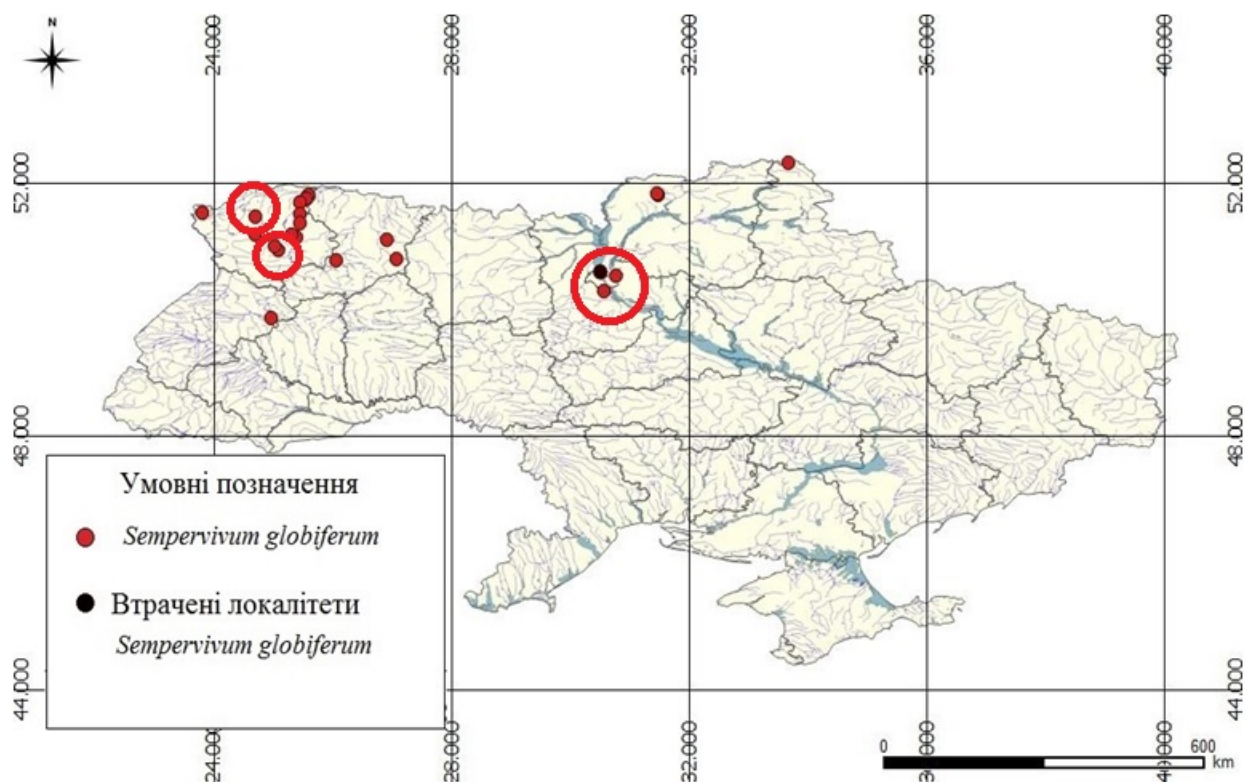


Рис. 1. Поширення *Sempervivum globiferum* L. на території України

Примітка: колами позначено місця збору матеріалу

Жигалова, Футорна, 2016; Wahyuni, 2019 та інші). У літературі досить широко представлені результати морфолого-анатомічних досліджень представників родини Crassulaceae, проте з роду *Sempervivum* найбільш дослідженими є види *S. tectorum* і *S. ruthenicum* (Борисовская, 1960; Гасанов, 1972; Хоружая, 1976; Березкина, 1985, 2013; Hart, 1989, 1994; Ільїнська, 1990 а, б, в; Ohba, 1990; Данилова, 1996; Бачаров, 2004; Кириленко, 2015; Kirilenko, 2016 та інші).

Метою роботи було встановити морфолого-анатомічні особливості рідкісного виду *S. globiferum* та порівняти результати досліджень із даними літератури по інших видах роду та родини в цілому для цілей систематики та таксономії.

Матеріали та методи. Для проведення анатомічних досліджень було здійснено два експедиційні виїзди та відібрано матеріал із чотирьох популяцій у двох областях – Волинській (околиці села Угли Ковельського району; східний берег озера Синове біля села Соколище Старовижівського району) та Київській (південно-східна околиця заказника «Лісники» біля села Ходосівка Києво-Святошинського району; східний берег озера Алмазне Деснянського району міста Києва) (Рис. 1).

Для анатомічних досліджень зразки фіксували в ФОС (формалін-оцтова кислота + спирт). З однієї популяції відбиралися листки з трьох особин. Беручи до уваги зміни будови мезофілу і проекції епідермальних клітин у різних частинах рослини, для аналізу завжди брали фрагменти стебла та листка в середніх частинах їх довжини.

При виготовленні препаратів вегетативних органів рослин на мікротомі-кріостаті дотримувалися методики А.П. Ільїнської та інших (Ільїнська, 2001). Епідермальну тканину вивчали додатково, досліджуючи її на скануючому електронному мікроскопі. Для цього відбирали непошкоджений рослинний матеріал, потім його фіксували на латунному столику і напилували у вакуумній камері тонким

шаром золота. Ультраскульптуру поверхні вивчали за допомогою СЕМ JSM-6060 LA. Описи анатомічної будови та виміри клітин проводили, використовуючи мікроскоп LM Carl Zeiss (PrimStar) з камерою ScopeTek (Etrek DCM 510).

Виміри проводились із використанням програми AxioVision 8.0. Для розрахунку статистичних показників ознак об'єм вибірок складав 50 вимірів для кожної. При підрахунку кількості клітин на одиницю площі об'єм вибірок складав 10 вимірів. Всі кількісно-анатомічні показники оброблялись методами варіаційної статистики за програмою "STATISTICA 10.0". Опис анатомічних ознак листків і стебел здійснювали за методикою Б.Р. Васильєва (Васильєв, 1988) та С.Ф. Захаревича (Захаревич, 1954). Оцінку анатомічних ознак листків і стебел досліджених видів здійснювали за класифікацією Б.Р. Васильєва з доповненнями (Васильєв, 1988).

Результати та їх обговорення. Анатомічна будова стебла. На поперечному зрізі стебло у рослин *S. globiferum* округлої форми. Епідермальна тканина двошарова, її клітини дрібні, ізодіаметричні або витягнуті в тангентальному напрямі. Клітини зовнішнього шару мають дещо потовщені зовнішні периклінальні стінки та шар кутикули. На поверхні епідерми розташовані численні залозисті булавоподібні волоски (Рис. 2, 3), які формують просте розсіяне опушення. На зовнішніх периклінальних стінках клітин епідерми наявна гладенька кутикула. Віск добре розвинений. Продихи розміщені розсіяно, дещо вище рівня основних епідермальних клітин. Продихові щілини в переважній більшості продихів закриті воском.

На поперечному розрізі чітко виділяється корова паренхіма, провідна система та серцевина. Корова паренхіма представлена хлоренхімою, безхлорофільною паренхімою та луб'яними волокнами. Хлоренхіма міститься субепідермально і представлена двома, дуже рідко трьома шарами великих пухко розміщених клітин (Рис. 4).

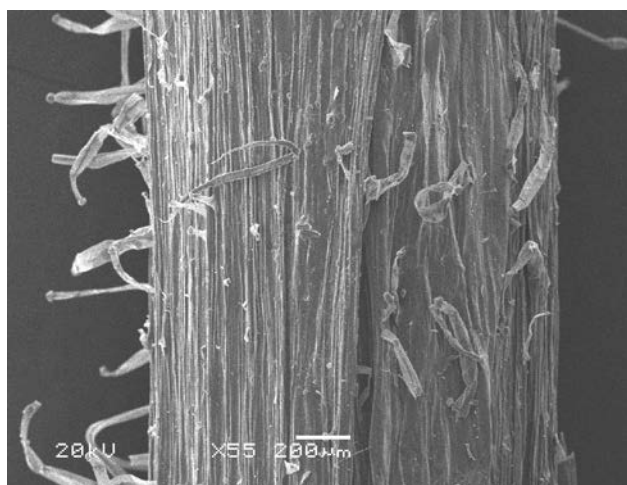


Рис. 2. Ультроструктура поверхні епідерми стебла із залозистими булавоподібними волосками



Рис. 3. Булавоподібний волосок на поверхні епідерми стебла

Клітини хлоренхіми дещо витягнуті вертикально, чим і відрізняються від клітин покривної тканини. Глибше розміщуються шари клітин безхлорофільної паренхіми, які за розміром не відрізняються від клітин хлоренхіми. Луб'яні волокна розміщуються безперервним потужним кільцем.

Провідна система кільцевого типу. Елементи флоєми дрібні, ледь помітні. Невеликі судини ксилеми розміщуються радіальними рядами. Між елементами ксилеми спостерігаються масиви склеренхіми.

Серцевина змішана. Її клітини варіюють за розміром, від більших у центрі стебла до дрібніших по периметру лярній зоні. Таніни містяться в клітинах епідерми, у безхлорофільній паренхімі, в багатьох клітинах флоєми і в серцевині, а також у деяких клітинах кори (Рис. 4).

Анатомічна будова листкової пластинки. На поперечному розрізі форма листкової пластинки рослин цього виду – жолобчаста. Листкова пластинка $2235,6 \pm 7,11$ мкм завтовшки, вона характеризується як надзвичайно товста (класифікація Б.Р. Васильєва). Епідермальна тканина однорядна, загальна її товщина дорівнює $82 \pm 7,7$ мкм, що становить 3,66% від товщини листка. З обох боків листка на епідермі спостерігається добре виражений шар кутикули. Верхня епідермальна тканина дрібноклітинна, її товщина

дорівнює $40 \pm 5,7$ мкм або 1,78% від товщини листкової пластинки. На поперечному зрізі її клітини помітно витягнуті в горизонтальному напрямі, мають тонкі зовнішні стінки. Клітини епідермальної тканини варіюють від дрібних (побічних клітин продохів) до дуже великих (таніновмісних ідіобластів) (Рис. 5).

Адаксіальна епідерма характеризується середнім числом продохів, продоховий індекс дорівнює 17%. Товщина нижньої епідерми дорівнює $42 \pm 5,9$ мкм або 1,87% від товщини листкової пластинки. Клітини нижньої епідерми подібні до клітин верхньої епідерми формою, розміром, меншим продоховим індексом (14%). При розгляді в парадермальній площині епідермальні клітини з обох боків листка мають звивисті (клітини, які розміщуються по периферії листка) обриси та прямокутні проекції. Продихи анізоцитного типу орієнтовані своєю більшою віссю вздовж листкової пластинки (Рис. 5). Листок амфістоматичний.

Мезофіл не диференційований, характеризується як багатошаровий. З верхнього боку розміщені п'ять-шість шарів округлих і досить упорядкованих палисадоподібних клітин (товщина становить $2159 \pm 8,3$ мкм). Із нижнього боку листка клітини мезофілу також округлі, але більшого розміру і розміщені пухкіше, ніж це характерно для клітин губчастої паренхіми.

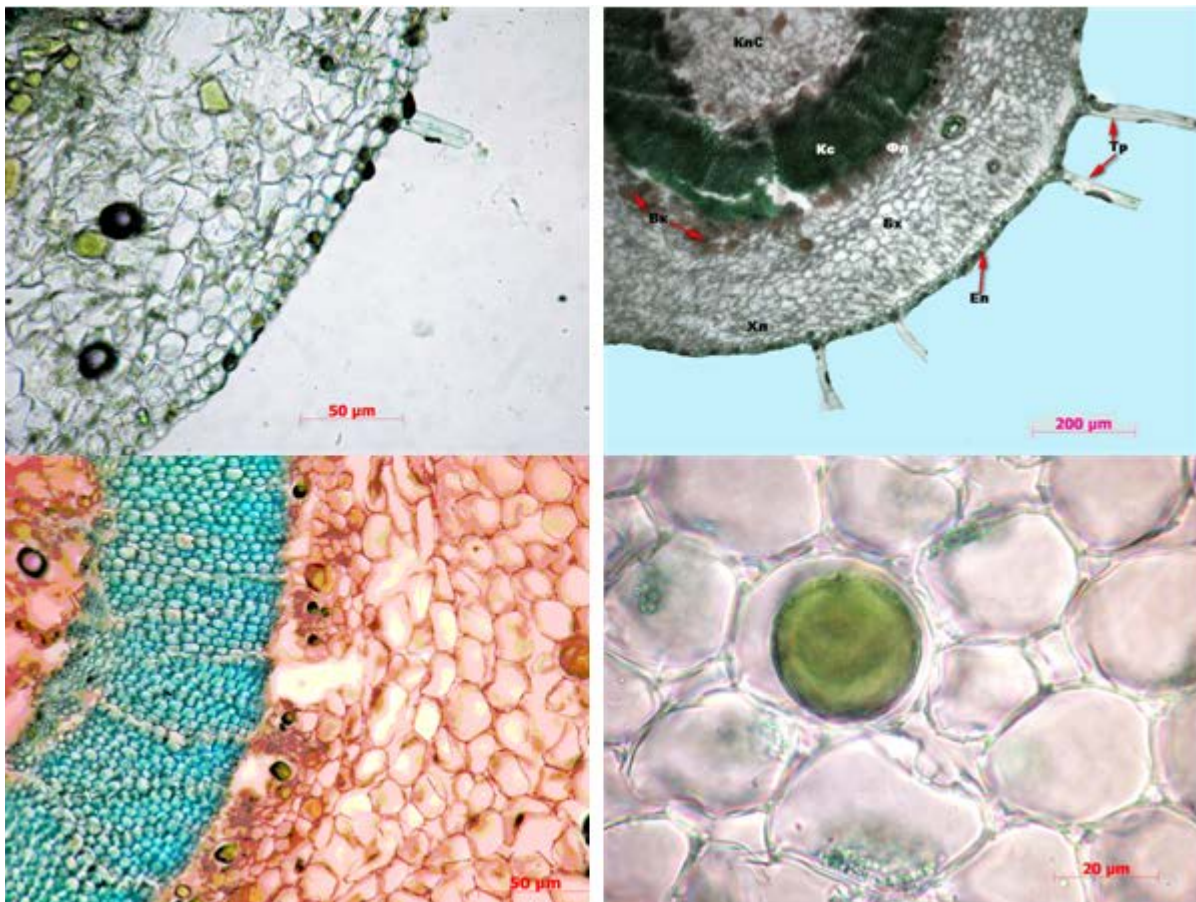


Рис. 4. Поперечний розріз стебла: КлС – клітини склеренхіми, Кс – ксилема, Фл – флоєма, Вк – вклучення, Бх – безхлорофільна хлоренхіма, Хл – хлоренхіма, Е – епідерма, Тр – трихоми (забарвлення діамантовим зеленим). Клітина безхлорофільної паренхіми стебла, заповнена танінами (забарвлення діамантовим зеленим)

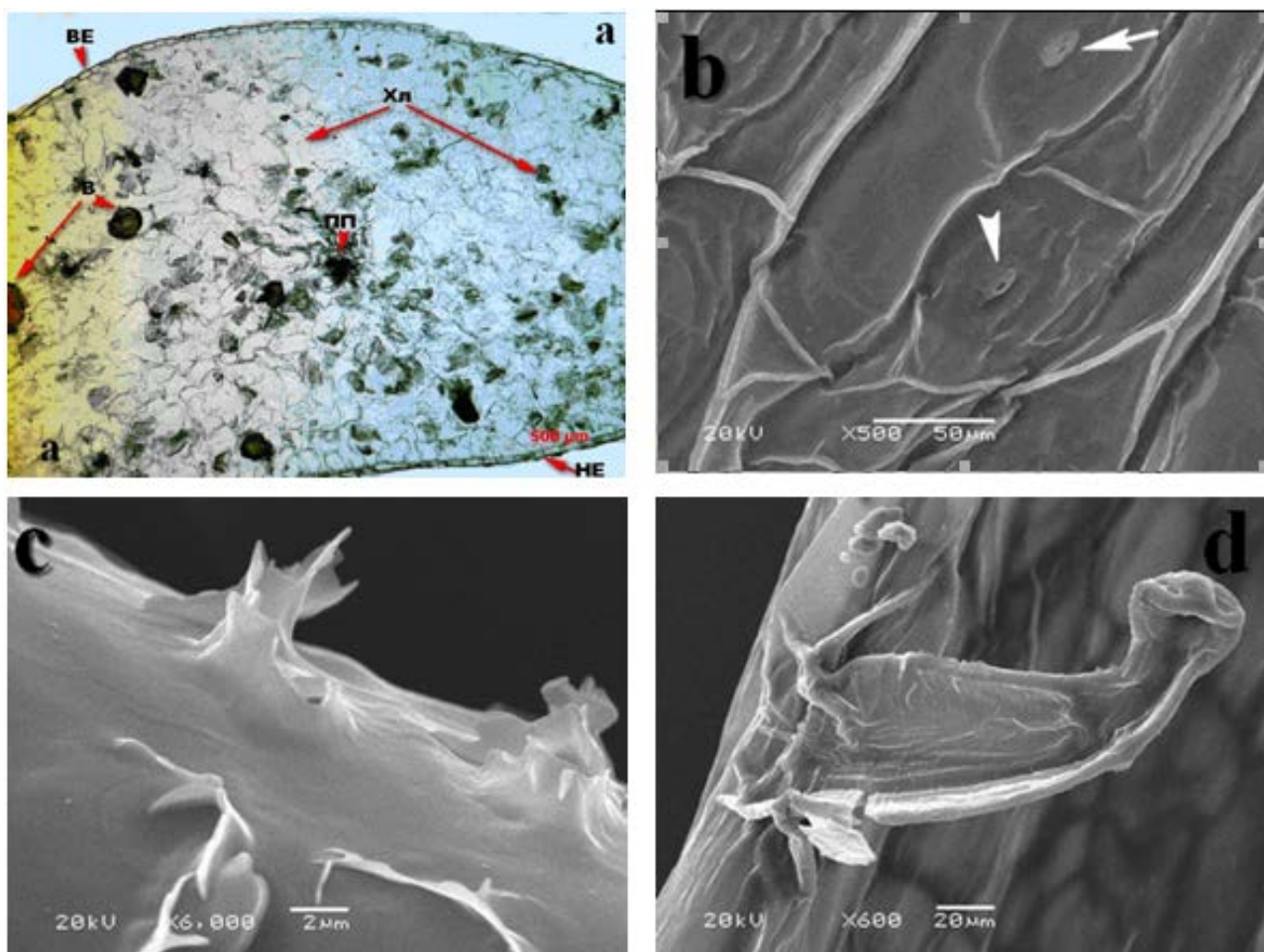


Рис. 5. а – поперечний розріз листкової пластинки: ВЕ – верхня епідерма, Хл – хлоренхіма, В – включення, ПП – провідні пучки, HE – нижня епідерма (зabarвлення діамантовим зеленим); b, c, d – ультраструктура поверхні листкової пластинки. Стрілками вказані прорихи анізоцитного типу

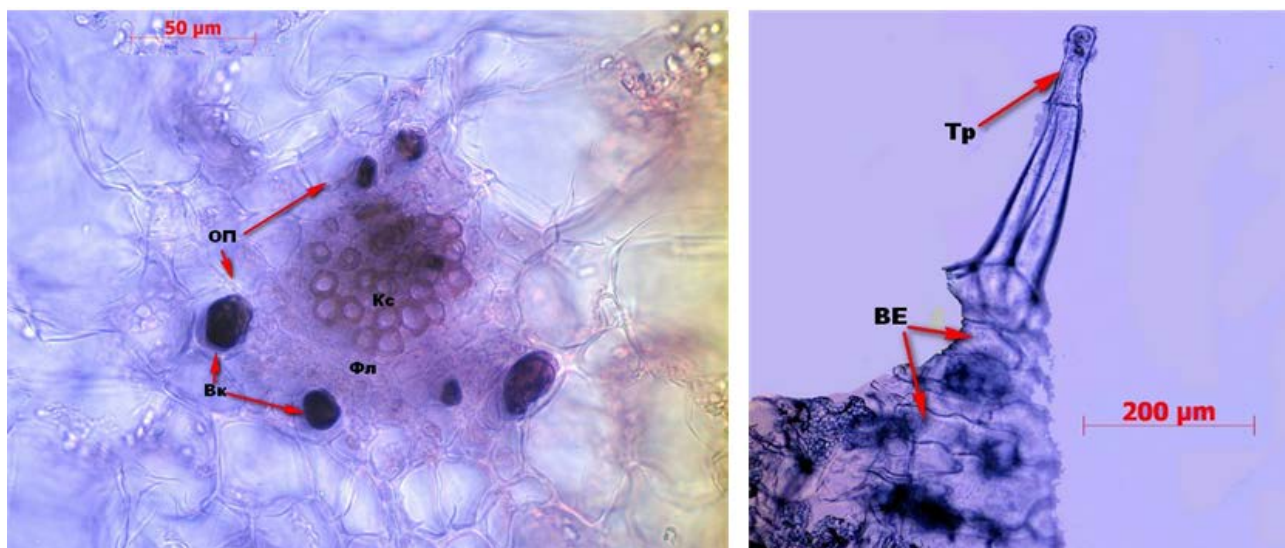


Рис. 6. Анатомічна структура листкової пластинки: Кс – ксилема, Фл – флоема, ОП – обкладка провідних пучків, Вк – включення, Тр – трихоми; ВЕ – верхня епідерма

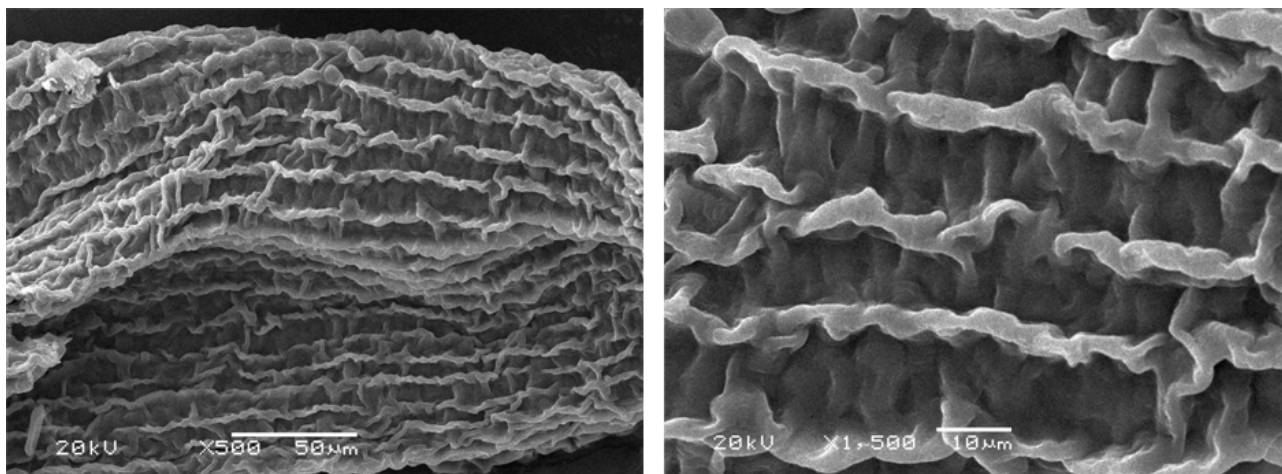


Рис. 7. Ультраструктура поверхні насінин *S. globiferum*

Провідна система у рослин цього виду дуже слабо розвинена, представлена малим центральним провідним пучком і двома парами бічних пучків, які мають виразні безхлорофільні обкладки та в яких практично відсутня механічна тканина. У ксилемі центрального провідного пучка, а також найбільших бічних пучка розвинена незначна кількість судин ксилеми. Флоема в усіх провідних пучках листка розвинена дуже слабо. Провідні пучки супроводжуються паренхімними клітинами, які містять таніни (Рис. 6).

Анатомічна структура насінин. Насінини веретеноподібні, $768,5 \pm 2,2$ мкм завдовжки, з помітно звуженим мікропілярним і заокругленим халазним кінцем. Рубчик округлий. Рафе добре виражене, має вигляд борозни, тягнеться вздовж насінини до халазного кінця. Рельєф (загальний вигляд насінневої шкірки) східчастий. Форма клітин спермодерми кутова, прямокутна. Дистальні та проксимальні антиклінальні стінки клітин мають різну товщину: значно потовщеними є дистальні антиклінальні стінки, не потовщені – проксимальні стінки клітин. Межі клітин погано проглядаються. Кутикула гладенька. Епікутикулярний віск – плівки (Рис. 7).

Загалом авторами було проведено аналіз зрізів листової пластинки та стебла, визначено їх анатомічні особливості, а також досліджено ультраструктуру насінин *S. globiferum*. Отримані дані було порівняно з двома видами цього роду, які зростають на території України у схожих умовах та із загальними анатомічними характеристиками родини *Crassulaceae*. Аналіз результатів дослідження показав, що *S. globiferum* зберігає характерні анатомічні ознаки родини *Crassulaceae* та роду *Sempervivum*.

Основними морфолого-анатомічними відмінностями досліджуваного виду від *S. ruthenicum* і *S. tectorum* є наявність двошарового епідермісу стебла та жолобчастої форми розрізу листової пластинки. Спільні риси спостерігаються у кільцевому типі провідної системи стебла, слабкому розвитку

ксилеми та флоєми, не диференційованості мезофілу та розміщенні танінів. Також види мають амфістома-тичні листки та продири анізоцитного типу.

За літературними даними види роду *Sempervivum* мають у своєму складі речовину кемпферол, яка накопичується в спеціалізованих секреторних клітинах паренхіми листка (Abram, 1999; Calderon-Montaño, 2011). Наразі ця речовина використовується в протиракових цілях. У листках і стеблах *S. globiferum* автори зафіксували клітини з включеннями танінів. На їх думку, ці включення і є кемпферолом, проте для підтвердження цього потрібні додаткові дослідження.

Головні висновки. Таким чином, авторами встановлені і/або уточнені певні морфолого-анатомічні ознаки *S. globiferum*. Епідермальна тканина двошарова, її клітини дрібні, дещо витягнуті, ізодіаметричні або витягнуті в тангентальному напрямі, мають дещо потовщені стінки та шар кутикули. Чітко виділяється коро́ва паренхіма, провідна система та серцевина. Коро́ва паренхіма представлена хлоренхімою, безхлорофільною паренхімою та луб'яними волокнами. Хлоренхіма міститься субепідермально і представлена двома, дуже рідко трьома шарами великих пухко розміщених клітин.

Провідна система кільцевого типу, що характерно для роду *Sempervivum*. Елементи флоєми дрібні, ледь помітні. Невеликі судини ксилеми розміщуються радіальними рядами. Між елементами ксилеми спостерігаються масиви склеренхіми. Серцевина змішана. Її клітини варіюють за розміром, від більших у центрі стебла до дрібніших по периферії. Таніни містяться в клітинах епідерми, у безхлорофільній паренхімі, в багатьох клітинах флоєми і в серцевині, а також у деяких клітинах кори.

Листок *S. globiferum* на поперечному розрізі має жолобчасту форму. Листкова пластинка характеризується як надзвичайно товста. Епідермальна тканина однорядна. З обох боків листка на епідермі спостерігається добре виражений шар кутикули. Верхня епі-

дермальна тканина дрібноклітинна. На поперечному зрізі її клітини помітно витягнуті в горизонтальному напрямі, мають тонкі зовнішні стінки. Клітини на одному зрізі однієї сторони листка варіюють від дрібних (побічних клітин продохів) до дуже великих (таніновмісних ідіобластів). Адаксіальна епідерма характеризується середньою кількістю продохів. Товщина нижньої епідерми дорівнює $42 \pm 5,9$ мкм або 1,87% від товщини листової пластинки. Клітини нижньої епідерми подібні до клітин верхньої епідерми за формою, розміром, меншим продоховим індексом.

Продихи анізоцитного типу, що характерно для представників родини *Crassulaceae*. Листок амфістоматичний. Мезофіл не диференційований,

багат шаровий. З верхнього боку розміщені п'ять-шість шарів округлих і досить упорядкованих палисадноподібних клітин. Із нижнього боку листка клітини мезофілу також округлі, але більшого розміру і розміщені пухкіше, ніж це характерно для клітин губчастої паренхіми. Провідна система дуже слабо розвинена, представлена малим центральним провідним пучком і двома парами бічних пучків, які мають виразні безхлорофільні обкладки та практично відсутня механічна тканина. Флоема в усіх провідних пучках листка розвинена дуже слабо. Провідні пучки супроводжуються паренхімними клітинами, які містять таніни. Насінини мають веретеноподібну форму, специфічну орнаментацию, що свідчить про посушливі місця зростання виду.

Література

1. Abram V. Tentative Identification of Polyphenols in *Sempervivum tectorum* and Assessment of the Antimicrobial Activity of *Sempervivum* L. / V. Abram, M. Donko. J. Agric. Food Chem. 1999. № 47 (2). P. 485–489.
2. Barthlott W. Epidermal and seed surface characters of plants: systematic *Berger A.* applicability and some evolutionary aspects. *Nord. J. Bot.* 1981. Vol. 1. № 3. P. 345–354.
3. Calderon-Montano J.M. A review on the dietary flavonoid kaempferol [et al.]. *Mini Rev Med Chem.* 2011. Vol. 11. № 4. P. 298–344.
4. Hart H. The origin of the woody *Sedoideae* (Crassulaceae). *Taxon.* 1989. Vol. 38. № 4. P. 535–534.
5. Hart H. The unilacunar two-trace nodal structure of the caudex of *Rhodiola rosea* L. (Crassulaceae). *Bot. J. Linn. Soc.* 1994. Vol. 116. P. 235–241.
6. Kirilenko N.A. Structural peculiarities of vegetative organs of *Sempervivum tectorum* L. (Crassulaceae) and *Salicornia europaea* L. (Chenopodiaceae) – residents of extreme habitats. *Journal of Education, Health and Sport.* 2016. № 6 (9). P. 883–892.
7. Letachowicz B. Ekologiczna charakterystyka populacji *Sempervivum soboliferum* Sims na pogórzu Sudeckim. *Monographiae Botanicae.* Vol. 68. Warszawa : Państwowe wydawnictwo naukowe, 1986. 61 s.
8. Letz R. *Jovibarba globulifera* (L.) J. Parn. (Crassulaceae, Sempervivoideae) in Bratislava (Slovakia): notes on taxonomy, nomenclature, distribution, ecology and conservation status. *Biologia* (Bratislava). 1997. 52. P. 41–47.
9. Ohba H. Notes towards a monograph of the genus *Orostachys* (Crassulaceae). *J. Jap. Bot.* 1990. Vol. 65. № 7. P. 193–203.
10. Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography; being the collected papers of C. Raunkiaer. Oxford : Clarendon Press, 1934. 632 p.
11. Wahyuni Dwi Kusuma, Rahayu Shilfiana, Purnama Putut Rakhmad, Saputro Triono Bagus, Suharyanto, Wijayanti Nastiti, Purnobasuki Hery. Morpho-anatomical structure and DNA barcode of *Sonchus arvensis* L. *Biodiversitas.* 2019. № 20 (8). P. 2418–2427.
12. Zhygalova S., Futorna O., Levanets A. Micromorphological study (ultrastructure of lamina surface, seeds, ultrasculpture of pollen grains) of *Gladiolus* L. species (Iridaceae Juss.) of Ukrainian flora. *Environmental & Socio-economic Studies.* 2014. № 2, 4. P. 21–27.
13. Андрієнко Т.Л., Конішук В.В., Панченко С.М. Борідник паростковий. *Червона книга України. Рослинний світ* / за ред. Я.П. Дідуха. К. : Глобалконсалтинг, 2009. с. 414.
14. Бачаров Д.С. [и др.] Морфолого-анатомические и физиологические особенности семян *Rhodiola rosea* (Crassulaceae). *Ботан. журн.* 2004. Т. 89, № 4. С. 625–631.
15. Березкина В.И. Особенности анатомического строения вегетативных органов некоторых представителей рода очитков (*Sedum* L.). *Охрана, изучение и обогащение растительного мира.* 1985. № 12. С. 103–107.
16. Березкина В.И. Особливості анатомо-морфологічної будови вегетативних органів секції *Sedum* роду *Sedum* L. (Crassulaceae DC). *Modern Phytomorphology.* 2013. № 4. С. 299–301.
17. Бордзіловський Є.І. Рід 385. Молодило – *Sempervivum* L. *Флора УРСР.* Т. 5. Київ : Вид-во АН УРСР, 1953. С. 446–451.
18. Борисовская Г.М. Анатомо-систематическое исследование некоторых представителей семейства Crassulaceae DC. *Вестн. ЛГУ. Сер. биол.* 1960. Т. 21. № 4. С. 159–162.
19. Васильев Б.Р. Строение листа древесных растений различных климатических зон. Л. : ЛГУ, 1988. 208 с.
20. Гасанов М.М. К анатомии вегетативных органов некоторых суккулентов флоры Азербайджана. *Новости АН АзССР. Сер. Биол.* 1972. № 1. С. 16–20.
21. Данилова М.Ф. Сравнительная анатомия семян: Crassulaceae. СПб : Мир и семья. 1996. Т. 5. С. 249–285.
22. Жигалова С., Футорна О. Ультраструктура поверхні насінин видів підроду *Xyridion* (Tausch) Spach роду *Iris* L. (*Iridaceae*) флори України. *Modern Phytomorphology.* 2016. № 9. С. 97–105.
23. Захаревич С.Ф. К методике описания эпидермиса листа. *Вестн. Ленинград. ун-та.* 1954. №4. С. 65–75.
24. Ільїнська А.П. Анатомічне дослідження вегетативних органів видів роду *Sedum* L. серії *Aizoon* Koch. *Укр. ботан. журн.* 1990в. Т. 47. № 6. С. 23–27.
25. Ільїнська А.П. Анатомічне дослідження представників роду *Sedum* L. – *S. eversii* Ldb. та *S. ruprechtii* (Jalas) Omelcz. *Укр. ботан. журн.* 1990б. Т. 47. № 4. С. 23–27.
26. Ільїнська А.П. [та ін.]. Методика виготовлення препаратів вегетативних органів рослин на мікротом-криостаті. *Укр. ботан. журн.* 2001. Т. 58. № 2. С. 256–260.

27. Ільїнська А.П. Анатомічне дослідження представників родини Crassulacea – *Sempervivum ruthenicum* Schnittsp. et C. B. Lehm та *Rhodiola rosea* L. *Укр. ботан. журн.* 1990а. Т. 47. № 3. С. 24–28.
28. Кириленко Н.А. Особливості анатомо-морфологічної будови Crassulaceae, їх таксономічне та еволюційне значення. *Вісник ОНУ. Біологія.* 2015. Т. 20. Вип. 1. № 36. С. 40.
29. Кузьмішина І.І., Коцун Л.О., Войтюк В.П. Нова знахідка *Jovibarba globulifera* (Crassulaceae) у Волинській області (Україна). *Укр. ботан. журн.* 2015. № 72 (1). С. 19–21.
30. Панченко С., Іванець В. 50 рідкісних рослин Сумщини. Атлас-довідник. Чернівці : Друк Арт, 2019. 64 с.
31. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений: Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М. : Высшая школа, 1962. 378 с.
32. Футорна О., Жигалова С., Ольшанський І. Мікроморфологічна характеристика (анатомічна структура листків та стебел, ультраструктура плодів, ультраскульптура пилоквих зерен) *Sonchus oleraceus* L. (Asteraceae). *Чорноморськ. бот. ж.* 2016. № 12 (2). С. 141–153.
33. Хоружая Т.Г. Сравнительное ботанико-химическое исследование *Rhodiola quadrifida* и *Rhodiola coccinea* : автореф. дис. канд. биол. Наук. М., 1976. 23 с.
34. Эсау К. Анатомия семенных растений. М. : Мир, 1980. Т. 1, 2. 558 с.

ДОЦІЛЬНІСТЬ ОБРОБІТКУ ТА ВИКОРИСТАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ (CHLORELLA) ЯК ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

Кірсанова В.В.

Дунайський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»

вул. Фанагорійська, 9, 68607, м. Ізмаїл, Одеська обл.

vvkirsanova@ukr.net

У статті здійснено аналіз доцільності обробітку і використання мікрободоростей (хлорели) як органічних добрив. Встановлено, що екстракти водоростей містять велику кількість цитокінінів, бетаїн, альгополіфеноли, вітаміни, гормони, природні антиоксиданти і мінеральні елементи (Mg, Ca, B, Mo та інші). Виявлено сприяння цих факторів на ріст і розвиток рослин (стимулюють поділ клітин, диференціацію калусної тканини) і підвищення показників родючості ґрунту. Здійснено історико-ретроспективний аналіз процесу використання хлорели як органічного добрива. Узагальнено, що синьо-зелені водорості здавна використовуються на рисових полях як біодобрива. Представники роду *Anabena* в симбіозі з папороттю *Azolla* здатні за сезон зв'язати до 60 кг/га азоту, а також є цінним джерелом органічної речовини, що поліпшує родючість ґрунту. При цьому мікрободорості є поновлюваним ресурсом, на відміну від промислового виробництва азотних добрив. Поряд із азотфіксацією водорості виділяють речовини, які поліпшують ріст рослин. З'ясовано, що біомаса водоростей розглядається як органічне добриво, причому вигідно відрізняється від традиційних видів, оскільки не містить ні патогенної мікрофлори, ні залишків бур'янів, ні шкідників. Конкретизовано негативний вплив традиційних мінеральних добрив на мікрофлору ґрунту. Проаналізовано технологію обробітку хлорели. Виявлено позитивний вплив біомаси хлорели на мікрофлору і родючість ґрунту. Узагальнено, що застосування *Chlorella vulgaris* засноване на дуже високому вмісті в ній біологічно цінних речовин. Суха біомаса *Chlorella vulgaris* містить більше 45 % сирого протеїну, включаючи незамінні амінокислоти, 30–35 % вуглеводів, 7–10 % жиру. У складі зеленої клітини містяться незамінні в харчуванні тварин амінокислоти: лізин (≈10 %), метіонін (≈1 %), триптофан (≈2 %), аргінін (≈15 %), гістидин (≈3 %), лейцин (≈6 %), ізолейцин (≈3 %), феніланін (≈2 %), треонін (≈2 %) валін (≈5 %), а також хлорофіл (≈2 %). *Ключові слова:* мікрободорості, хлорела, органічні добрива, ґрунт, родючість ґрунту.

The expediency of cultivating and using microalgae (chlorella) as organic fertilizers. Kirsanova V.

The article analyzes the feasibility of the cultivation and use of microalgae (chlorella) as organic fertilizer. Algae extracts have been defined to contain a large amount of cytokines, betaine, algopolyphenols, vitamins, hormones, natural antioxidants and mineral elements (Mg, Ca, B, Mo, etc.). It has been revealed that these factors contribute to the growth and development of plants (stimulate cell division, differentiation of callus tissue) and the increase in soil fertility indicators. The historical and retrospective analysis of the process of using cholera as an organic fertilizer has been carried out. It has been summarized that blue-green algae has long been used on rice fields as bio-fertilizers. Species of the genus *Anabena* in symbiosis with fern *Azolla* are able to fix up to 60 kg / ha of the nitrogen over a season, as well as being a valuable source of organic substance that improve soil fertility. At the same time, microalgae are a renewable resource, in contrast to the industrial production of nitrogen fertilizers. Along with nitrogen fixation, algae secrete substances that improve plant growth. It has been established that the biomass of algae is considered as an organic fertilizer. Moreover, it differentiates favorably from traditional species, since it does not contain pathogenic microbial flora, weed residues, or invaders. The negative impact of traditional mineral fertilizers on the soil microbial flora and consequences is specific. It has been analyzed the processing technology of chlorella. The positive effect of chlorella biomass on the microbial flora and soil fertility has been revealed. It has been generalized that the use of *Chlorellavulgaris* is based on its high content of biologically valuable substances. *Chlorellavulgaris* dry biomass contains more than 45 % of crude protein, including essential amino acids, 30–35 % of carbohydrates, 7–10 % of fat. The green cell contains essential amino acids in animals' nutrition: lysine (≈10 %), methionine (≈1 %), tryptophan (≈2 %), arginine (≈15 %), histidine (≈3 %), leucine (≈6 %), isoleucine (≈3 %), phenylamine (≈2 %), threonine (≈2 %) valine (≈5 %), and also chlorophyll (≈2 %). *Key words:* microalgae, chlorella, organic fertilizers, soil, soil fertility.

Постановка проблеми. Мікрободорості стоять на початку трофічних систем, відіграючи найважливішу роль у функціонуванні всієї біосфери. Але останнім часом все більше уваги привертає їх промислове виробництво, оскільки вони знаходять своє застосування в різних сферах народного господарства: це виробництво продуктів харчування, кормів, біопалива, а також новий перспективний напрям – виробництво органічних добрив [1; 3; 5].

Ідея культивування мікрободоростей у промислових масштабах виникла в Німеччині в середині минулого століття, коли намагалися отримувати

харчові масла з діатомових водоростей, проте обрані культури характеризувалися низькою продуктивністю [5; 11]. Незабаром увагу вчених привернули зелені мікрободорості з родів *Chlorella* і *Scenedesmus*, які переважно і культивувалися в наступні роки. Однак у той час ще слабо були розроблені технологічні особливості вирощування мікрободоростей, тому інтерес до них тимчасово знизився. Поновлення досліджень в галузі промислового культивування мікрободоростей почалося з кінця 60-х років, інтерес до них не вщухає й дотепер [8; 9].

Актуальність дослідження. Культивування мікроводоростей для подальшого їх використання як органічних добрив набуває неабиякої актуальності, адже забруднення ґрунтів мінеральними добривами з року в рік набуває все більш широкого масштабу та стає одним із основних екологічних чинників, які впливають на якість отриманої продукції та якість ґрунту. Це відбувається в результаті щорічного використання засобів захисту рослин і підвищення родючості ґрунту на великих територіях [4–6].

Внесення добрив не лише сприяє забрудненню ґрунту, але й накопиченню компонентів добрив у продуктах харчування та у підземних водоносних горизонтах, що катастрофічно зменшує запаси прісної води, придатної до використання [10; 11]. Так, за рахунок потрапляння великої кількості нітратів у водоносні горизонти в багатьох криницях були виявлені перевищені показники забруднення води, і вони були визнані не придатними до подальшого використання як питної води.

Вирощування мікроводоростей у промислових масштабах має вже піввікову історію. Отримана біомаса використовується в сільському господарстві, в харчовій промисловості, парфумерії, фармакології, медицині і в інших галузях народного господарства [12]. Світова альгофлора налічує близько 40 тисяч видів (в Україні – понад 5 тисяч видів), але найбільш перспективними вважають представників сімейств *Chlorella*, *Dunaliella*, *Scenedesmus*, *Spirulina*.

Найпродуктивнішими виявилися діатомові (крем'яні) водорості (*Diatoms*) і зелені водорості (*Chlorophyceae*) [7; 8]. Також були виведені нові штами водоростей, які характеризуються високою продуктивністю і олійністю. Перспективним зразком біотехнологічних розробок визнано зелену колоніальну водорість *Botryococcus braunii*. Вона містить понад 70% вуглеводів від маси сухої речовини, має широку екологічну амплітуду і значний географічний ареал поширення, може успішно рости в умовах України, тоді як у світових господарствах мікроводорості успішно використовуються для підвищення родючості ґрунтів, для поповнень запасів органічної речовини, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. З цієї метою застосовують зелені (*Ch. Vulgaris*, *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus spinosa*) і синьо-зелені мікроводорості (сімейства *Nostocaceae*) [8]. Це широко використовується при вирощуванні рису, де в чеках мешкає велика кількість синьо-зелених водоростей, серед яких багато азотфіксаторів.

Ефективною є альгалізація ґрунту – внесення живих культур мікроводоростей у ґрунт, особливо в умовах зрошуваного землеробства. Її проводять до посіву або при посіві разом із насінням (наприклад із бавовником), або водорості вносять після посіву, що особливо ефективно на рисових полях.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проблема збереження навколишнього середовища, зокрема й ґрунтових масивів, задекларована як одна з тих, що потребує негайного вирішення. Про це йдеться у Стратегії сталого розвитку України до 2030 року. Тому питання мінімізації забруднення ґрунтів мінеральними добривами шляхом обробітки і використання мікроводоростей (хлорели) як органічних добрив автор вважає актуальним науковим і практичним завданням.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Детальний аналіз наукової літератури засвідчив відсутність цілеспрямованих наукових розвідок у напрямі доведення актуальності та доцільності обробітки і використання мікроводоростей (хлорели) як органічних добрив, що підтверджує необхідність здійснення цієї наукової розвідки.

Новизна статті полягає в констатації факту, згідно з яким мікроводорості слугують індикаторами стану ґрунтів, використовуються в якості тест-об'єктів при визначенні потреби ґрунту в добривах, індикаторами при випробуванні різних пестицидів. За рахунок своєї чутливості до будь-яких змін середовища існування мікроводорості є невід'ємними учасниками ґрунтового моніторингу.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає у конкретизації технологічних шляхів культивування суспензії мікроводоростей *Chlorella*.

Виклад основного матеріалу. Синьо-зелені водорості здавна використовуються на рисових полях як біодобрива. Представники роду *Anabena* в симбіозі з папороттю *Azolla* здатні за сезон зв'язати до 60 кг/га азоту, а також є цінним джерелом органічної речовини, що поліпшує родючість ґрунту. При цьому мікроводорості є поновлюваним ресурсом, на відміну від промислового виробництва азотних добрив. Поряд із азотфіксацією водорості виділяють речовини, які поліпшують ріст рослин. Враховуючи те, що азотні мінеральні добрива є швидко розчинними, вони вносяться декілька разів протягом всього періоду вегетації рослин [6]. Проте постійне випадання атмосферних опадів призводить до того, що більша частина внесених добрив не засвоюється кореневою системою рослин і вимивається в глибинні шари ґрунту, що призводить до його забруднення.

З огляду на те, що втрати добрив із орного шару ґрунту складають до 40%, існує реальна загроза потрапляння великої кількості нітратів у підземні водоносні горизонти [1; 2]. Негативний вплив мінеральних добрив на стан ґрунтів підтверджується й тим фактом, що згаданий вид добрив вбиває бактерії, які живуть у ґрунті, в результаті чого сповільнюється процес утворення гумусу. За таких умов збільшення врожаю сільськогосподарських культур досягається за рахунок зниження родючості орних земель.

Будучи постійним і характерним складником живого мікросвіту ґрунтів, *Chlorella vulgaris* Beijer розвивається в безперервній і різноманітній взаємодії з ґрунтовими мікроорганізмами і вищими рослинами. Вона безпосередньо впливає на життєдіяльність мікроорганізмів, які населяють ґрунт. Її органічна речовина відрізняється легкою засвоюваністю і дає високий енергетичний ефект, завдяки чому її використовують багато гетеротрофних мікроорганізмів ґрунту. Сутність взаємодії бактерій і мікроводоростей полягає в тому, що мікроводорості постачають гетеротрофні організми енергетичним матеріалом. Серед виділень мікроводоростей виявлені вітаміни, ауксини і багато позаклітинних ферментів, які впливають також і на розвиток бактерій [4, с. 1576–1580]. Загалом біомаса водоростей розглядається як органічне добриво, причому вигідно відрізняється від традиційних видів, оскільки не містить ні патогенної мікрофлори, ні залишків бур'янів, ні шкідників.

Бурі морські водорості традиційно використовуються в тваринництві і рослинництві багатьох країн. В якості кормової добавки вони входять у кормовий раціон. Високий вміст у них макро- і мікроелементів робить можливим їх використання в якості добрив. Особливо багато в них міститься калію, азоту, фосфору, йоду, молібдену і бору [7; 8; 9]. Вітаміни і амінокислоти позитивно впливають на ріст і розвиток рослин. Їх можна вносити в ґрунт або використовувати витяжки для передпосівної обробки насіння і позакореневого підживлення рослин.

На базі екстракту з бруї водорості *Ascophyllum nodosum* виготовляють добрива Bio-algeen S90, Goemar Goteo, Goemar BM 86, Kelpak SL і Wuxal Ascofol. Вони добре засвоюються через листову пластинку і коріння, покращуючи також і властивості ґрунту. Екстракти ферментів, вітаміни, полісахариди, амінокислоти, фітогормони та батареї, які входять до складу мікроводоростей, сприятливо впливають на ростові процеси в рослині. Також в екстрактах водоростей містяться специфічні речовини – еліцитори, які запускають захисні механізми.

Екстракти морських водоростей володіють фітопротекторною функцією, збільшуючи стійкість рослин до грибкових захворювань, підвищують біологічну ефективність хімічних засобів захисту рослин. Наявність в екстрактах амінокислот і фітогормонів (ауксинів, цитокініни, гібереліни, бетаїн) робить їх ефективними помічниками рослин у подоланні стресових ситуацій різного характеру. Біостимулюючий ефект екстрактів водоростей сприяє посиленню протидії рослин різних комах [8]. При внесенні в систему фертигації екстракти водоростей позитивно впливають на розвиток ґрунтової мікрофлори, сприяють розвитку кореневої системи рослин, підвищують їх стійкість до захворювань і абсорбційну здатність. Підвищуючи вміст хлоро-

філу в листі, екстракти водоростей сприяють проходженню процесу фотосинтезу [12].

На ринку України серед добрив із додаванням екстрактів водоростей: Фертігрейн Старт і ТЕКАМИН Раїс іспанської компанії Agritecno fertilizantes, SL, Маджестик (Фреш), пропонований компанією «Агросфера» (китайський виробник British Eco System Holding Inc.), Sea Line китайської компанії Leili Agrochemistry Co., ЦТА антидепресант-4 (СТА Stymulant-4) іспанського виробника Químicas meristem, SL, екстракт морських водоростей, який входить до складу добрив лінійки Спектрум британської компанії Headland Agrochemicals Ltd., добриво Смартгроу (SmartGrow) Альгум вітчизняної компанії «Агрооптіма», Wuxal Біо Аскофол німецької компанії Aglukon GmbH, Спідфол Марін компанії SQM, добрива лінійки Райкат іспанського виробника Atlantica Agricola, інші.

Доцільність застосування *Chlorella vulgaris* ґрунтується на дуже високому вмісті в ній біологічно цінних речовин. Суха біомаса *Chlorella vulgaris* містить більше 45 % сирого протеїну, включаючи незамінні амінокислоти, 30–35 % вуглеводів, 7–10 % жиру. У складі зеленої клітини містяться незамінні в харчуванні тварин амінокислоти: лізин ($\approx 10\%$), метіонін ($\approx 1\%$), триптофан ($\approx 2\%$), аргінін ($\approx 15\%$), гістидин ($\approx 3\%$), лейцин ($\approx 6\%$), ізолейцин ($\approx 3\%$), феніланін ($\approx 2\%$), треонін ($\approx 2\%$), валін ($\approx 5\%$), а також хлорофіл ($\approx 2\%$). На частку вітамінів у біомасі *Chlorella vulgaris* припадають вітаміни груп В, С, РР, Е, каротин. У диких штаммах в нативному вигляді містяться мікроелементи – йод, бром, миш'як, кобальт, калій, фосфор, залізо, магній, антибіотики.

Головні переваги мікроводоростей як органічних добрив для збільшення родючості ґрунту [11–17]:

– висока конверсійна ефективність фотонів (приблизно 3–8 % проти 0,5 % для наземних рослин), яка дає можливість отримувати більш високі врожаї біомаси на гектар), високий ріст клітин мікроводоростей;

– висока ємність поглинання вуглекислого газу;

– мікроводорості не вимогливі до якості води для зростання, тому для їх культивування можна використовувати стічні, забруднені, солоні й інші води;

– мікроводорості можуть використовувати в процесі життєдіяльності азот і фосфор з різних джерел стічних вод (наприклад сільськогосподарські стоки, промислові та муніципальні стічні води), забезпечуючи додаткову вигоду біологічної очистки стічних вод;

– для вирощування мікроводоростей можна використовувати пахотно непридатні, пустельні і засолені землі, які не підходящі для сільськогосподарського виробництва харчової продукції;

– виробництво несезонне, сировину можна отримувати партіями майже весь рік;

– мікроводорості можна культивувати без використання добрив і пестицидів;

– мікроводорості можуть бути сировиною для широкого спектру продуктів (білки, полісахариди, пігменти, біополімери, корми, добрива);

– організація виробництва біомаси мікроводоростей не вимагає складного обладнання та високого рівня автоматизації виробництва.

Мікроводорості можна вирощувати в промислових масштабах у фітобіореакторах, які є закритими, керованими, автоматизованими системами безперервного циклу, що дозволяє найменш витратним чином підтримувати гігієну культури. За рахунок модульного дизайну обладнання забезпечується економія виробничих площ. Установка вимагає мінімальних витрат праці та матеріалів під час експлуатації та обслуговування.

Серед основних елементів технології вирощування мікроводоростей забезпечення CO₂: біомаса водоростей містить близько 50% вуглецю на суху масу, який асимілюється з вуглекислого газу. Для виробництва 100 т біомаси водоростей необхідно пов'язати близько 180 т CO₂, який повинен надходити безперервно протягом світлового дня. При відкритому способі вирощування поглинання вуглекислого газу відбувається з атмосфери. Для активного росту мікроводоростей необхідне збагачення маточного розчину сумішшю повітря і CO₂, видалення O₂. Вуглекислий газ може бути отриманий з балона із CO₂ або зроблений із вихлопних газів дизельгенератора після їх попереднього очищення [12].

Вирощування водоростей у водоймищах неефективне, оскільки в звичайних водоймах поверхневі

водорості закривають промені сонця, знаходяться на глибині. Також виникають проблеми випаровування води, з'являються водорості-бур'яни, тому зараз установки передбачають вертикальне розміщення водоростей [10]. Елементи живлення здебільшого готують маточний розчин елементів живлення, який додають у воду кожні 10 годин. Використовують поживні середовища Бурреллі, Чу-13, Тамія, Болда тощо.

Головні висновки. У сучасному світі актуалізується проблема використання біомаси в енергетичних і сировинних цілях. Пошуки продуктивних видів біомаси для отримання енергії висувають у розряд перспективних джерел фототрофні мікроорганізми. При розробці таких біотехнологічних процесів важливо не тільки враховувати можливість отримання різних цільових продуктів із використовуваної біомаси, а й організувати безпечно проведення з мінімальним навантаженням на навколишнє середовище. Цим вимогам цілком відповідає біомаса мікроводоростей. Біомаса мікроводоростей *Chlorella vulgaris* є перспективним продуцентом для отримання широкого спектру продуктів. Характерною властивістю клітин мікроводорості *Chlorella vulgaris* є здатність до зміни хімічного складу клітин у широкому діапазоні залежно від умов культивування (рівень освітленості, склад живильного середовища).

Перспективи використання результатів дослідження полягають у розробці розрахунку витрат на технологію культивування мікроводоростей (*Chlorella*) порівняно з мінеральними добривами.

Література

1. Абдулагатов И.М., Бадавов Г.Б., Алиев А.М. Технология коммерческого производства микроводорослей в качестве сырья для биотоплива, белковитаминных кормов и ценных биоактивных соединений с использованием возобновляемой энергии на территории Республики Дагестан: бизнес-план инвестиционного проекта // Материалы объединенного семинара NIST (Боулдер, США) и Института проблем геотермии ДНЦ РАН (Махачкала, Южная Россия). 2011. С. 145–157.
2. Баранов С.А. Опыт культивирования микроводорослей на выделениях некоторых животных и человека в условиях накопительных культур. М. : Наука, 1964. 345 с.
3. Васигов Т. Опыт массового культивирования одноклеточных водорослей на Кызылкумской пустынной станции. Ташкент, 1966, 256 с.
4. Лукьянов В.А., Стифеев А.И., Горбунова С.Ю. Микроводоросль *Chlorella vulgaris* Beijer – высокопродуктивный штамм для сельского хозяйства. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2015. Т. 13. С. 1576–1580.
5. Минюк Г.С., Дробецкая И.В., Чубчикова И.Н., Терентьева Н.В. Одноклеточные водоросли как возобновляемый ресурс: обзор. *Морской экологический журнал*. 2008. № 2. Т. VII. 19 с.
6. Лукьянов В.А., Стифеев А.И., Горбунова С.Ю. Научно-обоснованное культивирование микроводорослей. *Теоретический и научно-практический журнал «Вестник»*. 2013. № 9. С. 55–57.
7. Лукьянов В.А., Стифеев А.И. Фракционный состав гумусотемносерых лесных почв в зависимости от альголизации их различными видами микроводорослей / Общественная научная организация «Наука и хозяйство» (материалы междунауч. конф. «Актуальные вопросы науки и хозяйства: Новые вызовы и решения»). Санкт-Петербург : Изд-во «Наука и хозяйство». 2014. № 2, С. 26–29.
8. Сальникова М.Я. Хлорелла – новый вид корма. М., 1977. 87 с.
9. Ткачев И.Ф. Хлорелла – источник белка и витаминов. *Сельскохозяйственное производство Северного Кавказа и ЦЧО*, 1965, № 4, 42 с.
10. Ткачев И.Ф. Хлорелла – биологический стимулятор роста животных. *Вестник сельскохозяйственных наук*, 1966. № 3. С. 81–86.
11. Цветков Л.А. Органическая химия. М. : «Просвещение», 1988, 240 с.
12. Nakamura H. *Chlorella feed for animal husbandry*. Published by International Clorella Union. Tokyo : “Japan”, 1964. p. 81.

УСПІШНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНВАЗІЙНИХ ВИДІВ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УРБОФІТОЦЕНОЗИ

Клименко Т.К., Сягайло І.О.,

Дніпровський державний технічний університет
вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське, Дніпропетровська область
kugeltat@gmail.com

Високі рівні антропогенного навантаження, якими характеризуються урбоекосистеми, призводять до зміни їх компонентів, зокрема урбофітоценозів. Місто внаслідок специфіки екологічних умов стає своєрідним концентратом адвентивних видів рослин, оскільки більшість із них є надзвичайно екологічно пластичними. Успішна натуралізація немісцевих видів рослин стає предметом пильної уваги вчених, оскільки можливість прогнозу ймовірного інвазивного вибуху може значно мінімізувати викликані цим явищем негативні наслідки, а подекуди й узагалі їх уникнути. Вивченню факторів, які сприяють успішному впровадженню деревних рослин видів *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L. та *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, що входять до п'ятірки найбільш небезпечних інвазивних видів у Європі, в урбофітоценози промислово розвинених міст, до яких належить м. Кам'янське Дніпропетровської області, і присвячена ця стаття. Загалом надано біоекологічну характеристику цих рослин, досліджено чинники, які впливають на їх розповсюдження самосівом: характеристику насінневої продуктивності, вплив проективного покриття трав'янистої рослинності на проростання насіння, а також вплив температурного фактору на розвиток сіянців. Вивчено життєві форми деревних рослин у межах ділянки моніторингу за ходом вторинної сукцесії. Всі досліджувані види рослин характеризуються середнім рівнем плодоношення. Цей показник у рослин в промисловій і селищній зонах відрізнявся неістотно, а у транспортних урболандшафтах він був дещо нижчим і характеризувався більшою варіабельністю. Маса насіння *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia* та *Ailanthus altissima*, які зростають у промисловій і селищній зонах міста, суттєво не відрізнялася, але це питання потребує подальших досліджень. На ділянках із загальним проективним покриттям трав'янистої рослинності менше 40% спостерігалось істотне підвищення щільності самосіву айланту найвищого, таким чином задерніння ґрунту можна пропонувати у якості додаткових заходів по боротьбі з цим чужинцем. Для визначення впливу низьких температур на ріст і розвиток самосіву обстежено по 30 сіянців самосіву *Acer negundo* та *Ailanthus altissima* і встановлено залежність ступеню пошкодження від висоти сіянцю. Відсоток пошкодження у сіянців айланту найвищого відносно більший ніж у клену ясенелистого. **Ключові слова:** чужорідні рослини, адвентивні види, біологічні інвазії, інвазивні деревні рослини, урбофітоценози, урбоекосистеми.

The efficiency of implantation of invasive plant species into urban phytocenoses. Klymenko T., Syagailo I.

High level of anthropogenic pressure, which is a characteristic feature of urban ecosystems, causes changes in urban phytocenoses. A city concentrates adventive plant species because of their ecological valence and specific ecological conditions. Efficient naturalization of non-native plant species is a popular research topic among scientists as prediction of a possible invasive outbreak enables minimization and prevention of negative consequences of this process. This article is devoted to the research of factors which accelerate the efficient implantation of tree species *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L., and *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (listed among the top-5 most dangerous adventives species in Europe) into urban phytocenoses of cities with well-developed enterprise, namely the Kamianske city, Dnipropetrovsk region. The research on bioecological characteristics of these plants and factors that influence their self-seeding such as seed productivity, projective grass cover, and temperature is summarized and provided in the article. The growth forms of tree species of the monitored area during secondary succession were studied. All researched species have average level of fruiting. This indicator varies insignificantly within plants in industrial zones and dwelling areas. In traffic urban landscapes indicators were somehow lower and had more variability. There were no significant difference between seeds weight of *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, and *Ailanthus altissima* which populate industrial zones and dwelling areas of the city but this topic is to be researched further. Crops with projective cover degree lower than 40% self-sowing density of stand of *Ailanthus Altissima* is higher. This means that inducing turf formation could be an efficient measure to prevent invasion of this plant. To understand the nature of the low temperature's influence on growth and development of self-sowing we observed 30 self-sown seedlings of *Acer negundo* and *Ailanthus altissima*. The correlation of degree of damage and height of the seedlings was studied. The degree of damage of seedlings of the *Ailanthus altissima* is overall higher than that of *Acer negundo*. **Key words:** alien plants, alien species, biological invasions, tree invasions, urban phytocenosis, urban ecosystems.

Постановка проблеми. Антропогенно перетворені екосистеми, як і природні, не втрачають своєї здатності надавати екосистемні послуги, тобто вони впливають на регуляцію екологічних процесів (як прямо, так і опосередковано), забезпечують організми ресурсами трофічними, просторовими, а також задовольняють культурні та духовні потреби людини. На можливість надавати ці послуги значно впливає генетичне, видове та екосистемне біоло-

гічне різноманіття [1]. Урбоекосистеми характеризуються значними змінами у видовому складі біоценозів, зокрема присутністю чужорідних видів рослин [2; 3].

Негативний вплив інвазивних рослин на довкілля є очевидним і доведеним численними дослідженнями багатьох авторів. Вони впливають на компоненти середовища існування організмів (змінюють водний, поживний, окислювально-відновлювальний, мікро-

біологічний, сольовий режимі ґрунтів та їх структуру, впливають на процеси ерозії ґрунтів, змінюють структуру і властивості надґрунтового горизонту, сприяють процесам деградації місцезростань, впливають на хід сукцесії), на організми в угрупованнях (через конкуренцію знижують чисельність особин у популяціях місцевих видів і знижують кількість видів-аборигенів, впливають на біотичний зв'язок «рослина-запилювач» у нативних видів і на їх репродуктивний потенціал, сприяють занесенню нових видів-шкідників і патогенів), а також наносять суттєву шкоду суспільству (знижують врожаї сільськогосподарських культур і впливають на забезпечення народонаселення продуктами харчування, впливають на стан здоров'я людини, викликаючи алергію, фотохімічні опіки, отруєння, змінюють привабливість природних і культурних ландшафтів тощо) [4].

Необхідно усвідомлювати, що в сучасному світі запобігти занесенню немісцевих видів рослин вкрай складно, а викоринити наявні інвазії майже не можливо. Саме тому важливо враховувати потенційні позитивні ефекти впровадження чужорідних видів особливо на територіях, які перебувають під постійним значним антропогенним впливом і потребують заходів щодо їх відновлення.

Погіршення екологічних умов на порушених територіях істотно збіднює асортимент рослин, які використовуються для озеленення території. Висока декоративна привабливість деяких рослин-чужинців значно сприяє їх розповсюдженню та розширенню ареалів [5]. Слід пам'ятати, що саме адвентивні види рослин є однією з причин такого явища як уніфікація флори. Особливо це стосується урбоекосистем.

Актуальність дослідження. Рослинна інвазія, порушуючи екологічні зв'язки між аборигенними видами організмів, може призводити до змін на різних рівнях організації від генетичного до екосистемного. Наслідком впровадження чужорідних видів можуть бути зміни співвідношення видів на різних трофічних рівнях, зміни у функціонуванні екосистем, зникнення місцевих видів. Все зазначене не може не вплинути на якість екосистемних послуг, саме тому контроль за рослинами-чужинцями є необхідним складником комплексу заходів щодо мінімізації негативних наслідків їх впровадження в екосистемі.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В рамках заходів стосовно втілення європейської політики щодо видів-оселенців передбачено прийняття національної стратегії щодо інвазійних видів згідно з положеннями Європейської стратегії, а також впровадження рекомендаційних документів щодо національної системи оцінки ризиків від інвазійних чужорідних видів [6]. Дослідження виконані в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Екологічна оцінка антропогенного впливу на ландшафти Дніпровської агломерації» (номер держреєстрації 0118U006760) на базі кафедри

екології та охорони навколишнього середовища Дніпровського державного технічного університету

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До п'ятірки основних інвазивних видів деревних рослин згідно з Постановою ЄС про інвазивні чужорідні види входять клен ясенелистий, робінія псевдоакація та айлант найвищий [7], які є найпоширенішими деревними інвазіями у м. Кам'янському.

Acer negundo L. – дерево північноамериканського походження висотою до 25 м. В антропогенних ландшафтах може утворювати розгалуження, висота не перевищує 10-15 м. Є надзвичайно екологічно пластичним, завдяки чому зустрічається у великому діапазоні місцезростань, може рости на бідних, забруднених ґрунтах, добре переносить посуху [8, 9]. Може оселятися як у природних угрупованнях, так і в порушених місцезростаннях, особливо вздовж доріг, на пустирях, серед об'єктів незавершеного будівництва, здатне виживати в умовах сильного забруднення повітря [8]. У несприятливих умовах міста може відмирати вже у віці 25–30 років [10]. *Acer negundo L.* є швидкорослим видом, може плодоносити вже на 5–12-й рік. Насіннева продуктивність дуже висока, насіння характеризується гарною схожістю, завдяки чому поряд із дорослими деревами можуть утворюватися суцільні зарості молодняка [11; 12]. На ріст і розвиток проростків клену ясенелистого найбільший вплив чинить режим освітлення та зволоження місцезростання [8].

Найбільшою загрозою для довкілля є здатність клену ясенелистого впроваджуватися у природні угруповання і змінювати видовий склад фітоценозів, тобто він є так званим видом-трансформером [13], здатним виділяти у середовище аллопатично активні речовини, які дуже пригнічують ріст і розвиток інших організмів [14; 15].

Robinia pseudoacacia L. – дерево висотою 20–25 м. Розмножується самосівом і вегетативно. Цвітіння розпочинає на 4–7-му роках життя. Ентомофіл. Плід – боб довжиною 5–12 см, який може тривалий термін зберігатися на дереві. Найбільша кількість насіння спостерігається на 15-40-річних деревах. Проростання насіння відбувається тільки за сприятливих умов, непроросле насіння може довго зберігати схожість, перебуваючи у ґрунті. Активно розселяється. Знаходиться у симбіотичних відносинах з бактеріями-азотфіксаторами. Тривалість життя – більше 100 років [16; 17]. Природний ареал – Північна Америка.

Використовується для озеленення селитьби, створення штучних лісів у степовій зоні, при проведенні рекультивацийних робіт, для закріплення схилів та захисту ґрунтів сільськогосподарських угідь від ерозії [8; 16]. Конкурентними перевагами робінії над місцевими видами деревних рослин є відносно швидке проростання насіння, інтенсивний ріст сіянців, здатність до активного вегетативного розмноження, висока фотосинтетична активність. Може зростати у широкому діапазоні екологічних

факторів: невибаглива до умов зволоження, окислювально-відновлювального режиму, до багатства ґрунтів, особливо до вмісту сполук нітрогену [16; 18; 19].

Оскільки робінія впливає на вміст у ґрунті нітрогену, істотно його підвищуючи, це призводить до суттєвої зміни у складі рослинних угруповань за рахунок збільшення частки нітрофілів. Робінія може чинити алелопатичний вплив на аборигенну рослинність. Подальше використання робінії буде загострювати конфлікт інтересів між природоохоронними структурами, управліннями лісовим господарством або озелененням міст, бджолярами та громадськістю, оскільки постає складний вибір між економічною вигодою і збереженням біорізноманіття [18; 19].

Ailanthus altissima (Mill.) Swingle – дерево висотою 15–20 м. Цвітіння розпочинає у червні. Плід – крилатка довжиною до 4 см. Одна особина за 40-річний термін може продукувати до 10 млн насінин [20]. Швидкозростаючий, мало вибагливий до родючості ґрунтів вид, може зростати на кам'янистих, піщаних, засолених ґрунтах, проте чутливий до переущільнення. Посухостійкий, димогазостійкий, світлолюбний вид. Теплолюбний, але може витримувати короткотривалі приморозки. Гарно розмножується насінням, але здатен і до вегетативного розмноження, оскільки легко утворює велику кількість кореневих паростків. Стійкий до шкідників і хвороб. Тривалість життя близько 100 років [21]. Айлант найвищий використовується у озелененні і степовому лісорозведенні [22], завдяки своїй екологічній пластичності швидко розповсюджується по всьому світу. В деяких штатах США стає домінантом [23]. Призводить до суттєвого збіднення флористичного багатства у лісових екосистемах [24].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В Україні дослідженням особливостей впровадження деревних інвазій у фітоценози приділяється недостатньо уваги. Вивченню факторів, які сприяють успішному впровадженню деревних рослин видів *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L. та *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, що входять до п'ятірки найбільш небезпечних інвазивних видів у Європі, в урбофітоценози промислово розвинених міст і присвячена ця стаття.

Новизна. У роботі проаналізовано деякі складники успішності впровадження деревних інвазій в урбофітоценози, які характеризуються високим рівнем антропогенних навантажень.

Метою роботи є аналіз чинників, які впливають на розповсюдження самосівом деревних рослин видів *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L. та *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями сприятимуть виявленню більш повного набору факторів, які впливають на успішну натуралізацію деревних рослин у вторинних ареалах.

Виклад основного матеріалу. Адвентивний вид набуває статус інвазивного, коли він, подолавши географічний бар'єр і з'явившись за межами свого природного ареалу, сформував у вторинному ареалі самовідновлювальні вільноіснуючі популяції. Можливості виду-чужинця розповсюджуватися і впроваджуватися у нові угруповання потребують певної оцінки. Існує оцінка потенціалу конкурентоздатності та можливостей розповсюдження адвентивного виду рудеральних рослин в агрофітоценозах, яка була запропонована Москаленко [25]. Її можна використовувати і для оцінки потенціалу успішності інвазії рослин в урбофітоценози.

На думку авторів, доцільним буде замінити показник «Стійкість до більшості гербіцидів» (цілком зрозумілий у питанні агроекосистеми) на «Димогазостійкість», оскільки забруднення повітря пилом і газами є одним з лімітуючих факторів в урбоекосистемах. Потенціал вважається низьким при сумі балів 1–3,5, середнім – при сумі 4–5,5, високим – при сумі балів 6 і вище. Всі досліджувані рослини мають високий потенціал конкурентоздатності та можливостей розповсюдження (табл. 1), при цьому результати оцінки можуть бути відкорегованими в бік збільшення, оскільки в наявних літературних джерелах немає даних стосовно деяких їх біологічних характеристик.

Усі досліджувані деревні рослини характеризуються екологічною пластичністю стосовно багатства ґрунтів і належать до групи оліго-мезо- або оліго-магнотрофів (табл. 2), робінія і айлант є посухостійкими мезоксерофітами, а клен ясенелистий є більш вибагливим до умов зволоження ксеромезофтом.

Чутливість до затінення також є характерною рисою всіх деревних рослин. Так, клен і робінія – вкрай чутливі геліофіти, а айлант найвищий є більш толерантним сціогеліофітом (табл. 2). Два види характеризуються пластичністю відносно запилення і є анамофілами, які здатні до ентомофілії, що в умовах міста з його своєрідним характером руху повітря, а також досить жорсткими умовами для життя комах-запилювачів, зокрема бджіл, є гарною стратегією. Серед рослин, які вивчали автори, лише клен ясенелистий позначається в літературі як рудеро-сільвант, хоча вже у минулому столітті зазначалося, що айлант ясенелистий засмічує культурні насадження і може перетворюватися у бур'ян, який важко викоринити [26].

Одним із найважливіших чинників, які визначають успішність рослинної інвазії, є здатність їх успішно розмножуватися самосівом. Головними факторами, які впливають на рясність самосіву деревних рослин, є: 1) регулярність плодоношення, яка залежить від зовнішніх умов середовища; 2) рясність плодоношення та якість насіння. Цей параметр залежний від біологічних особливостей виду і від зовнішніх факторів – кліматичних, гідрологічних та антропогенних; 3) наявність субстрату для проростання насіння

Таблиця 1

Оцінка потенціалу конкурентоздатності та можливостей розповсюдження досліджуваних видів інвазивних рослин (за Москаленко зі змінами)

Показник		Вид рослин		
		<i>Acer negundo</i> L.	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle
За характеристиками розмноження	Здатність розмножуватися насінням	1	1	1
	Здатність розмножуватися вегетативно	1	1	1
	Швидке досягнення репродуктивної зрілості	1	1	0,5
	Регулярне і рясне плодоношення	1	1	1
За характеристиками діапору	Спокій насіння та його схоронність в ґрунті	немає даних	1	немає даних
	Раннє та відносно швидке проростання насіння в широкому діапазоні температур	1	0	1
	Поширення плодів і насіння вітром	1	0	1
	Поширення плодів і насіння водою	1	0	0,5
За адаптивними можливостями	Наявність кореневої системи із запасом пластичних речовин	немає даних	немає даних	немає даних
	Здатність пригнічувати ріст інших рослин шляхом виділення інгібіторів або паразитизму	1	1	1
	Димогазостійкість	1	1	1
Сума балів		9	7	8

Таблиця 2

Біоекологічна характеристика найпоширеніших інвазивних деревних рослин м. Кам'янського

Вид	Трофоморфа	Гіроморфа	Геліоморфа	Тип запилення	Тип дисемінації	Ценоморфа
<i>Acer negundo</i> L.	Og-MsTr	KsMs	He	Anph (Ent)	Anch.	(Ru)Sil
<i>Robinia pseudo-acacia</i> L.	Og-Mg(Alk) Tr	MsKs	He	Ent	Bal	Sil
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Og-MsTr	MsKs	ScHe	Anph (Ent)	Anch	(Sil) Cul

Таблиця 3

Окомірна оцінка рясності плодоношення досліджуваних інвазивних видів деревних рослин у балах за шкалою Корчагіна

Вид	Функціональна зона		
	Промислова	Селитебна	Транспортна
<i>Acer negundo</i> L.	3,9 ± 0,4	3,6 ± 0,2	3,0 ± 0,8
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	3,2 ± 0,2	3,1 ± 0,4	2,8 ± 0,9
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	3,8 ± 0,4	3,7 ± 0,1	3,1 ± 0,9

та появи сходів. Другий і третій фактори пов'язані з функціонуванням урбоєкосистем, саме тому автори їх вивчали під час досліджень.

Оцінка рясності плодоношення досліджуваних деревних інвазійних видів, яка проводилася з використанням окомірної шкали А.А. Корчагіна, була проведена на модельних деревах приблизно одного віку (по 30 екземплярів кожного виду), які були обрані у межах 3-х функціональних зон міста. Всі досліджувані види рослин характеризуються середнім рівнем плодоношення. Рясність плодоношення деревних

рослин у промисловій і селитебній зонах відрізнялася неістотно, але у транспортних урболандшафтах ці показники не тільки були дещо нижчими, але й характеризувалися більшою варіабельністю (табл. 3).

Маса насіння айланту та робінії (табл. 4) мало відрізняється від зазначеної в літературі [16; 21], а середня маса клену ясенелистого є нижчою, ніж зазначено в деяких літературних джерелах. Є відомості, що відносно менший розмір насіння рослин-оселенців впливає на успішність їх розселення у нових місцезростаннях [27].

На характеристики насіння впливає низка факторів, зокрема антропогенних. Якість субстрату, склад повітря та інші чинники в промисловій і селитебній зонах міста можуть істотно відрізнятися. Порівняння маси насіння досліджуваних інвазивних деревних рослин, які зростають у промисловій і селитебній зонах міста (рис. 1) суттєвої відмінності у масі насіння робінії псевдоакації, айланту найвищого та клену ясенелистого не виявило.

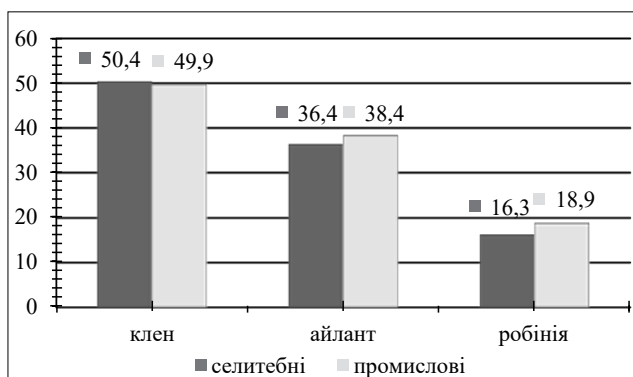


Рис. 1. Середня маса насіння (мг) досліджуваних інвазивних деревних рослин, які зростають у промисловій і селитебній зонах м. Кам'янського

Дослідження впливу проективного покриття трав'янистої рослинності на відтворення популяції інвазивних деревних рослин проводилися на моніторинговій ділянці спостережень за ходом вторинної відновлювальної сукцесії на пустирі, який утворився після наміву пісків для будівництва лівобережних районів м. Кам'янського ще у 70-х роках минулого століття.

Також точки спостережень знаходилися у селитебній зоні – на прибудинковій території житлових масивів.

Відомо, що щільне живе надґрунтове покриття не дає змогу прорости і вкоренитися насінню тих деревних рослин-анемохорів, плоди яких характеризуються високою парусністю. Щільність самосіву айланту найвищого на ділянках із загальним проективним покриттям трав'янистої рослинності більше 40% є істотно меншою (табл. 5), тобто задерніння ґрунту є досить дієвим способом контролю інвазії *Ailanthus altissima*. Дещо вища щільність самосіву айланту у селитебній зоні пояснюється характеристиками субстрату – на газони у дворах регулярно підсипається завезена ґрунтосуміш.

Всі досліджувані інвазивні деревні рослини з'явилися в урбоекосистемах спочатку в статусі інтродуцентів. Впровадження нових видів здійснюється відповідно до кліматичних, гідрологічних та інших екологічних вимог до інтродуцента. Визначення впливу низьких температур на ріст і розвиток самосіву було проведено на модельних деревних породах – айланті найвищому та кленові ясенелистому. Обстежено по 30 сіянців самосіву досліджуваних деревних рослин різної висоти – менше 10 см, 10–50 см, більше 50 см, оскільки висота сіянців знаходиться у прямій залежності від віку рослини, саме тому було виділено три різні за висотою рослин групи.

Як і очікувалось, із збільшенням висоти сіянцю і його віку ступінь пошкоджень істотно зменшується, особливо у клену ясенелистого (табл. 6). Вихідний первинний ареал цієї рослини розташований у місцях, де температури взимку є істотно нижчими, ніж у первинному ареалі айланту найвищого (Корейський півострів і частина Китаю).

Таблиця 4

Статистичні показники ваги насіння (мг) досліджуваних інвазивних видів деревних рослин

Вид	Mean ± SD	Min	Max	CV, %
<i>Acer negundo</i> L.	53,3 ± 10,2	38,8	68,4	19,0
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	17,2 ± 4,4	5,0	22,0	25,6
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	38,7 ± 8,2	21,8	53,6	21,1

Таблиця 5

Щільність самосіву айланту найвищого на ділянках з різним ступенем проективного покриття (ПП) живого надґрунтового покриву, шт./м²

Розташування точки спостережень	ПП < 20 %	ПП 20–40 %	ПП > 40 %
Моніторингова ділянка	28	22	8
Селитебна зона	34	30	6

Таблиця 6

Пошкодження сіянців клену ясенелистого та айланту найвищого під впливом низьких температур (частка від загальної кількості рослин)

Вид	Висота сіянців		
	< 10 см	10–50 см	> 50 см
Клен ясенелистий	38 %	12 %	5 %
Айлант найвищий	53 %	49 %	26 %

Кількість деревних рослин різних життєвих форм та їх співвідношення

Статус	Вид	Загальна кількість, шт.	Життєва форма					
			Одноствбурове		Плодового типу		Багатостовбурове	
			к-ть, шт.	частка, %	к-ть, шт.	частка, %	к-ть, шт.	частка, %
Адвенти	Айлант найвищий	96	88	91,7	–	0	8	8,3
	Гледичія колюча	16	–	0	16	100	–	0
	Маслинка срібляста	3	–	0	1	33,3	2	66,7
	Робінія псевдоакація	117	25	21,4	84	71,8	8	6,8
Аборигени	Абрикос звичайний	2	–	0	2	100	–	0
	Тополя срібляста	159	41	25,8	–	0	118	74,2

Цим пояснюється відносно більший відсоток пошкодження сіянців айланту найвищого ніж клену ясенелистого

Життєва форма – це габітус рослини, який виникає внаслідок взаємодії генетичних особливостей виду та зовнішніх умов середовища. У межах моніторингової ділянки спостережень за процесом сукцесії авторами було виявлено такі життєві форми деревних рослин: 1) одноствбурове пряме дерево (лісового типу), формування якого можливе лише за умов рівномірного освітлення та достатнього зволоження; 2) дерево плодового (лісостепового) типу, яке формується внаслідок пошкодження верхівки молодих дерев (механічного, температурного тощо) і одночасно за умов відносно непоганого освітлення і зволоження або є нормальною формою існування для деревних рослин, первинний ареал яких характеризується специфічними умовами; 3) багатостовбурові дерева, які формуються внаслідок вирубування (планового або випадкового), зрідка – вимерзання або пошкодження хворобами та шкідниками.

Істотна частка багатостовбурових деревних рослин є свідченням існування цих рослин у досить несприятливих умовах середовища (табл. 7).

Головні висновки. Рослини видів *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L. та *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle характеризуються високим потенціалом конкурентоздатності та можливості розповсюдження у фітоценозах. Рясність їх плодоношення у промисловій і селитебній зонах відрізнялася неістотно, а у транспортних урболандшафтах ці показники були дещо нижчими й характеризувалися більшою варіабельністю. Вплив промислових підприємств на масу насіння досліджуваних рослин не виявлено, але це питання потребує подальших досліджень. На ділянках із загальним проективним покриттям трав'янистої рослинності менше 40% спостерігалось істотне підвищення щільності самосіву айланту найвищого, таким чином задерніння ґрунту можна пропонувати у якості додаткових заходів по боротьбі з цим чужинцем.

Перспективи використання результатів дослідження. Впровадження адвентивних видів (умисне або спонтанне) завжди супроводжується значним екологічним ризиком, саме тому слід ретельно зважувати переваги та потенційну небезпеку будь-якого виду-чужинця, використовуючи його у культурі.

Література

- Cadotte M.W., Yasui S.L.E., Livingstone S. *et al.* Are urban systems beneficial, detrimental or indifferent for biological invasion? *Biol Invasions* 19, 3489–3503 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1586-y>.
- Čeplová N., Lososová Z., Kalusová V. (2017). Urban ornamental trees: a source of current invaders; a case study from a European City. *Urban Ecosystems*, 20(5), 1135–1140. <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0665-2>.
- Salomon Cavin J., Kull C.A. Invasion ecology goes to town: from disdain to sympathy. *Biol Invasions* 2017. 19, 3471–3487. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1588-9>.
- Dickie I.A., Bennett B.M., Burrows L.E. *et al.* Conflicting values: ecosystem services and invasive tree management. *Biol Invasions* 16, 705–719 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0609-6>.
- Schlaepfer M.A., Sax D.F., Olden J.D. (2011). The potential conservation value of non – native species. *Conservation Biology*, 25(3), 428–437 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01646.x>.
- Івашенко О.О., Бурда П.І. Європейська політика щодо інвазійних чужорідних видів рослин і перспективи її запровадження в Україні. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, 2014 (20), С. 46–54.

7. Campagnaro T., Brundu G., Sitzia T. Five major invasive alien tree species in European Union forest habitat types of the Alpine and Continental biogeographical regions. *Journal for Nature Conservation* 43 (06) 2017. 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2017.07.007>.
8. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М. : ГЕОС. 2009. 494 с.
9. Marozas V., Cekstere G., Laivins M., Straigyte L. Comparison of neophyte communities of *Robinia pseudoacacia* L. and *Acer negundo* L. in the eastern Baltic Sea region cities of Riga and Kaunas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015. 14(4), 826–834. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.08.003>.
10. Костина М.В. О биологии клена ясенелистого в зеленых насаждениях Москвы. Рос. журн. биол. инвазий, 2013, 4. С. 32–43.
11. Антонова И.С., Гниловская А.А. Побеговые системы кроны *Acer negundo* L. (Aceraceae) в разных возрастных состояниях. *Ботанический журнал*, 2013, 98(1). С. 53–68.
12. Костина М.В., Ясинская О.И., Барабанщикова Н.С. Разработка научно-обоснованного подхода использования клена ясенелистого (*Acer negundo* L.) в озеленении Москвы. *Социально-экологические технологии*, 2017 (3). С. 23–30.
13. Zenni R.D., Lamy J.B., Lamarque L.J., Porté A.J. (2014). Adaptive evolution and phenotypic plasticity during naturalization and spread of invasive species: implications for tree invasion biology. *Biological Invasions*, 16(3), 635–644. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0607-8>.
14. Ерѐменко Ю.А. Аллелопатические свойства адвентивных видов древесно-кустарниковых растений. *Промышленная ботаника*, 2012, 12. С. 21–28.
15. Krevš A., Kučinskienė A. Influence of invasive *Acer negundo* leaf litter on benthic microbial abundance and activity in the littoral zone of a temperate river in Lithuania. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 2017 (418), 26. <https://doi.org/10.1051/kmae/2017015>.
16. Виноградова Ю.К., Куклина А.Г., Ткачев Е.В. Инвазионные виды растений семейства Бобовых; Люпин, Галега, Робиния, Амфора, Карагана. М. : АБФ. 2014. 304 с.
17. Дудкина Н.И., Виноградова Ю.К. Анализ изменчивости плодов и семян *Robinia pseudoacacia* L. в инвазионных популяциях. *Естественные и инвазийные процессы формирования биоразнообразия водных и наземных экосистем : Тезисы докл. Междун. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 5-8 июня 2007 г.) / Под ред. Г.Г. Матишова*. Ростов-на-Дону : Изд-во Южного НЦ РАН. 2007. С. 114–115.
18. Sádlo J., Vítková M., Pergl J., Pyšek P. Towards site-specific management of invasive alien trees based on the assessment of their impacts: the case of *Robinia pseudoacacia*. *NeoBiota*, 2017. 35, 1. <https://doi: 10.3897/neobiota.35.11909>.
19. Vítková M., Müllerová J., Sádlo J., Pergl J., Pyšek P. Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 2017. 384, 287–302 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.057>.
20. Wickert K.L., O'Neal E.S., Davis D.D., Kasson M.T. Seed production, viability and reproductive limits of the invasive *Ailanthus altissima* (Tree-of-Heaven) within invaded environments. *Forests*, 2017. 8(7), 226. <https://doi.org/10.3390/f8070226>.
21. Kowarik I., Säumel I. Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, Perspectives in Plant Ecology. *Evolution and Systematics*, 2007, 8.4, 207–237. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.03.002>.
22. Колесников А.И. Декоративная дендрология. М. : Лесная промышленность, 1974. 704 с.
23. Kasson M.T., Davis M.D., Davis D.D. The invasive *Ailanthus altissima* in Pennsylvania: a case study elucidating species introduction, migration, invasion, and growth patterns in the northeastern US. *Northeastern Naturalist*, 2013. 20(10), 1–60. <https://doi.org/10.1656/045.020.m101>.
24. Motard E., Muratet A., Clair-Maczulajtyš D., Machon N. Does the invasive species *Ailanthus altissima* threaten floristic diversity of temperate peri-urban forests? *Comptes rendus biologiques*, 2011. 334 (12), 872–879. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2011.06.003>.
25. Москаленко Г.П. Карантинные сорные растения России. Пенза : Пензенская правда, 2001. 278 с.
26. Калущкий К.К., Болотов Н.А., Михайленко Д.М. Древесные экзоты и их насаждения, М. : Агропромиздат, 1986. 271.
27. Radny Janina et al. Influence of seed size on performance of non-native annual plant species in a novel community at two planting densities. *Acta Oecologica*, 2018. 92 (10) 2018. 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.05.005>.

ОСОБЛИВОСТІ СЕЗОННОГО НАКОПИЧЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ (CU, PB, ZN, CD) ФІТОМАСОЮ РОСЛИН ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ ЕКОТОПІВ (НА ПРИКЛАДІ М. ЧЕРКАСИ)

Корнелюк Н.М.¹, Конякін С.М.²

¹Черкаський державний технологічний університет
бул. Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси
nkornelyuk@ukr.net

²ДУ «Інститут еволюційної екології Національної академії наук України»
вул. академіка Лебедєва, 37, 03143, м. Київ
ser681@ukr.net

Обґрунтовано необхідність комплексного вивчення основних техногенно змінених екотопів, а саме рослинного покриву в умовах антропогенного навантаження на довкілля міста. Розглянуто просторову гетерогенність вмісту важких металів у фітомасі форофітів *Populus pyramidalis* Roz., *Tilia cordata* Mill. і терофіту *Chenopodium album* L. із 24 екотопів м. Черкаси. Досліджені локалітети зайняті рудеральною рослинністю, тобто угрупованнями на порушених субстратах: покинутих землях, уздовж комунікацій, забудов тощо. В угрупованнях трапляються одно-та дворічні рудеральні види, здебільшого злісні сеgetальні та рудеральні бур'яни. Проведено серію розрахунків основних геохімічних показників для визначення особливостей поліелементного забруднення фітомаси. Інформативний ряд сумарного показника забруднення Zc дозволяє віднести досліджені локалітети до трьох рівнів забруднення: «максимально сильне», «сильне», «помірне (слабке, середнє)». Підвищений вміст важких металів у фітомасі рослин тест-об'єктів селітебних зон свідчить про суттєве техногенне навантаження через несанкціоноване розміщення приватних автомобілів на прибудинкових територіях. Значний вміст важких металів у листках вздовж транспортних магістралей співпадає з погіршенням екологічного та санітарного стану дерев, особливо з вираженою дефоліацією та дехромацією листкових пластин. Встановлено, що трав'янисті рослини здатні виступати в якості акумулятивних видів-індикаторів локальних забруднень мікробіотопів. Запропоновано використання *Chenopodium album* в якості сезонного біоаккумулятора забруднення довкілля важкими металами з огляду на широку представленість у мікробіотопах міста. Підтверджено видову біоаккумуляючу відмінність щодо нагромадження Cu, Pb, Zn Cd фітомасою дерев низки *Tilia cordata* > *Populus pyramidalis*. Отримані результати є підтвердженням актуальності розробки експрес-методів щодо моніторингу стану довкілля з використанням видів-індикаторів. *Ключові слова*: екотопи, фітомаса, важкі метали, техногенне забруднення, рослини тест-об'єкти.

Seasonal accumulation of trace elements (Cu, Pb, Zn, Cd) by plant phytomass of technogenic transformed ekotopes (the city of Cherkassy). Kornelyuk N., Koniakin S.

The necessity of a comprehensive study of the main technogenic modified ekotopes, namely the vegetation cover under the conditions of anthropogenic pressure on the city's environment is substantiated. Spatial heterogeneity of the heavy metal content in the phytomass of forophytes *Tilia cordata* Mill., *Populus pyramidalis* Roz. and therophyte *Chenopodium album* L. from 24 ekotopes of the city of Cherkassy is examined. The studied localities are occupied by ruderal vegetation, that is, groups on disturbed substrates: abandoned lands, along groups, buildings and the like. In groups, annual and biennial ruderal species grow, the vast majority of malicious segetal and ruderal weeds. A series of calculations of the main geochemical parameters was carried out to determine the features of multielement pollution of phytomass. The increased content of heavy metals in the plant phytomass of test objects of residential areas indicates a significant technogenic load due to the unauthorized placement of private cars in the house adjoining territories. The high content of heavy metals in the leaves along the highways coincides with the deterioration of the ecological and sanitary condition of trees, especially the pronounced defoliation and dechromation of leaf plates. It is established that herbaceous plants are able to act as accumulative species of indicators of local pollution of the microbiotops. The use of *Chenopodium album* as a seasonal bioaccumulator of environmental pollution by heavy metals is suggested, given the widespread presence in the city's microbiotopes. Species bioaccumulative difference in the accumulation of Cu, Zn, Pb, Cd, phytomass of the trees in the series *Tilia cordata* > *Populus pyramidalis* was confirmed. The results obtained confirm the relevance of the development of express methods for monitoring the state of the environment using biotestors species. *Key words*: ekotopes, phytomass, heavy metals, technogenic pollution, plants test as objects.

Постановка проблеми. Техногенне та антропогенне навантаження є невід'ємним складником трансформації та тотального збіднення видового різноманіття міських фітоценозів. Аналіз літературних джерел свідчить, що деревні рослини належать як до чутливих, так і до акумулятивних видів-індикаторів. Їхня здатність адаптуватися до значних концентра-

цій фітотоксикантів залежить від видових особливостей здатності до біоаккумуляції та рівня техногенного навантаження на природне середовище.

Хімічні елементи, в тому числі і важкі метали (далі – ВМ), забезпечують процеси життєдіяльності рослин. Основними шляхами надходження ВМ до рослинного організму є поглинання корінням рослин

різних хімічних сполук цих металів (солей, гідроксидів, комплексів) із ґрунту та надходження елементів до рослин через листя (фоліарне).

Роботи багатьох вчених доводять, що між хімічним складом рослин та елементним складом середовища існує безпосередній зв'язок, однак пряма залежність вмісту важких металів у рослинах і ґрунті часто порушується за умов вибіркової здатності рослин до поглинання і накопичення мікро- і макроелементів [1, 2]. Відомості щодо накопичення важких металів в органах рослин є досить суперечливими. Існують різні точки зору щодо підвищеної акумулюючої здатності як наземних органів [3], так і коріння [4].

Актуальність дослідження. В умовах техногенного впливу відбувається трансформація рослинного покриву через деградацію та тотальне збільшення чужорідних видів рослин. Актуальним є використання даних біомоніторингу забруднення ВМ (методів біоіндикації, біоаккумуляції) з урахуванням показників техногенного навантаження на екосистему конкретного міста. Суттєвими є також проблеми, пов'язані з адаптацією синантропних видів рослин зелених зон міста, оскільки вони поглинають і біотрансформують техногенні токсиканти.

Дослідження авторів [5–7] на прикладі дерево-чагарникової рослинності таких промислових центрів як Дніпро, Київ, Кременчук, Жовті Води довели, що вміст хімічних елементів у тканинах і органах рослин залежить як від концентрації цих елементів у ґрунтового розчині, так і від індивідуальних особливостей рослин.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Місто Черкаси має розгалужену промислово-транспортну інфраструктуру з багаточисельними (вкрапленими) джерелами техногенного забруднення, складну, здебільшого стихійну, архітектурну забудову, що сприяє виникненню зон екологічного ризику. Важливою є екологічна оцінка і вивчення специфіки сезонного нагромадження ВМ деревними породами і трав'янистими рослинами, які зростають у різних за ступенем трансформації та техногенного навантаження територіях міста [8–9].

Виклад основного матеріалу. Місто Черкаси (площа 77,6 км² га, населення – 298 тис. чол., густина населення 3840 осіб на 1 км²) розташоване в межах північно-східного схилу Українського кристалічного щита на високому плесі правого берега Дніпра. Забруднення атмосферного повітря міста відбувається за рахунок стаціонарних і пересувних джерел, які розподілені по території міста нерівномірно, що виключає можливість вирішення проблем забруднення як окремих локалітетів, так і міста загалом.

Обсяги викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел складають майже 50%, решта – викиди автомобільного транспорту. Головний внесок у сумарне забруднення повітряного басейну Черкас

належать підприємствам, які розташовані в межах двох промислових зон (південна і східна технозони). Південна – це територія розташування ПАТ «Азот», ДП «Черкаська ТЕЦ» ПАТ «Черкаське хімволокно», а східна – «Черкаський ДОК», Черкаський лакофарбовий завод. Обсяг валового викиду шкідливих речовин промислових зон становить 95,3% від загальної кількості викидів підприємств міста.

У статті розглянуті особливості сезонного нагромадження Cu, Pb, Zn Cd вегетативною масою рослин антропогенних екотопів міста Черкаси: *Populus pyramidalis* Roz. (Salicaceae Mirb.), *Tilia cordata* Mill. (Malvaceae Juss.), *Chenopodium album* L. (Amaranthaceae Juss.). Вміст ВМ визначали у листках рослин тест-об'єктів, що дозволило проаналізувати кумулятивні процеси за період вегетації. На основі отриманих даних і розрахованих геохімічних показників – коефіцієнта концентрації (K_c) та сумарного показника поліелементного забруднення рослин (Z_c), тест-об'єктів, проведено екологічну оцінку стану різнофункціональних екотопів міста Черкаси [9, 10].

За принципом ландшафтно-функціонального зонування території серед антропо-техногенних екотопів у межах Черкас виділено такі класи: транспортних шляхів, житлової забудови, санітарно-захисну, паркову та лісопаркову [11]. В якості фонові ділянки обрано умовно чисту територію – вул. Набережну рекреаційної зони лісового біоценозу «Соснівка».

Вибір досліджуваних металів ґрунтувався не тільки за їх належністю до найпоширеніших урбогенних поллютантів, які входять до I та II класів небезпечності: Zn, Pb, Cd (I категорія небезпечності), Cu (II), але й належність Cu, Zn до важливих мікроелементів, а Cd, Pb – до ультрамікроелементів, які присутні в рослинах і беруть участь у процесах метаболізму [12].

Методом атомно-абсорбційної спектрометрії (СМ-115, М-1, РФ, 1989) визначали вміст важких металів Cu, Zn, Pb і Cd у листовій біомасі тест-об'єктів, зібраних із 24 тестових локалітетів з різним ступенем антропогенного навантаження (рис. 1). Проби були відібрані з дослідних ділянок відповідно до методичних рекомендацій [13] і діючих стандартів для рослин ISO 874–2020. Відібрані зразки аналізувалися на вміст рухомих форм ВМ методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на атомному спектрометрі (СМ-115, М-1, 1989) з попередньою мінералізацією рослинного матеріалу методом сухого озолення [14].

Характеристика важких металів базувалася на геохімічних показниках, які оцінюють розподіл суми елементів, що входять до складу забруднень, із визначенням ступеня участі кожного окремого металу в загальному забрудненні. До цих показників належить коефіцієнт концентрації (K_c), який порівнює вміст хімічного елемента в пробі з його вмістом у фоновому зразку; сумарний показник концентрації



Рис. 1. Картосхема відбору проб у локалітетах міста Черкаси 2017-2018 років:

вулиці: 1) Набережна; 2) Канівська; 3) Героїв Дніпра; 4) Козацька; 5) Гагаріна; 6) Хрещатик (сквер «Дитячий»); 7) Кірова; 8) Б-р Шевченка; 9) Парк Хіміків; 10) вул. Нечуя Левицького; 11) ДП «Черкаська ТЕЦ» та ПАТ «Черкаське хімволокно»; 12) ПАТ «Азот»; 13) Проспект Хіміків; 14) вул. Берегова; 15) вул. Чехова; 16) ПАТ «ТЕМП»; 17) ПАТ «Хімреактив»; вулиці: 18) Чигиринська; 19) Якубовського; 20) акад. Корольова; 21) ПАТ АК «Богдан Моторс»; 22) ПАТ «ЧЗТА»; 23) вул. Сумгайтська; 24) р-н Соснівка – транспортна магістраль Черкаси – Канів

(Z_c), що визначає адитивну суму перевищень вмісту ВМ, що беруть участь у забрудненні над їхнім фоновим вмістом (рис. 2).

Оціночна шкала за сумарним показником забруднення має такі категорії і рівні (в умовних одиницях): менше < 2 – мінімальне забруднення; 2–4 – слабе забруднення; 4–8 – середнє забруднення; 8–16 – сильне забруднення; 16–32 – дуже сильне забруднення; > 32 – максимальне забруднення [15]. Під час проведення геоботанічних описів у досліджуваних локалітетах встановлено, що список спонтанної флори трав'янистих рослин містить 44 види, які належить до 38 родів, 21 родини, 17 порядків, двох класів відділу *Magnoliophyta*.

Слід зазначити, що на родину *Poaceae* припадає 25% видового різноманіття; *Asteraceae* – 15,9%; *Rosaceae* – 6,8%; *Brassicaceae* – 6,8%. Всі інші родини включають по два і один види (табл. 1).

Досліджені локалітети зайняті в основному рудеральною рослинністю, тобто угрупованнями на порушених субстратах: покинутих землях, уздовж комунікацій, забудов тощо. Клас *Chenopodieta* Br.-Bl. 52 em. Lohm., J. & R. Tx. 1961 ex Matsz. 1962. Фітоценози цього класу є біотопами, які сформовані людською діяльністю. В угрупованнях трапляються одно- та дворічні рудеральні види, це здебільшого злісні сегетальні та рудеральні бур'яни. Ці ценози є початковими стадіями відновних сукцесій на порушених екотопах, тому характеризуються змінним

флористичним складом [16–17], формуються на тих місцезростаннях, де відбулося зняття та переміщення верхнього шару ґрунту.

Сумарний показник забруднення (Z_c) в листовій біомасі деревних порід *Tilia cordata*, *Populus pyramidalis* і трав'янистої рослини *Chenopodium album* в межах екоотопів різнофункціональних зон міста Черкаси наведено на рис. 2.

Видова акумулятивна індикація важких металів різнофункціональних зон міста Черкаси.

Екотопи рекреаційних зон. Для деревних рослин *P. pyramidalis*, *T. cordata* рекреаційних зон (парків, свекрів, прибережних захисних смуг) сумарний показник забруднення коливався в межах 2,3–6,8, у *C. album* – 10,8–29,7. Серед досліджених екоотопів рекреаційних зон максимальні значення сумарного показника забруднення встановлено у *P. pyramidalis* (3,6–3,7) у межах Південної (ДД-1) і Південно-західної (ДД-5) технозон; *T. cordata* за відомої чутливості до впливу токсикантів – 6,8 (ДД-1). Найвищий показник сумарного забруднення виявлено у *C. album* – 29,7 в межах Південної технозони (ДД-1). Відповідно до оціночної шкали за результатами вмісту ВМ у листовій біомасі *P. pyramidalis*, *T. cordata* екологічний стан екоотопів рекреаційних зон можна оцінити як слабо та середньо забруднені. Сумарний показник розрахований для *C. album*, який характеризує дослідні ділянки як сильно та дуже сильно забруднені.

Таблиця 1

Видовий склад трав'янистих рослин біотопів м. Черкаси

Назва видів рослин	Номера досліджуваних локалітетів																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Родина Aristolochiaceae Juss. – Хвилівникові																									
<i>Aristolochia clematitis</i> L.								•																	
Родина Ranunculaceae Juss. – Жовтецеві																									
<i>Ranunculus acris</i> L.																									•
Родина Papaveraceae – Макові																									
<i>Chelidonium majus</i> L.	•		•	•			•		•	•	•	•			•							•	•	•	•
Родина Scaryophyllaceae Juss. – Гвоздикові																									
<i>Coronaria flos-cuculi</i> (L.) Greuter & Burdet																									•
Родина Amaranthaceae – Щирицеві																									
<i>Atriplex tatarica</i> L.						•																			
<i>Chenopodium album</i> L.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Родина Polygonaceae Juss. – Споришеві																									
<i>Polygonum aviculare</i> L.	•						•																		•
Родина Murtinaceae R. Br. (Primulaceae Batsch ex Vorkh. s.l.) – Мирсинові																									
<i>Lysimachia nummularia</i> L.																									•
Родина Brassicaceae Burnett – Капустяні																									
<i>Alliaria petiolata</i> (M. Bieb.) Cavara & Grande.	•					•																			
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.								•																	•
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Родина Urticaceae Juss. – Кропивиові																									
<i>Urtica urens</i> L.																									•

Продовження таблиці 1

Назва видів рослин	Номера досліджуваних локалітетів																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Euphorbia cyarissias</i> L.	•			•							•													
Родина Euphorbiaceae Juss. – Молочайні																								
<i>Geum urbanum</i> L.							•																	
<i>Potentilla anserina</i> L.																							•	
<i>P. reptans</i> L.																								•
Родина Fabaceae Lindl. – Бобові																								
<i>Trifolium repens</i> L.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>T. medium</i> L.																								•
Родина Geraniaceae Juss. – Геранієві																								
<i>Geranium sanguineum</i> L.		•							•															
Родина Asteraceae Bercht. & J. Presl. – Айстрові (Складноцвітні)																								
<i>Achillea submillefolium</i> Klokov et Krytzka			•						•															
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Artemisia austriaca</i> Jacq.																								
<i>Erigeron canadensis</i> L.	•	•																						
<i>Sonchus oleraceus</i> (L.) L.								•																
<i>S. arvensis</i> L.	•																							
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Родина Rubiaceae Juss. – Маренові																								
<i>Galium aparine</i> L.	•																							
Родина Convolvulus L. – Берізкові																								
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	•	•																						•

Закінчення таблиці 1

Назва видів рослин	Номера досліджуваних локалітетів																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	Родина Veronicaceae Durande – Веронікові																								
<i>Veronica chamaedrys</i> L.																									•
<i>V. spicata</i> L.																									•
	Родина Plantaginaceae Juss. – Подорожникові																								
<i>Plantago media</i> L.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>P. lanceolata</i> L.																									•
	Родина Lamiaceae Martinov – Глухокропивні																								
<i>Lamium maculatum</i> (L.) L.																									
	Родина Poaceae Varnhart – Тонконогові																								
<i>Agropyron cristatum</i> (L.) P. Gaertn.											•														
<i>Bromus sguarrosus</i> L.	•				•		•				•						•					•			
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	•			•	•		•					•				•									
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Festuca pratensis</i> Huds.																									•
<i>Hordeum murinum</i> L.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Poa angustifolia</i> L.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>P. nemoralis</i> L.										•															
Газона суміш: <i>Poa pratensis</i> L.; <i>Festuca rubra</i> L.; <i>Lolium perenne</i> L.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Загальна кількість видів у локалітетах	19	14	12	18	12	12	16	13	13	8	18	17	10	10	9	7	12	10	7	4	6	10	14	5	

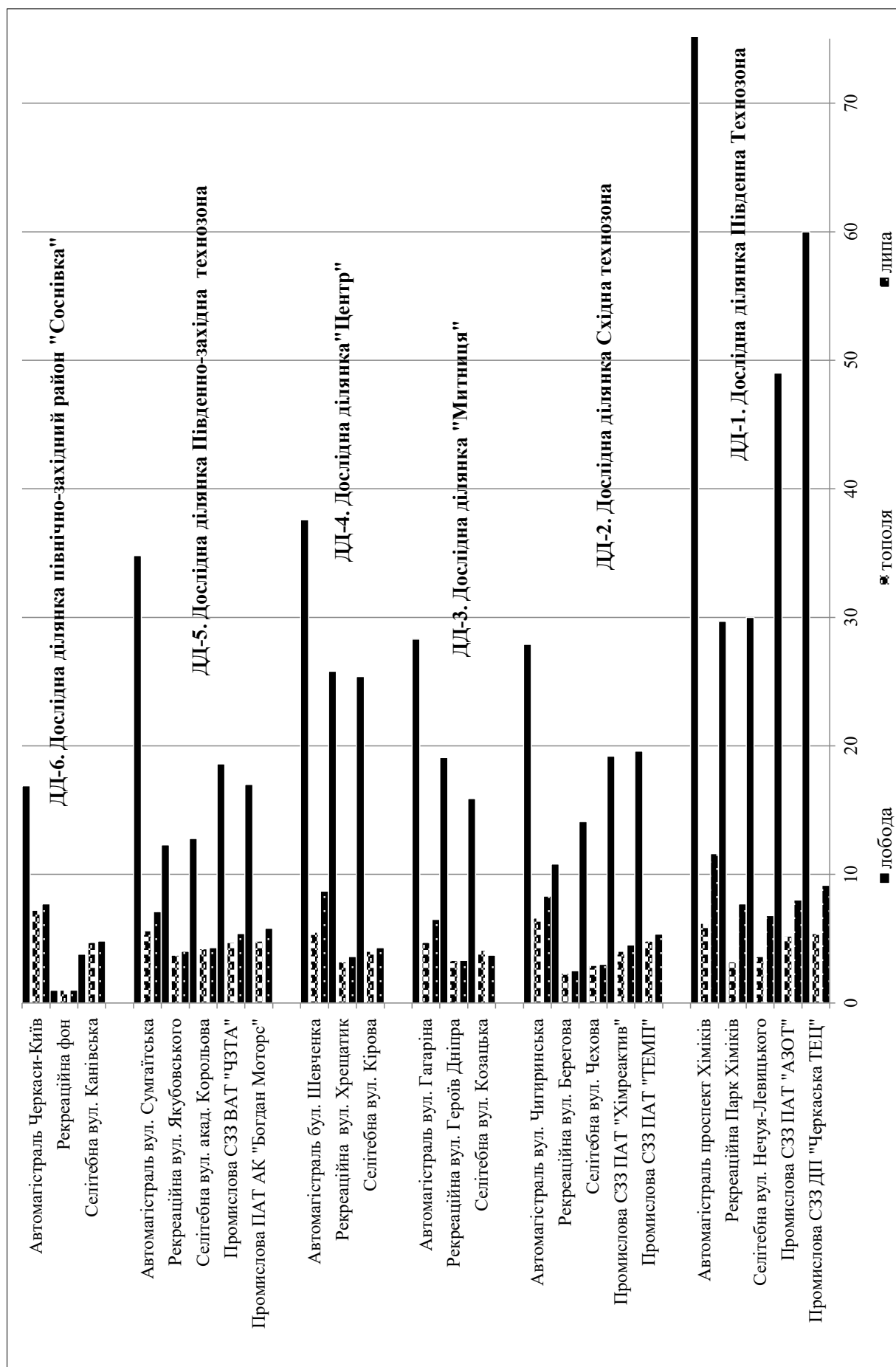


Рис. 2. Сумарний показник (Zc) поділеного забруднення фітомаси деревних порід *Tilia cordata*, *Populus rugativalis* і трав'янистої рослинності *Chenopodium album* в межах екологічно-функціональних зон міста Черкаси

Промислова зона. Місто має мозаїчну структуру розміщення промисловості, але можна виділити технозони, які чинять найбільший вплив на стан довкілля у місті Черкаси – Південна, Східна, Південно-західна. Для *P. pyramidalis*, *T. cordata* санітарно-захисних зон ДП «Черкаська ТЕЦ», ПАТ «АЗОТ» (ДД-1) – найбільших підприємств міста – сумарний показник забруднення коливався в межах 5,2–9,15 (рівень середнього і сильного забруднення). Решта локалітетів санітарно-захисних зон Східної (ДД-2) і Південно-західної (ДД-5) технозон – території середнього забруднення. Розраховано сумарний показник забруднення за вмістом мікроелементів у листках *S. album*, що характеризує стан локалітетів санітарно-захисних зон згаданих вище підприємств, як дуже сильно забруднених (ДД-2, ДД-5) та максимально забруднених (ДД-1).

Селітебна зона представлена екотопами, які безпосередньо розташовані на прибудинкових територіях і дворах житлових масивів. Максимальні значення сумарного показника забруднення для *P. pyramidalis* встановлено в межах Південно-західної технозони (ДД-5), а для *T. Cordata* – Південної технозони (ДД-1).

Певна гетерогенність щодо сумарного показника забруднення листків рослин-тест об'єктів *P. pyramidalis*, *T. cordata* ВМ зумовлена як особливостями процесів міграції, накопиченням токсикантів в умовах одно- чи багатоповерхової забудови, так і специфікою урбогенного навантаження через щільне розміщення поблизу будинків приватних транспортних засобів, кількість яких невпинно зростає.

Екотопи вздовж автомагістралей із середньою інтенсивністю руху транспортних засобів. Значного антропогенного навантаження зазнають рослини різних життєвих форм поблизу автомагістралей. Деревні рослини реагують на зміни середовища раннім всиханням гілок, некротичними враженнями листових пластинок тощо. За результатами розрахунку сумарного показника забруднення з використанням тест-об'єктів *P. pyramidalis*, *T. cordata* встановлено, що стан території вздовж транспортних магістралей, зокрема проспекту Хіміків Південної технозони (ДД-1), вул. Чигиринської Східної технози (ДД-2) можна оцінити як середньо (6,2–6,6) та сильно забруднений (8,3–11,6). Під час обчислення з використанням показників вмісту ВМ у листовій біомасі *S. album* характеризується як дуже сильно (27,9) та максимально забруднений (75,2).

Головні висновки. Встановлено достовірне підвищення ($P < 0,01$) вмісту ВМ у фітомасі рос-

лин тест-об'єктів порівняно з фоновою територією об'єктного регіону дослідження. Вміст мікроелементів (Cu, Zn, Pb, Cd) у листовій біомасі та розраховані коефіцієнти значно відрізняються як за класами екотопів, що пояснюється особливостями розташування джерел техногенної емісії, так і за видовими особливостями дерев *Tilia cordata* > *Populus pyramidalis* щодо акумуляції ВМ. Інформативний ряд сумарного показника забруднення (Z_c) дозволяє віднести досліджені локалітети до трьох рівнів забруднення: «максимально сильне», «сильне», «помірне (слабке, середнє)», причому рекреаційні зони не можуть вважатися «чистими», оскільки мають досить високий рівень забруднення.

Під час проведених досліджень була підтверджена видова специфічність чутливості *Tilia cordata* як біоіндикатора забруднення довкілля. Значний вміст важких металів у листках вздовж транспортних магістралей співпадає з погіршенням екологічного та санітарного стану дерев, особливо з вираженою дефоліацією та дехромацією листових пластин.

Запропоновано можливість використання *Chenopodium album* в якості сезонного біоаккумулятора та тест-об'єкта забруднення міських екотопів важкими металами з огляду на широку представленість у біотопах міста. Підвищені рівні вмісту мікроелементів у листовій біомасі *S. album* екотопів міста відображають активність міграційних процесів мобільних форм ВМ.

Перспективи використання результатів дослідження. В умовах техногенно трансформованих екотопів стан вуличних зелених насаджень катастрофічно погіршується (розрідження крони, всихання гілок, некрози, хлорози, літня дефоліація листків), що потребує проведення відновних заходів із оздоровлення деревостанів, збільшення площ зелених зон вздовж транспортних магістралей, у межах сформованих техно- та рекреаційних зон. Підвищений вміст ВМ у фітомасі рослин тест-об'єктів селітебних зон свідчить про суттєве техногенне навантаження через несанкціоноване розміщення приватних автомобілів на прибудинкових територіях.

Сучасний досвід зеленого будівництва міста Черкаси не враховує специфічність екологічних умов та рівень техногенного забруднення. Питання формування «фіторельєфу» міста з можливістю перерозподілу димових газів і викидів транспортних засобів через утворення «зелених коридорів» із використанням лінійних насаджень дерев і формуванням «зелених масивів» вздовж схилів Дніпра є не достатньо вивченим.

Література

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях Л. : Агропромиздат. 1987. 142 с.
2. Ильин В.Б. Тяжёлые металлы в системе почва-растение. Новосибирск : Наука, 1991. 151 с.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях М. : Мир. 1989. 430 с.
4. Memon A.R., Aktoprakligil D., Ozdemir A. Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants. *Turk J. Bot.* 2001. Vol. 25. P. 111–121.

5. Важкі метали в об'єктах довкілля Київського мегаполісу : монографія / Самчук А.І. та ін. Київ : Наш формат, 2019. 164 с.
6. Зайцева И.А. Роль зеленых насаждений в оптимизации городской среды. *Устойчивое развитие: загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность* : труды I Междунар. науч.-практ. конф. Днепропетровск : Днепр. ун-т. 1995. Т. 2. С. 36–37.
7. Луцишин О.Г., Тесленко І.К., Белошапка Т.В. Адаптація деревних рослин техногенно трансформованих урбоедафотопів (на прикладі м. Київ). *Доповіді НАН України*. 2013. № 5. С. 180–194.
8. Корнелюк Н.М., Конякін С.М., Гродзинська Г.А. Вміст важких металів у листках *Tilia cordata* Mill. та ґрунті урбоекосистем м. Черкаси. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 3. С. 24–32.
9. Корнелюк Н.М., Хоменко О.М. Особливості біоаккумуляції важких металів деревною рослинністю в зоні локальної дії Черкаської теплоелектроцентралі (на прикладі м. Черкаси). *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018, 8 (1), 953–960 doi: 10.15421/2018_2988.
10. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Мирошниченко Н.Н. и другие. Интенсивность накопления тяжелых металлов естественной травянистой растительностью. *Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред* : тезисы докладов Международной конференции (Москва, 4-6 февраля 2013 г.). М. : БИНОМ. Лаборатория знаний. 2013. С. 144.
11. Кучерявый В.А. Роль зеленых насаждений в оздоровлении урбанизированной среды. *Проблемы комплексного управления городской средой*. Львов, 1979. С. 97–98.
12. Лаптев А.А. Зеленое строительство и оптимизация окружающей среды. *Озеленение, проблемы фитогигиены и охраны городской среды*. Л. : Наука, 1984. С. 30–33.
13. Саєт Ю.Е., Рачевич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М. : Недра. 1990. 335 с.
14. Біоіндикація техногенного забруднення м. Києва: методичні підходи : монографія за ред. О.П. Дмитрієва. Київ : Наш формат, 2016. 122 с.
15. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М. : Гидрометеоздат, 1981. 101 с.
16. Смирнова Р.С., Ревич Б.А. Биогеохимические методы при изучении окружающей среды. М. : МГУ, 1989. С. 117–127.
17. Соломаха В.А. Синтаксономія рослинності України. Третє наближення. Київ : Фітосоціоцентр, 2008. 296 с.
18. Осипенко В.В. Спонтанна рослинність м. Черкаси. 5. Угруповання рудеральної рослинності. *Укр. фітоцен. зб.* Київ, 1999. Сер. А, № 3(14). С. 107–122.

ОРНІТОКОМПЛЕКСИ ЯК СТРУКТУРНИЙ ЕЛЕМЕНТ БІОГЕОЦЕНОЗІВ: СТРУКТУРА, КРИТЕРІЇ, ПОКАЗНИКИ

Кошелєв В.О.¹, Пахомов О.Є.²

¹Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького
вул. Гетьманська, 20, 72300, Мелітополь
kochelev10041@gmail.com

²Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49000, м. Дніпро
a.pachomov@i.ua

Під орнітокомплексом розуміють історично складені угруповання птахів різних видів, які тривалий час існують на певній території та пов'язані функціонально. Класифікація орнітокомплексів включає як еколого-біотопічний підхід (водні, заплавні, лукові, степові, сільськогосподарські, солончакові, лісові, селітебні, урбанізовані, острівні біотопи (на материкових і наливних островах), так і функціональний (гніздові, зимівельні, линні, міграційні орнітокомплекси та інші). За тривалістю виділяють тривалоіснуючі, короткочасні й ефемерні орнітокомплекси; за стабільністю – постійні, сезонні, тимчасові, випадкові, за видовим складом – моновидові, полівидові, змішані; за характером і типом гніздування птахів – деревні, чагарникові, очеретяні, наземні, наводні, норні, дуплогнізні, у технічних спорудах. Характеристика орнітокомплексів включає такі критерії: генезис (первинні або вторинні), таксономічний склад, екологічна структура, хорологічна структура (територія, яку займає орнітокомплекс, та її склад), хронологічність (тривалість існування, циклічність). В якості показників, які характеризують окремі орнітокомплекси, запропоновано використовувати таксономічне різноманіття, видове багатство, зоогеографічне різноманіття, розмір території, яку займає орнітокомплекс, населення птахів; ступінь домінування окремих видів, різноманіття екологічних зв'язків, кількість і різноманіття структурних елементів (колоній, поселень, скупчень, консорцій та інші). Для окремих показників орнітокомплексів використовуються різноманітні індекси. Принципи організації орнітокомплексів зводяться до типолого-хорологічного формування, зміни та заміщення, єдності безперервності і дискретності, контрастності, пов'язаності та просторово-часової повторюваності градієнтів населення та локальної оптимальності, що властиво і населенню тварин. За своїми параметрами орнітокомплекси повністю відповідають критеріям, які висуваються до біологічних систем: у них виражена соціальна структура популяцій кожного виду, укрупнення елементів за рахунок консорцій і колоній. За характером зв'язків орнітокомплекси належать до відкритих систем, у яких відбувається обмін речовиною, енергією та інформацією. Її здатність зі самозбереження визначається перш за все внутрішніми взаємодіями окремих елементів (особин і груп з окремих видів), що призводить до її стійкості, витривалості і лабільності щодо зовнішніх факторів. Розвиток орнітокомплексів йде як правило в бік ускладнення організації (перш за все видової) і утворення підсистем у їх структурі (через включення колоній, консорцій). При формуванні та існуванні орнітокомплексів на великій території можна спостерігати явище бифуркації, тобто розщеплення або роздвоєння окремих орнітокомплексів на два або декілька вслід за виникненням нових ділянок у відповідних біотопах на певній території часто шляхом різких якісних стрибків. Як реально існуюча система орнітокомплекс може бути представлений у вигляді знакового образу, тобто знаковою моделлю системи. Фактори внутрішньої організації орнітокомплексів (конкуренція та інші) як правило грають другорядну роль порівняно з прямим впливом зовнішнього середовища на неоднорідність спільноти загалом. Фауна і населення птахів великих ділянок поділяються на окремі орнітокомплекси в багатовимірному факторному просторі. Для кожної ділянки є набір біотопів, умов і ресурсів, при яких формуються різні типи орнітокомплексів і реалізуються комплекси, характерні іншим біотопам. *Ключові слова:* птахи, орнітокомплекс, біогеоценоз, структура, показники, критерії орнітокомплексів.

Ornithocomplexes as a structural element of biogeocenoses: structure, criteria, indicators. Kochelev V., Pakhomov O.

The ornithocomplex is understood to be a historically complex grouping of birds of different species that have existed in a particular territory for a long time and are functionally related. Classification of ornithocomplexes includes both ecological – biotopic approach (aquatic, floodplain, meadow, steppe, agricultural, salt marshes, forest, residential, urban, island biotopes (in mainland and floodplain islands), and functional (nesting, wintering, molting, migratory ornithocomplexes, etc.). By duration long-existing, short-lived and ephemeral ornithocomplexes are distinguished; by stability – permanent, seasonal, temporary, occasional, by species composition – mono-species, poly-species, mixed; by nature and type of breeding tachs – timber, shrubs, reeds, terrestrial, inland, norm, hollow, in technical structures. The characteristics of ornithocomplexes include the following criteria: genesis (primary or secondary), taxonomic composition, ecological structure, holographic structure (territory occupied by ornithocomplex, and its composition), chronology (duration of existence, cyclicity). As indicators that characterize individual ornithocomplexes it is proposed to use: taxonomic diversity, species richness, zoogeographical diversity, the size of the territory, occupied bird communities, populations of birds; the degree of dominance of individual species, the diversity of ecological relationships, the number and variety of structural elements (colonies, settlements, clusters, consortia, etc.). Different indices are used for individual indicators of ornithocomplexes. The principles of organization of ornithocomplexes are reduced to typological-horologic formation, change and replacement, unity of continuity and discreteness, contrast, connectedness and spatio-temporal repetition of population gradients, and local optimality, which is peculiar

to the population of animals as a whole. According to their parameters, ornithocomplexes fully meet the criteria for biological systems. They express the social structure of populations of each species, consolidation of elements through consortia and colonies. The nature of the links of ornithocomplexes refers to open systems in which the exchange of matter, energy and information takes place. Its capacity for self-preservation is determined primarily by the internal interactions of individual elements (individuals and groups of individual species), which leads to its stability, endurance and lability in relation to external factors. The development of ornithocomplexes tends to be toward complicating the organization (especially species) and the formation of subsystems in their structure (through the inclusion of colonies, consortia, etc.). During the formation and existence of ornithocomplexes in a large area, the phenomenon of bifurcation can be observed, i.e. splitting or splitting of individual ornithocomplexes into two or more after the emergence of new sites in the respective biotopes in the area, often by sharp qualitative jumps. As a real system, the ornithocomplex can be represented as a symbolic image, that is, a symbolic model of the system. The factors of internal organization of ornithocomplexes (competition and others), as a rule, play a minor role in comparison with the direct influence of the external environment on the heterogeneity of the community as a whole. The fauna and bird populations of large areas are divided into separate ornithocomplexes in multidimensional factor space. For each site, a set of biotopes, conditions and resources is detected, under which different types of ornithocomplexes are formed and complexes that are characteristic of other biotopes are realized. *Key words*: birds, ornithocomplex, biogeocenosis, structure, indicators, criteria of ornithocomplexes.

Постановка проблеми. Незважаючи на велику кількість публікацій, де згадується термін «орнітокомплекс», серед орнітологів немає чіткого розуміння поняття «орнітокомплекс» як особливої біологічної системи та окремого структурного елементу біогеоценозів, не було розроблено схеми їх класифікації, принципів виділення і показників оцінки орнітокомплексів, розуміння їх місця і ролі в біогеоценозах і складі орнітофауни.

Актуальність дослідження. За останні сто років у зв'язку з господарською діяльністю людини різко збільшилася мозаїчність ландшафтів півдня України. Це призвело до утворення й існування нових типів орнітокомплексів як стабільно існуючих протягом довготривалого періоду (міські, сільські, сільсько-господарські), так і тимчасових, або ефемерних, які існують короткий проміжок часу з частою зміною місцезнаходження. Ефемерні орнітокомплекси формуються за рахунок видів птахів із сусідніх стабільних комплексів.

Фрагментація колишніх природних степових і створених на їх місці антропогенно-трансформованих ландшафтів призводить до збільшення їх мозаїчності і підвищення біорізноманіття; до дроблення популяцій птахів на дрібні угруповання, мозаїчності видових ареалів. Важливе значення для формування й існування орнітокомплексів має мозаїчність ландшафтів. Фактором, який визначає якісний і кількісний склад орнітокомплексів, є структура і стан фітоценозів і гідрологічні умови.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувалося в межах державних бюджетних науково-дослідних робіт: «Біологічні особливості видів-вселенців фауни Північного Приазов'я, їх дія на екосистеми і прогнозування наслідків щодо господарської діяльності (2006–2010)», «Зоокомплекси штучних лісових насаджень Північного Приазов'я в умовах трансформації ландшафтів і клімату (2011–2013)», «Оцінка стану природних і штучних екосистем північно-західного Приазов'я (2013–2015)», «Інвентаризація міської фауни, растрове картування та створення атласу урбанізованих видів

тварин малого міста (північно-західне Приазов'я (2016–2018))».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою для цієї роботи є праці С.А. Левича [1], Р. Уиттекера [2], Г.І. Шенброта [3], П. Джиллера [4], А.Ф. Алімова [5], В.Л. Булахова зі співавторами [6, 7, 8, 9, 10], І.Г. Емельянова зі співавторами [11], Ю.С. Равкіна, С.Г. Ливанова [12], В.П. Белика [13], І.В. Скільського [14], В.А. Бусела [15], С.А. Дорофеева [16], Г.А. Захарової [17], В.Я. Кузьменко, В.В. Кузьменко [18], Й.І. Черничко зі співавторами [19].

Про посилення інтересу до вивчення структури і шляхів формування орнітокомплексів свідчить також підготовка і захист кандидатських дисертацій, присвячених орнітокомплексам азональних солончаків [20], орнітокомплексам островів Сивашу [21], антропогенної трансформації орнітокомплексів Сколівських Бескидів [22], орнітокомплексам лісових екосистем Українських Карпат [23], орнітокомплексам урболандшафтів Донбасу [24], орнітокомплексам заплав малих річок Північного Приазов'я [25], орнітокомплексам технологічних водних об'єктів [26].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Багато уваги приділяється впливу різних факторів на формування та стан орнітокомплексів в різних місцях мешкання та їх структуру. При аналізі орнітокомплексів було виділено їх типи, структуру і проаналізовано структурні елементи – зоогеографічну структуру на основі зоогеографічного поділу Палеарктики, топічну, трофічну і екологічну структуру, таксономічну структуру, функціональні зв'язки (фабричні, форичні). Окремо розглядаються консортивні зв'язки різних видів птахів у лісових орнітокомплексах серед водоплавних і коловодних птахів, оцінка зв'язків із сусідніми орнітокомплексами в складі біогеоценозів і регіональної орнітофауни. Автори пропонують використовувати стан окремих орнітокомплексів з метою моніторингу стану навколишнього середовища в якості зручного об'єкту.

Новизна. Вперше з еколого-географічних позицій подано поняття орнітокомплексів, принципів їх виділення й показників оцінки. Орнітокомплекси розглянуто як біологічні системи відкритого типу в складі екосистем і як важливий компонент місцевих орнітофаун.

Методологічне або загальнонаукове значення.

На основі розглянутих показників можна проводити об'єктивну оцінку і порівняння орнітокомплексів, їх стану, а також біоіндикацію навколишнього середовища. Комплексне використання зазначених методів досліджень дало можливість провести всебічний аналіз орнітокомплексів різного типу як структурно-функціонального елементу біогеоценозів і орнітофауни в природних та антропогенно трансформованих ландшафтах на півдні України.

Мета роботи. Проаналізувати формування, зміст і використання поняття орнітокомплексу. Провести комплексне дослідження структури орнітокомплексів як важливого елементу біогеоценозів і регіональних орнітофаун, критеріїв їх класифікації та показників оцінки.

Матеріали й методи досліджень. Об'єктом досліджень були гніздові групування птахів, тобто орнітокомплекси, які вивчалися у 2001-2019 роках на півдні України на контрольних ділянках у дельтах Дунаю, Дністра, заплавах малих річок, морських островів Молочного лиману і Обіточенської затоки. Проводились обліки птахів загальноприйнятими методами на маршрутах і ділянках [19; 27; 28].

Виклад основного матеріалу. В орнітологічній літературі поняття «орнітологічні комплекси», або «орнітокомплекс», почало використовуватися порівняно недавно. У першій половині ХХ століття питання про виділення орнітокомплексів як самостійної біологічної системи ще не піднімалося, спільноти птахів розглядали як синонім «орнітофауна» при вивченні птахів на невеликих територіях або в окремих біотопах або як синонім «населення птахів» чи «орнітофауністичні комплекси».

Коли від фауністичних напрямів почали переходити до екологічних, то поступово почали використовувати термін «орнітокомплекс». Цей термін вперше був використаний в одноіменній монографії А.О. Ташлієва «Орнитологические комплексы юго-восточной Туркмении» [29]. В ній автор розглянув зоогеографічні особливості орнітофауністичних комплексів, їх формування, видовий склад і біотопічне розміщення, екологічні особливості. Потім при розгляді зоокомплексів почали обов'язково враховувати їх таксономічну, топічну, зоогеографічну і трофічну структури та вплив екологічних факторів. У спільнотах птахів почали виділяти різні типи і вивчати структуру окремих типів орнітокомплексів. Було зроблено спроби класифікації лісових зооценозів. З екологічних позицій оцінку і класифікацію орнітологічних комплексів при вивченні населення птахів у лісах різного типу наводить А.І. Гузій [23],

використовуючи терміни «орнітоценоз» і «орнітологічні комплекси». Співвідношення екологічних ніш різних видів птахів і їх внесок у формування орнітокомплексів розглядається в роботі Г.І. Шенброта [3].

З другої половини ХХ століття термін досить широко почали використовувати і для аналізу островних орнітокомплексів. У роботах О.В. Мацюри [21], присвячених островним орнітокомплексам, подано аналіз їх просторової і видової структури, динаміки чисельності гніздових угруповань колоніальних і коловодних видів птахів. Автор виявив залежність кількісного і якісного складу орнітокомплексів від біотопічної характеристики островів, структури домінування окремих видів і консортивних зв'язків. Проведений математичний аналіз динаміки островних орнітокомплексів дав можливість створити математичні моделі просторового розподілу птахів на основі відносної вирівненості, видової різноманітності і ступеня факторів, які на них впливають.

Мозаїчний розподіл птахів на островах визначається абіотичними характеристиками островів, станом гніздових біотопів, ступенем антропогенного преса і характером міжвидових відносин, що залежить від стійкості островних орнітокомплексів. Серед них вирішальне значення мають трофічні, фабричні і медіопатічні зв'язки, що показано на прикладі картинкових птахів.

Своє визначення поняттям «орнітокомплекс», «орнітоугруповання» і «орнітонаселення» з метою характеристики місця та ролі птахів у межах певної однорідної ділянки земної поверхні дає А.В. Башта [22], надаючи саме орнітокомплексам екологічну спрямованість, позначаючи їх як сукупність видів птахів із властивим для них складом і співвідношенням домінуючих та індикаторних видів, структурою екологічних груп, функціональною роллю в екосистемі та закономірностями сезонної динаміки, в екологічно та генетично споріднених біотопах; а «орнітоугруповання» – як взаємопов'язану сукупність видів птахів певного конкретного біотопу з певною внутрішньою структурою, співвідношенням екологічних груп у сезонному аспекті. Він виділяє також корінні і вторинні орнітокомплекси залежно від їх походження на визначеній території, використовує для їх оцінки і характеристики екологічні індекси (індекси видового різноманіття, домінування, вирівненості).

У багатьох публікаціях розглядається процес формування орнітокомплексів в окремих біотопах [13]. При цьому підкреслюється, що орнітокомплекс є складовою частиною орнітофауни. Так, для Сульської затоки Кременчузького водосховища було виділено сім орнітофауністичних ділянок із різними варіантами гніздових орнітокомплексів, які включали 22-51 види птахів із 98 видів, виявлених для цього регіону, визначено частку птахів різних екологічних груп: водоплавні, коловодні, лугові, деревно-чагарникові [30].

Е.А. Ірісов [31] на основі біотопічного розміщення виділяє орнітокомплекси для зони будівництва Кулундинського каналу: лучно-степові, деревні, водні та на посівах в агроландшафтах. Для цих орнітокомплексів було встановлено видовий склад, визначені домінантні види птахів для кожного типу біотопів. Орнітокомплекси солончакових місць мешкання Дніпропетровської області розглянути О.А. Губкіним [20]. Ним було узагальнено дані по сезонних скупченнях і орнітокомплексах Сивашу, Молочному лиману [28; 31].

Серед орнітокомплексів степової зони одними з оригінальних є солончакові, очеретові, склерофільні і петрофільні орнітокомплекси [32; 33; 34; 35], пов'язані з урвищами морських берегів, річок і кар'єрів, до складу яких входять первинні і вторинні види-норники. В останні десятиліття орнітологи приділяють багато уваги вивченню птахів урбанізованих ландшафтів, видаються Атласи міських птахів, у яких подається коротка характеристика орнітокомплексів для окремих міських середовищ існування [17; 24]. Розглядаються шляхи і закономірності формування міської орнітофауни та окремих орнітокомплексів, структурно-функціональні характеристики угруповань та адаптації птахів до антропогенного ландшафту, орнітокомплекси трансформованих екосистем [14]. Птахи культурних і урбанізованих ландшафтів розглядаються суто як їх фауна і населення.

Структурні елементи та компоненти орнітокомплексів розглядаються в небагатьох роботах, де аналізується роль колоній, скупчень і окремих консорцій [32; 34]. Для лісових екосистем підкреслюється важлива роль ярусної структури лісу для підтримки різноманіття птахів [23]. Розглянуто механізми комунікації та етологічна структура популяцій у птахів, демографія птахів, де побічно розглядаються питання пташиних спільнот.

Для формування і сталого існування багатовидових спільнот важлива не трофічна роль птахів, а й побічні ефекти трофічних зв'язків. При розгляді фауни і населення птахів у періоди сезонних кочівель і міграцій все частіше орнітологи використовують поняття «сезонні орнітокомплекси». Поняття «орнітокомплекс» стало також застосовуватися при характеристиці спільнот зимуючих птахів. Було введено поняття «ефемерні» орнітокомплекси, які утворюються здебільшого на один гніздовий сезон, наприклад поблизу артезіанських свердловин, на тимчасових наливних островах.

Багато уваги приділяється вивченню впливу антропогенних чинників на спільноти птахів, визначенню масштабів загибелі птахів у різних антропогенних місцепроживаннях, їх вплив на стан орнітокомплексів і популяцій окремих видів [15; 36; 37; 38]. В останні роки з'явилися роботи, в яких розглядають таксономічне різноманіття орнітокомплексів і орнітоценозів із використанням різних методів для

їх моніторингу, оцінки і прогнозування стану [11; 39; 40]. З практичної точки зору багато уваги приділялося вивченню шляхів охорони угруповань птахів і методів управління ними в тому числі за допомогою біотехнічних заходів.

Особлива увага приділяється збереженню в орнітокомплексах рідкісних раритетних видів птахів, небезпекам впровадження «проблемних» видів, інвазійних видів. Перспективним і ефективним способом було і залишається створення природно-заповідних територій різного типу, значних за площею. У низці робіт запропоновано використання орнітокомплексів з метою біоіндикації наземних і водних екосистем.

Принципи організації орнітокомплексів, під якими автори статті розуміють історично складені угруповання птахів різних видів, що тривалий час існують на певній території та пов'язані функціонально, зводяться до типолого-хорологічного формування, зміни та заміщення, єдності безперервності і дискретності, контрастності, пов'язаності і просторово-часової повторюваності градієнтів населення і локальної оптимальності, що властиво і населенню тварин.

За допомогою кластерного і факторного аналізу, методу головних компонентів і лінійної якісної апроксимації можна виявити і оцінити силу і спільність зв'язків неоднорідності спільнот птахів і цих факторів середовища, тобто отримати з більшою детальністю уявлення про факторну організацію орнітокомплексів, причому не тільки на рівні окремих факторів та їх поєднань. Територіальна мінливість населення птахів і структури орнітокомплексу визначаються неоднорідністю (в минулому або сьогодні) умов середовища, ресурсів і взаємовідносин птахів між собою і може пояснюватися відмінностями окремих факторів або їх сполучень. Орнітокомплекс загалом і окремі таксоцени можуть бути описані як статистичні ансамблі з зовнішнім обмеженням і системою жорстких зв'язків або мати змішану характеристику організації. З позицій вчення про екологічну нішу синонімом орнітокомплексу можна вважати гільдії та ансамблі [41; 42; 43; 44; 45; 46; 47].

Найбільш часто гніздові орнітокомплекси виділяють за певними біотопами (лісові, степові, урбанізовані, водні). Розроблена класифікація орнітокомплексів включає еколого-біотопічні орнітокомплекси (водні, заплавні, рослинні, наземні (лукові, селітебні, сільськогосподарські, степові, солончакові, урбанізовані, лісові) та острівні (материкові й намулені на островах). За функціями: гніздові, зимівельні, линні, міграційні. За тривалістю: довготривало існуючі, короточасні й ефемерні. За стабільністю: постійні, тимчасові, випадкові. За видовим складом: моновидові, полівидові, змішані. За характером і типом гніздування: деревогніздувачі, чагарникові, очеретяні, наземні, наводні, норні, дуплогніздувачі,

технічні споруди. Кожен тип включає в себе підтипи, які можуть перетинатися, тобто згадані в них фактори можуть впливати на різні види птахів як однаково, так і по-різному, що призводить до формування різних типів орнітокомплексів (рис. 1, 2). Автори пропонують виділяти первинні (корінні) та вторинні орнітокомплекси [22]. Нижче наведено розроблену авторами схему класифікації орнітокомплексів, яка включає окремі структурні компоненти (рис. 1).

В якості критеріїв виділення і характеристики орнітокомплексів запропоновано використовувати такі: генезис (первинні або вторинні); таксономічний склад; екологічна структура; хорологічна структура (територія, яку займає орнітокомплекс, та її склад); хронологічність (тривалість існування, циклічність). В якості показників, які характеризують окремі орнітокомплекси, пропонується використовувати таксономічне різноманіття; видове багатство; зоогеографічне різноманіття; розмір тери-

торії, яку займає орнітокомплекс; населення птахів; ступінь домінування; різноманіття екологічних зв'язків; кількість і різноманіття структурних елементів: колоній, поселень, скупчень, консорцій. Для окремих показників орнітокомплексів апробовані різноманітні індекси [11; 39; 45].

За своїми параметрами орнітокомплекси повністю відповідають критеріям, які висунуто до біологічних систем. Для підтримки необхідної різноманітності будь-яка система, в тому числі й біологічна, повинна складатися з окремих елементів, кожен із яких – індивідуальний. Різноманітність орнітокомплексів можна вимірювати як сукупність окремих видів птахів, представлених окремими особинами. Це визначає гетерогенність будь-якого орнітокомплексу. В них виражена соціальна структура популяцій кожного виду і укрупнення елементів за рахунок консорцій. Оскільки систему не можна зрозуміти на основі окремих її елементів, то найважливіше значення має саме взаємодія

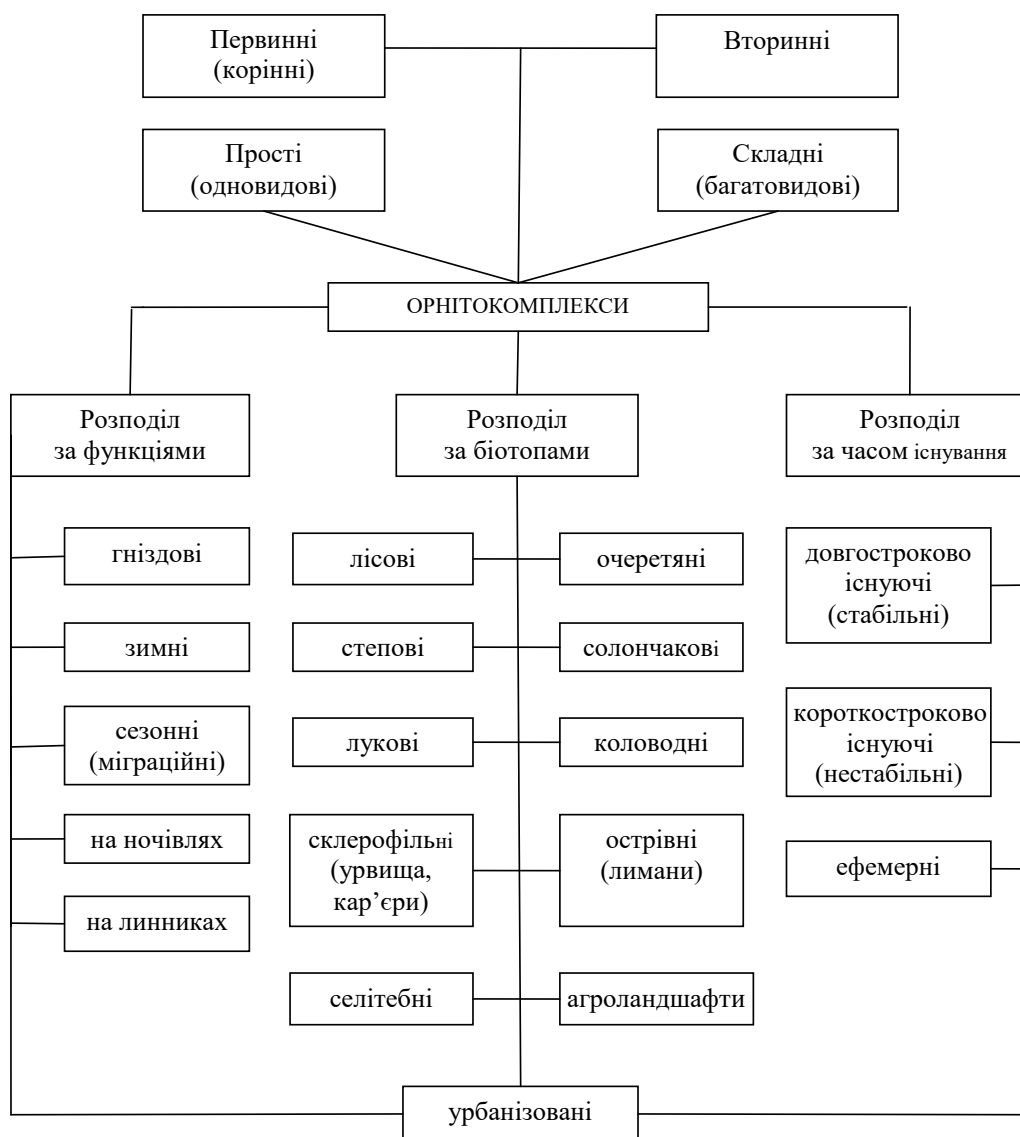


Рис. 1. Схема класифікації орнітокомплексів

між ними. Емерджентність системи буде визначатися не сумою властивостей окремих елементів, а їх взаємодією як єдиного цілого.

За характером зв'язків орнітокомплекси належать до відкритих систем, в яких відбувається обмін речовиною, енергією та інформацією. Отже, орнітокомплекс можна вважати відкритою динамічною біологічною системою. Її здатність зі самозбереження визначається перш за все внутрішніми взаємодіями окремих елементів (особин окремих видів), що призводить до її стійкості, витривалості і лабільності по відношенню до зовнішніх чинників. Головна мета системи – її самозбереження. В орнітокомплексі вона забезпечується шляхом самовідтворення компонентів, що і робить її ефективною.

Використовуючи викладені вище принципи, автори пропонують таку класифікацію орнітокомплексів:

1. Еколого-біотопічні орнітокомплекси. Вони включають у себе водні (заплавні (дельти рік), рослинних систем, озер і ставків, русла рік), суходільні, наземні (лукові, селітебні, сільськогосподарські, степові, солончакові, урбанізовані, лісові) та острівні: материкові й намулені острови.

2. За функціями: гніздові, зимівельні, линні, міграційні.

3. За довготривалістю: довготривало існуючі, короткочасні й ефемерні.

4. За стабільністю: постійні, тимчасові, випадкові.

5. За видовим складом: моновидові, полівидові, змішані.

6. За характером і типом гніздування: деревогніздувачі, чагарникові, очеретяні, наземні, наводні, норні, дуплогніздувачі, технічні споруди.

В якості критеріїв виділення і характеристики орнітокомплексів автори пропонують використовувати:

1. Генезис (первинні або вторинні).
2. Таксономічний склад.
3. Екологічну структуру.
4. Хорологічну структуру (територія, яку займає орнітокомплекс, та її склад).
5. Хронологічність (тривалість існування, циклічність).

В якості показників, які характеризують окремі орнітокомплекси, пропонується використовувати таксономічне різноманіття; видове багатство; зоогеографічне різноманіття; розмір території, яку займає

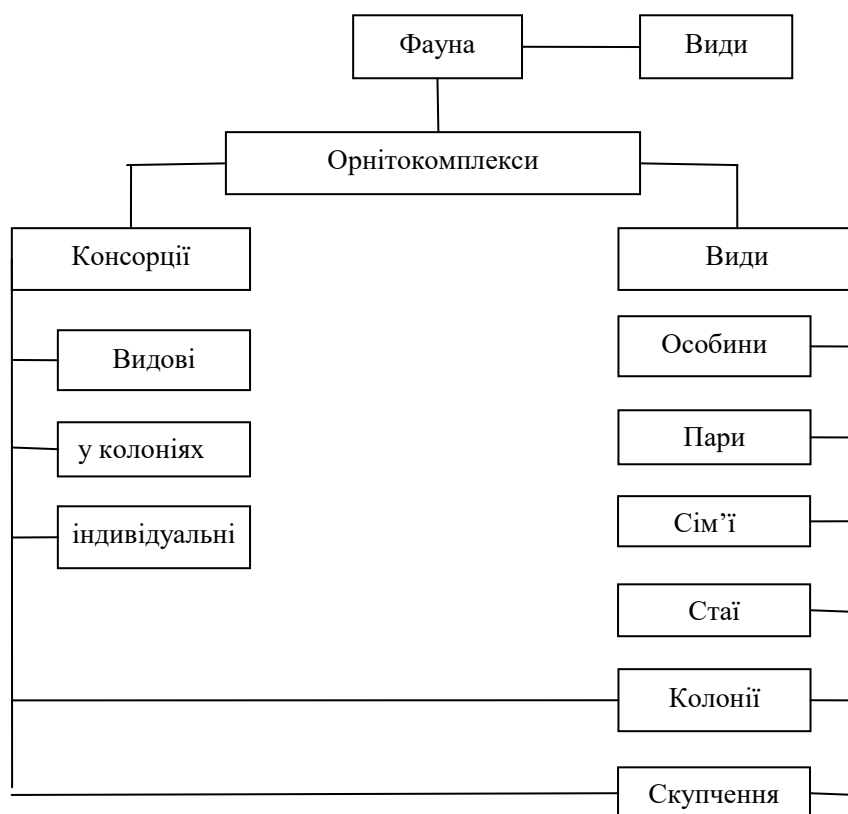


Рис. 2. Структурні компоненти орнітокомплексів

орнітокомплекс; населення птахів; ступінь домінування; різноманіття екологічних зв'язків; кількість і різноманіття структурних елементів: колоній, поселень, скупчень, консорцій. Для окремих показників орнітокомплексів вже апробовані та використані різноманітні індекси.

Існування кожної біологічної системи пов'язано зі зміною її структури і направлено на досягнення стабілізації відповідно до умов середовища (рис. 3). Виникаючі в системі пристосування до мінливих чинників збільшують її ефективність і призводять до подальшого розвитку. Розвиток орнітокомплексів як правило відбувається в бік ускладнення організації (перш за все видової) і утворення підсистем у їх структурі (через включення колоній, консорцій, зграй).

Цю схему в спрощеному вигляді можна пояснити на прикладі формування неоднорідності орнітокомплексів перелітних птахів. Після зимівлі навколводні види насамперед розподіляються по водоймах і водотоках, синантропи після перелітних кидків тримаються міст і селищ, а інші види – незабудованої суші (підтипова організація першого типу). Вони не зустрічаються в цих місцях проживання повсюди, а розподіляються відповідно до загальної теплої і вологозабезпеченості, займаючи північні або більш південні території та акваторії в макроплані і відповідно до зональної (поясної) або підзональної специфіки гідротермічного режиму, а також згідно з інтра- та екстразональними особливостями ландшафтів (підтипова організація другого типу).

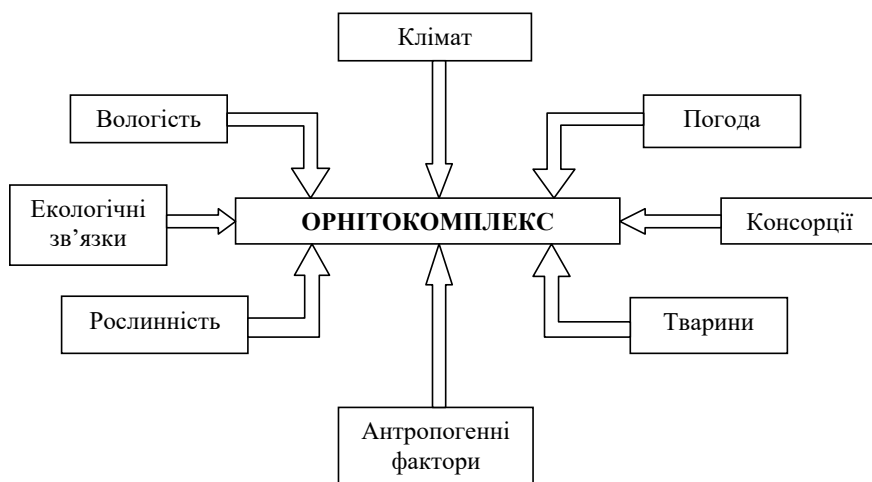


Рис. 3. Схема впливу екологічних факторів на орнітокомплекси

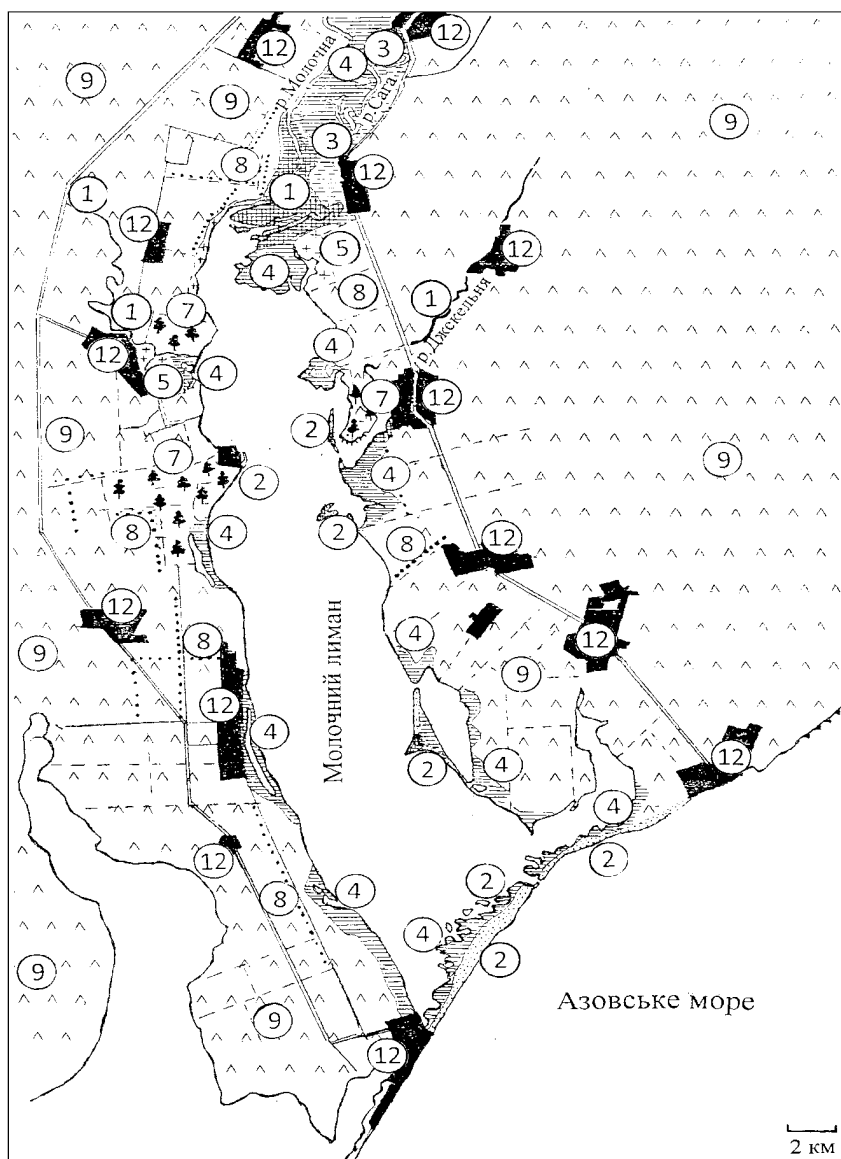


Рис. 4. Розміщення орнітокомплексів різних типів на Молочному лимані:

1 – зарості очерету; 2 – острови і коси; 3 – луки; 4 – солончаки; 5 – степові ділянки; 6 – заплавні ліси; 7 – штучні ліси; 8 – лісосмуги; 9 – агроландшафти; 10 – риборозплідні ставки; 11 – урвища і кар’єри; 12 – селітебні ландшафти

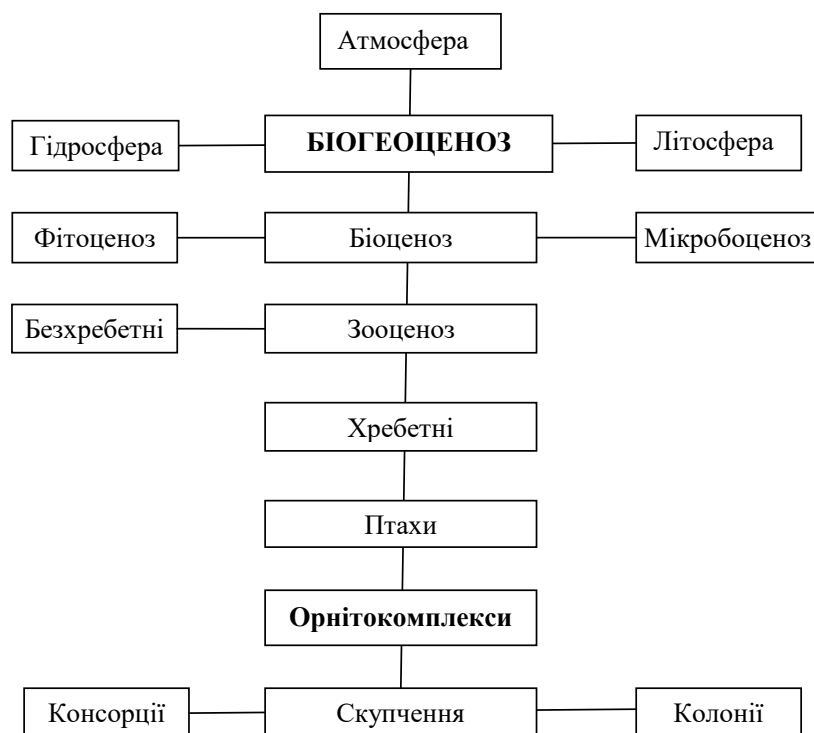


Рис. 5. Місце орнітокомплексів у біогеоценозі

Подальший розподіл на рівні третього типу організації визначається рамками толерантності видів до умов середовища і розміщенням доступних ресурсів. Розподіл на рівні четвертого типу організації пов'язаний із взаємним впливом сусідніх орнітокомплексів, поступовістю або дискретністю розміщення ресурсів, їх мінливістю. Лише після цього розподіл видів і відповідно неоднорідність орнітокомплексів залежить від внутрішньо-і міжвидових відносин птахів.

Можна вважати, що більшу частину неоднорідності середовища і орнітокомплексів визначає гідротермічний режим через сумарну тепло-і вологозабезпеченість і їх співвідношення. Однак вимір співвідношення тепла і вологи проводиться здебільшого на рівні зон, підзон і провінцій, а не в тому масштабі, в якому ведеться аналіз орнітокомплексів, тобто не на рівні місцеперебування (біотопу). Тому доводиться вдаватися до ландшафтно-пейзажних характеристик середовища, які залежать безпосередньо або опосередковано від гідротермічних умов, тобто складу рослинності та інших її характеристик таких як залісненість, покриття чагарниками, специфіка трав'яного покриву, а також трофність ґрунтів і водойм, особливостей сільськогосподарського використання земель. Ці відомості у вигляді експертних оцінок можна отримати з природно-географічних карт і аерокосмічних знімків.

Розміщення орнітокомплексів різного типу в межах біогеоценозу Молочного лиману добре вивчено [28; 32] і з урахуванням суміжних територій

показано на рис. 4. За допомогою даних кільцювання і оометрії модельних видів птахів (*Phalacrocorax carbo*, *Ardea cinerea*, *Larus cachinnans*, *Sterna hirundo*) для окремих типів орнітокомплексів встановлено тісні зв'язки шляхом обміну особинами і групами птахів.

Простежується послідовність формування і становлення емерджентних властивостей системи в ряду стійкість, керованість, самоорганізація. При формуванні та існуванні орнітокомплексів на великій території можна спостерігати явище біфуркації, тобто розщеплення або роздвоєння окремих орнітокомплексів на два або кілька видів слідом за виникненням нових ділянок у відповідних біотопах певної території часто шляхом різких якісних стрибків. Це автори простежили на територіях, які зазнали пірогенних сукцесій [42] і у заплавах річках слідом за зміною їх зволоження і обводнення [25]. У лісових біотопах в міру старіння деревної рослинності такі зміни, аж до зміни орнітокомплексу, відбуваються повільно шляхом їх накопичення [13; 23]. Як реально існуюча система орнітокомплекс може бути представлений у вигляді знакового образу, тобто знаковою моделлю екосистеми (рис. 5).

За допомогою кластерного і факторного аналізу, методу головних компонентів і лінійної якісної апроксимації можна виявити і оцінити силу і спільність зв'язків неоднорідності спільнот птахів і цих факторів середовища, тобто отримати з більшою деталісттю уявлення про факторну організацію орнітокомплексів, причому не тільки на рівні окремих факторів і їх поєднань (рис. 6).

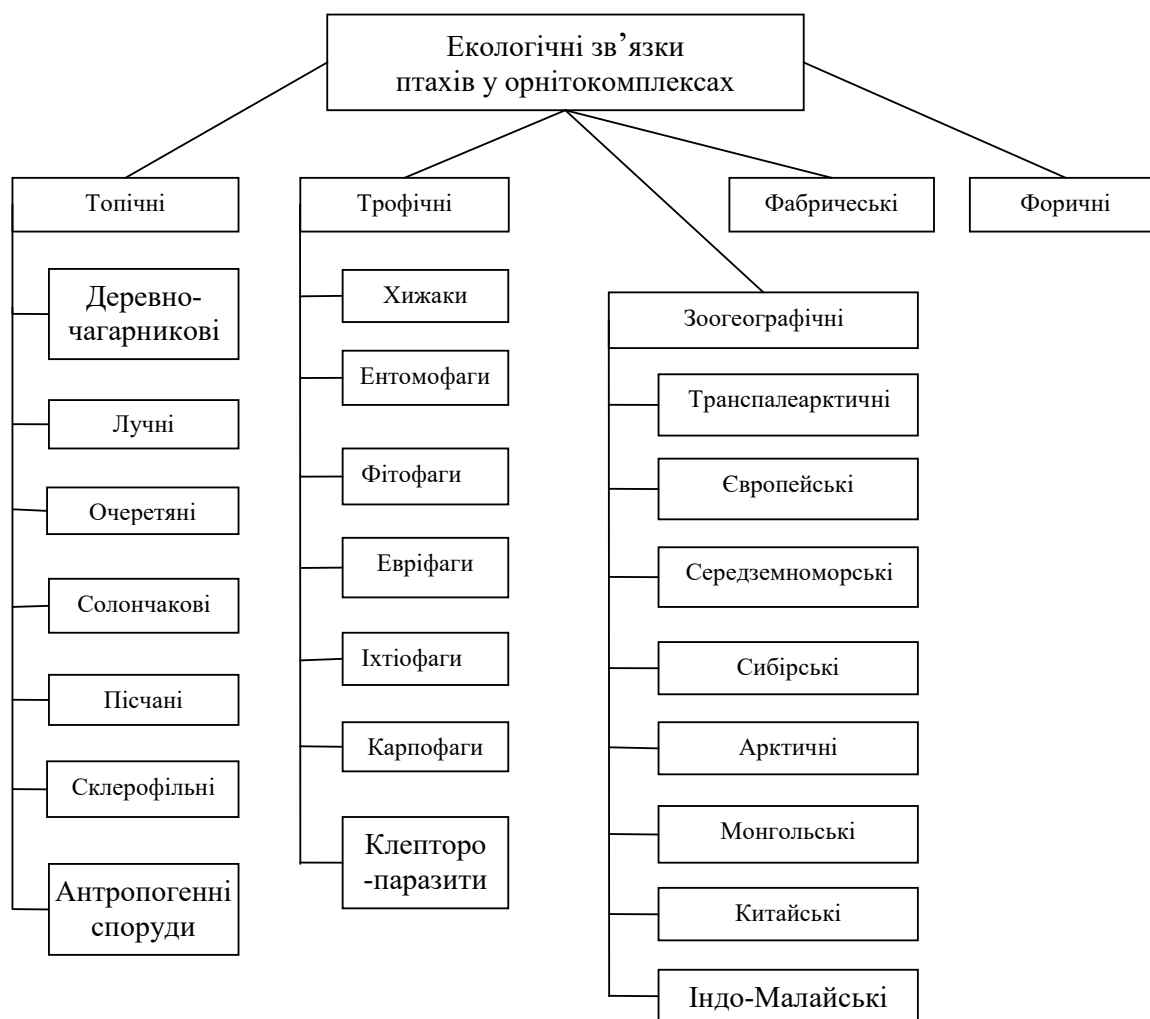


Рис. 6. Схема екологічних та зоогеографічних зв'язків у орнітокомплексах

Населення птахів великих регіонів розбивається на скупчення – орнітокомплекси як області (кластери) в багатовимірному факторному просторі, які виявляються кластерним аналізом (рис. 4). Для кожного кластера характерний набір умов і ресурсів, при яких можуть формуватися варіанти орнітокомплексів, а при відсутності або зміні яких реалізуються комплекси, що належать іншим кластерам.

Головні висновки. Таким чином, прогнозування стану, складу і структури орнітокомплексів передбачає необхідність дослідження залежності кожного виду від факторів середовища на обстежених ділянках із подальшою екстраполяцією її на необстеженій території. Сукупність прогнозованих значень для всіх окремих видів утворює прогнозний варіант всього орнітокомплексу. Територіальна мінливість населення птахів і структури орнітокомплексу визначаються неоднорідністю (в минулому або сьогодні) умов середовища, ресурсів і взаємовідносинам птахів між собою і може бути пояснена відмінностями окремих факторів або їх сполучень.

Орнітокомплекси можуть бути описані як статистичні ансамблі з зовнішнім обмеженням і системою

жорстких зв'язків або мати змішану характеристику організації. В межах місць проживання умови середовища і орнітокомплексу приймаються далі неподільними. Ступінь збігу (розбіжності) неоднорідності середовища і мінливості орнітокомплексів загалом або різних груп птахів окремо може бути виявлена і оцінена, в тому числі і з використанням методів статистики, зокрема кластерного і факторного аналізу, методу головних компонентів, шкалювання та лінійної якісної апроксимації як одного з аналогів регресійної моделі.

Використання якісних (бальних) оцінок середовища істотно скорочує витрати на збір інформації та дозволяє отримувати цілком задовільні прогнози чисельності птахів. Фактори внутрішньої організації орнітокомплексів (конкуренція і так далі) здебільшого відіграють другорядну роль порівняно з прямим впливом зовнішнього середовища на неоднорідність спільноти.

Кожен вид має свою екологічну нішу в багатовимірному факторному просторі, що обумовлює неоднорідність розподілу птахів і залежить від чинників середовища. Зміни численних видів або заміщення одних рідкісних видів іншими практично не змінюють ступінь схожості різних орнітокомплексів.

Перспективи використання результатів дослідження. На майбутнє необхідно сформувати схему оцінки орнітокомплексів за виявленими і ще не виявленими показниками, взаємодії між сусід-

німи орнітокомплексами та із навколишнім середовищем з метою їх використання в біомоніторингу та організації охорони як окремих видів, так і їх комплексу.

Література

1. Левич С.А. Структура экологических сообществ. М. : Изд-во МГУ, 1980. 181 с.
2. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М. : Прогресс, 1980. 327 с.
3. Шенброт Г.И. Экологические ниши, межвидовая конкуренция и структура сообществ наземных позвоночных. Итоги науки и техники. *ВИНИТИ. Серия: Зоол. позв.* М., 1986. Т. 14. 195 с.
4. Джиллер П. Структура сообществ и экологическая ниша. М. : Мир, 1988. 184 с.
5. Алимов А.Ф. Разнообразие, сложность, стабильность, выносливость экологических систем. *Журн. общ. биол.*, 1994. Вып. 55. № 3. С. 285–302.
6. Булахов В.Л., Емельянов И.Г., Пахомов А.Е. Биоразнообразие как функциональная основа экосистем. *Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія.*, 2003. Вип. 11. Т. 1. С. 3–8.
7. Булахов В.Л., Губкин А.А., Пономаренко А.Л., Пахомов О.Є. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Птахи: Негоробцеподібні (Aves: Non-Passeriformes). Д. : Вид-во ДНУ, 2008. 624 с.
8. Булахов В.Л., Губкин А.А., Пономаренко А.Л., Пахомов О.Є. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Птахи: Горобцеподібні (Aves: Passeriformes). Д. : Вид-во ДНУ, 2015. 522 с.
9. Булахов В.Л., Пономаренко О.Л. Роль фауністичних угруповань в утворенні консортивних і біогеоценотичних зв'язків у екосистемах. *Проблеми фундаментальної екології* : Мат. міжнарод. наук. конф. Кривий Ріг, 1996. С. 45.
10. Булахов В.Л., Пахомов О.Є. Функціональна зоологія. Д. : Вид-во ДНУ, 2011. 392 с.
11. Емельянов И.Г., Загороднюк И.В., Хоменко В.Н. Таксономическая структура и сложность биотических сообществ. *Екологія та Ноосферологія*. 1999. Т. 7. № 3–4. С. 6–16.
12. Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск : Наука, 2008. 205 с.
13. Белик В.П. Птицы искусственных лесов степного Предкавказья: Состав и формирование орнитофауны в засушливых условиях. Кривой Рог : Минерал, 2009. 216 с.
14. Скільський І.В. Структура й особливості формування орнітокомплексів масивів індивідуальної забудови середнього міста (на прикладі Чернівців). *Беркут*, 2010. Том 18, № 3–4. С. 150–165.
15. Бусел В.А. Изменение гнездового орнитокомплекса поймы нижнего Днепра под воздействием антропогенных факторов. *Бранта* : Сб. науч. трудов Азово-Черноморской орнитол. станции, 2016. Вып. 19. С. 53–72.
16. Дорофеев С.А. Закономерности пространственного распределения и формирования орнитокомплексов сосновых лесов Белорусского поозерья. *Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси*, Мат-ли XI зоологич. науч.-практ. конф. Минск, 2017. Т. 1. С. 119–128.
17. Захарова Г.А. Территориальная структура орнитокомплексов г. Витебска. *Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси*. Мат-лы XI зоологич. науч.-практ. конф. Минск, 2017. Т. 1. С. 157–164.
18. Кузьменко В.Я., Кузьменко В.В. Структура орнитокомплексов придорожных лесонасаждений Северной Беларуси. *Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси*. Мат-лы XI зоолог. науч.-практ. конф. Минск, 2017. Т. 1. С. 228–235.
19. Черничко И.И., Кошелев А.И., Попенко В.М., Роженов Н.В., Кинда В.В., Кошелев В.А. Орнитофауна дельты Днестра в начале XXI столетия. Состояние орнитофауны и гнездовых орнитокомплексов. *Изв. Музейного фонда им. А.А. Браунера*, 2019. Т. 16. № 1. С. 1–36.
20. Губкин А.А. Экологическая роль солончаковых местообитаний в формировании внутриконтинентальных лиманных орнитокомплексов : автореф. дис. канд биол. наук. Днепропетровск : ДНУ, 1994. С. 1–16.
21. Мацюра О.В. Структура та аналіз острівних орнітокомплексів півдня лівобережної України : автореф. дис. канд. біол. наук. Дніпропетровськ, 2000. 19 с.
22. Башта А.-Т.В. Антропогенна трансформація орнітокомплексів Сколівських Бескидів : автореф. дис. канд. біол. наук. Чернівці, 2000. 20 с.
23. Гузий А.И. Орнитологические комплексы лесных экосистем Украинских Карпат, их экология, практическое значение и охрана : автореф. дис. канд. с/х наук. Воронеж, 1992. 27 с.
24. Штирц Ю.А. Трофическая структура орнитокомплексов города Донецка. *Биоразнообразие и роль зооценоза в естественных и антропогенных экосистемах*. Мат-лы III Международ. науч. конф. Д. : Изд-во ДНУ, 2005. С. 451–454.
25. Матрухан Т.І. Формування орнітокомплексів у долинних місцях мешкання в Північному Приазов'ї, їх охорона та раціональне використання : автореф. дис. канд. біол. наук. Дніпропетровськ, 2015. 20 с.
26. Федун О.М. Орнітокомплекс територій технологічних об'єктів очищення стоків північного сходу України : автореф. дис. канд. біол. наук. Київ, 2017. 23 с.
27. Гудина А.Н. Методы учета гнездящихся птиц: картирование территорий. Запорожье : Дикое поле, 1999. 241 с.
28. Черничко И.И., Сиохин В.Д., Дядичева Е.А., Кирикова Т.А., Кошелев А.И. Молочный лиман. Численность и размещение гнездящихся околородных птиц Азово-Черноморского региона. Мелитополь : Бранта, 2000. 400 с.
29. Ташлиев А.О. Орнитологические комплексы Юго-Восточной Туркмении. Ашхабад : Ылым, 1973. 270 с.
30. Клестов Н.Л., Гавриш Г.Г., Андриенко Е.Л. Орнитокомплексы Сульского залива Кременчугского водохранилища и их охрана. *Вестник зоологии*, 1994. № 6. С. 65–72.

31. Ирисов Э.А. Орнитокомплексы в зоне строительства Кулундинского канала и возможная их трансформация в перспективе. Комплексное мелиоративное освоение земель в зоне Кулундинского канала : тезисы докладов конф. Барнаул, 1982. Ч. 2. С. 103–106.
32. Кошелев В.А. Структурные компоненты орнитокомплексов солончаковых подов юга Украины – гарант сохранения их стабильности и видового разнообразия. *Биоразнообразие и роль животных в экосистемах*. Мат-лы IV Международ. науч. конф. Д., 2007. С. 430–432.
33. Кошелев В.А. Орнитокомплексы карьеров и обрывов юга Украины и их вклад в биоразнообразие региона. *Биоразнообразие и роль животных в экосистемах*. Мат-лы V Международ. науч. конф. Д., 2009. С. 300–302.
34. Кошелев В.А. Место и взаимосвязи гнездовых орнитокомплексов в структуре орнитофауны юга Украины. *Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах*, Мат-ли VII Міжнарод. наук. конф. Д. : Адверта, 2013. С. 229–231.
35. Кошелев В.А. Орнитокомплексы тростниковых зарослей: структура, динамика, проблемы охраны. *Біологія та валеологія*. 2017. Вип. 19. С. 17–27.
36. Кошелев А.И., Пересадько Л.В., Кошелев В.А., Писанец А.М. Экологические факторы, способствующие формированию и обогащению орнитокомплексов искусственных лесонасаждений Северного Приазовья. *Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах*, Мат-ли VI Міжнарод. наук. конф. Д. : Вид-во ДНУ, 2011. С. 281–283.
37. Amrhein V. Wild bird feeding (probably) affects avian urban ecology. *Avian Urban Ecology*. 2013. P. 29–38.
38. Vogrin M., Miklič A. Structure of the breeding bird assemblages in the fields with wheat (Northeastern Slovenia). *Berkut*, 2004. Vol. 13 (2). P. 189–192.
39. Magurran A.E. *Measurement of Biological Diversity*. Blackwell Publishing, 2004. 248 p.
40. Blinkova O., Shupova T. Bird communities and vegetation composition in natural and semi-natural forests of megalopolis: correlations and comparisons of diversity indices (Kyiv city, Ukraine). *Ekológia*. Bratislava, 2018. Vol. 37 (3). P. 259–288.
41. Черничко И.И., Дядичева Е.А., Кошелев А.И., Черничко Р.Н., Сيوخин 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. Мелитополь, 2015. С. 9–16.
42. Ayubova E.M., Koshelev V.A. The effect of pyrogenic succession on breeding birds of shelter belts in the North-Western part of the Azov sea region. *Vestnik Zoology*, 2019. 53 (2). P. 149–154.
43. Browder S.F., Johnson D.H., Ball I.J. Assemblages of breeding birds as indicators of grassland condition. *Ecological Indicators*, 2002. Vol. 2(3). P. 257–270.
44. MacArthur R.H. The theory of the niche. In: R.C. Lewontin (Ed.), *Population biology and evolution*, Syracuse Univ. Press, Syracuse, New-York, 1968. 205 p.
45. Patten B.C., Auble G.T. System theory of the ecological niche. *Am. Nat.*, 1981. Vol. 117. P. 893–922.
46. Seymour C., Simmons R., Joseph G., Slingsby J. On bird functional diversity: species richness and functional differentiation show contrasting responses to rainfall and vegetation structure in an Arid Landscape. *Ecosystems*, 2015. Vol. 18(6). P. 971–984.
47. Whittaker R.H., Levin S.A., Root R.B. Niche, habitat and ecotope. *Amer. Natur.*, 1973. Vol. 107, P. 321–338.

ЕКОЛОГІЧНІ ЗВ'ЯЗКИ ПАТОГЕННИХ МІКРООРГАНІЗМІВ ІЗ ВОДОРОСТЯМИ

Ткачук Н.П.

Інститут агроекології і природокористування
Національної академії аграрних наук
вул. Метрологічна, 12, 03143, м. Київ,
Донецький національний медичний університет
вул. Привокзальна, 27, 84401, м. Лиман, Донецька область
tkachuknatalja777@gmail.com

Як складник прісноводних екосистем, спірохети *Leptospira interrogans* (Stimson 1907) Wenyon 1926 формують складні екологічні зв'язки з різноманітними видами живих організмів, зокрема численними видами водоростей. Результатом цих взаємодій є щільність популяцій *L. interrogans*, а також низка інших їхніх властивостей може зазнавати суттєвих змін. З огляду на те, що збудник здатен проникати до організму людини через ґрунт та воду, екологічні чинники, які впливають на існування бактерій *L. interrogans* в об'єктах навколишнього середовища, набувають першочергового епідемічного та епізоотичного значення. Досліджено взаємодію патогенних мікроорганізмів *L. interrogans* із колекції Інституту ветеринарної медицини НААН та зелених водоростей виду *Selenastrum gracile* Reinsch 1866 з колекції Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. Виділення водоростей *S. gracile* розводили дистильованою водою та фільтрували через стерилізуючі целюлозні фільтри. Після цього до фільтрату додавали стерильну дистильовану воду та зразки культур *L. interrogans*. Контрольні зразки містили аналогічне співвідношення середовища Фітцджеральда у модифікації Цендера та Горема, дистильованої води та *L. interrogans*. З'ясовано, що *in vitro* водорості *S. gracile* виявляють алелопатичну активність щодо популяцій *L. interrogans*. В умовах контрольованого експерименту щільність популяцій *L. interrogans* знижується під впливом біологічно-активних речовин, що продукуються водоростями виду *S. gracile*, порівняно з контролем, що свідчить про їхню бактеріостатичну дію. За зростанням чутливості до алелопатичного впливу *S. gracile* серологічні типи лептоспір утворили такий ряд: *Sejroe*, *Canicola*, *Pomona*, *Tarassovi*, *Hebdomadis Icterohaemorrhagiae*, *Grippotyphosa*, *Australis*. **Ключові слова:** *Leptospira interrogans*, зелені водорості, алелопатичний вплив, *Selenastrum gracile*.

Ecological relations between pathogenic microorganisms and algae. Tkachuk N.

Being a part of freshwater ecosystems, spirochaets *Leptospira interrogans* (Stimson 1907) Wenyon 1926 build complex ecological relationships with different species of alive organisms, as well as with numerous species of algae. As a result of these interactions population density of *L. interrogans*, as well as some abilities of these spirochaets can undergo changes. Taking into account the fact that the agent penetrates into a human body from ground and water, ecological factors that influence bacteria *L. interrogans* existence in the environmental domains become of prior epidemic and epizootic importance. Interaction of the *L. interrogans* from the collection of the Institute of Veterinary Medicine of Ukrainian National Academy of Science and green algae (*Chlorophyta*) of type *Selenastrum gracile* Reinsch 1866 from the collection of the M.G. Kholodny Insitute of Botany Ukrainian National Academy of Science has been investigated. In order to conduct a study of allelopathic influence the seaweed of type *S. gracile* was diluted with distilled water and was filtered through sterilizing cellulose filters with pores. Sterile distilled water then was added to the filtrate and of type *L. interrogans*. Control samples contained analogical correlation of Fitzgerald environment, distilled water and type *L. interrogans* species. It has been found out, that *in vitro* algae *S. gracile* showed allelopathic activity in direction of the populations of *L. interrogans*. Under conditions of controlled experiment the density of *L. interrogans* species declines influenced by biologically active substances produced by the algae of type *S. gracile*, as compared with the control, so this fact can witness to their bacteriostatic action. According to the increasing sensitivity to the allelopathic effect of *C. proteus*, serological types of leptospirens formed a row: *Sejroe*, *Canicola*, *Pomona*, *Tarassovi*, *Hebdomadis Icterohaemorrhagiae*, *Grippotyphosa*, *Australis*. **Key words:** *Leptospira interrogans*, green algae, allelopathic influence, *Selenastrum gracile*.

Постановка проблеми. Є ціла низка збудників небезпечних захворювань людини і тварин, що здатні проникати в тіло нового живителя через воду. Зокрема, одними з них є спірохети виду *Leptospira interrogans* (Stimson 1907) Wenyon 1926, що спричиняють інфекційне захворювання, відоме під назвою «лептоспіроз». На вигляд лептоспіри – ніжні, тонкі, спіральні-звиті одноклітинні мікроорганізми, їх довжина становить 6–20 мкм, а діаметр – близько 0,1 мкм. Характерною ознакою лептоспір є їхня активна рухливість, що допомагає цим патогенним мікроорганізмам проникати до організму хазяїна через незначні пошкодження покриттів і непошкод-

жені слизові оболонки, а також долати бактеріальні фільтри. Цим спірохетам притаманна досить складна внутрішньовидова структура. Вид *L. interrogans* представлений 202 серологічними варіантами, які за ступенем антигенної спорідненості об'єднані у 23 серологічні групи [1]. Лептоспіри – грамнегативні мікроорганізми, у них відсутні спори й капсули. За морфологією як патогенні, так і сапрофітні представники, що були виділені від людини або різних видів тварин, незважаючи на їхню належність до різних серологічних груп, не різняться між собою [2].

Актуальність дослідження. Випадки захворювань на лептоспіроз реєструються у всіх населених

людиною частинах світу [2–11], окрім Антарктиди. Патогенні лептоспіри здатні паразитувати в організмах багатьох видів домашніх і диких тварин різних систематичних та екологічних груп. Зокрема, за даними літератури, *L. interrogans* виділяли від ссавців, птахів, рептилій, амфібій, риби і безхребетних. У багатьох цих тварин патогенні лептоспіри зберігаються в організмі пожиттєво і періодично виділяються назовні переважно із сечею, при цьому клінічно ці тварини виглядають цілком здоровими. Особливо небезпечним є подібне носійство домашніми та сільськогосподарськими тваринами – свинями, великою рогатою худобою, кіньми, козами, вівцями, собаками, котами та іншими [3; 4].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Лептоспіроз завдає відчутних економічних збитків тваринницьким господарствам по всьому світу, що пов'язано із затратами на профілактику захворювання та лікування хворих тварин, а також через аборти, загибель молодняка, неплідність і зниження продуктивності тварин. Крім того, на лептоспіроз хворіють люди, і в деяких випадках це захворювання закінчується летально [12].

Лептоспіроз належить до групи природно-осередкових захворювань, тобто *L. interrogans* здатні впродовж тривалого часу циркулювати на певній території між різноманітними представниками дикої фауни та об'єктами зовнішнього середовища (вода, ґрунт) без участі людини. Так формуються осередки, у яких підтримується існування цих патогенних мікроорганізмів і відбувається їх поширення на прилеглі території. Досить часто подібні осередки зосереджені навколо водойм чи перезвожених ділянок місцевості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Одним з основних шляхів поширення патогенних лептоспір є прісна вода відкритих водойм. Чисельними дослідженнями встановлено, що спірохети *L. interrogans* здатні тривалий час виживати у воді прісних водойм. Зокрема, встановлено, що лептоспіри виживали у воді до 150 діб [1]. Проте, за даними багатьох дослідників, тривалість існування та можливість розмноження патогенних лептоспір у прісних водоймах не тільки визначаються хімічним складом води, але й значно більшою мірою залежать від специфічних екологічних зв'язків, що складаються між *L. interrogans* та численними видами гідробіонтів. Доведено, що різноманітні види прісноводних фільтраторів-бактеріотрофів (інфузорії, коловертки, ракоподібні, моховатки, молюски, личинки комах) активно вилучають лептоспір із водного середовища. Окрім того, виявлено екологічні зв'язки лептоспір із численними видами вищих рослин, що зростають у водоймах, прибережних ділянках і перезвожених землях [13–15]. Доведено, що рослини здатні впливати на популяції патогенних лептоспір через виділення в середовище різноманітних біологічно активних речовин, внаслідок чого

щільність спірохет може суттєво змінюватись порівняно з контролем. Результати експериментів дають змогу припустити, що і в природних умовах популяції спірохети здатні зазнавати значних коливань чисельності, спричинених алелопатичним впливом із боку численних видів рослин. Враховуючи потенційну небезпеку *L. interrogans* як збудника захворювань людини і тварин, відомості про чинники, які можуть призвести до суттєвих змін чисельності чи тривалості виживання цього виду спірохет у водному середовищі, мають велике практичне значення.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз даних наукової літератури показав, що нині є суттєва прогалина у відомостях щодо екологічних взаємодій патогенних лептоспір із важливою групою водних рослин – зеленими водоростями (*Chlorophyta*). Відомо, що зелені водорості часто виступають у ролі доміантної групи рослин у складі прісноводного планктону, а також виділяють цілу низку різноманітних біологічно-активних речовин. Однак, попри це, робіт із вивчення взаємодій різноманітних видів зелених водоростей із патогенними лептоспірами вкрай мало. Враховуючи значне видове різноманіття зелених водоростей, доцільним є подальше вивчення їхніх взаємодій із патогенними спірохетами виду *L. interrogans*.

Основною метою досліджень є одержання практично цінних, науково доведених даних, які можна було б використати під час здійснення заходів із зниження потенціалів природних осередків лептоспірозів і запобігання зараження людей, домашніх і диких тварин.

Новизна. Вперше одержано дані щодо екологічних взаємодій патогенних лептоспір із поширеним видом мікроскопічних зелених водоростей водойм України – *Selenastrum gracile* Reinsch 1866.

Матеріал і методи дослідження. В експерименті вивчали алелопатичний вплив виділень водоростей *S. gracile* на щільність культур патогенних лептоспір найбільш поширених в Україні серологічних варіантів.

У дослідженнях використовували альгологічно чисті культури зелених водоростей із колекції Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного Національної академії наук України (м. Київ). Монокультури зелених водоростей *S. gracile* культивували впродовж 7–10 діб у колбах Ерленмейера об'ємом 250 см³ на середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера та Горема [16] за температури 22–25 °С та 12 годинному фотоперіоді за штучного освітлення лампами денного світла з інтенсивністю 25 клк.

Експерименти проводили на базі лабораторії лептоспірозів із колекцією штамів мікроорганізмів Інституту ветеринарної медицини Національної академії аграрних наук України (м. Київ). Лептоспір вирощували за температури 27–28 °С на живиль-

ному середовищі Терських і Кортгофа із вмістом 10% інактивованої сироватки крові овець.

В експерименті використовували культури спірохет 7–14-добового віку з накопиченням 50–100 лептоспир у полі зору мікроскопа, з характерною морфологією, активною рухливістю та без ознак аутоаглютинації. Враховуючи, що вид *L. interrogans* має велику кількість серологічних варіантів, в експериментах використали набір штамів цих мікроорганізмів, що застосовується у лабораторіях України як антиген для серологічної діагностики лептоспірозу людей і тварин (табл. 1).

Експерименти проводили *in vitro*, що моделювали умови водних екосистем. Вивчення впливу зелених водоростей на патогенних лептоспир проведено методом біотестування. Присутність фонові та симбіотичної мікрофлори у зразках є небажаною, оскільки вносить суттєві зміни у результати досліджень. У зв'язку з цим одержані водні розчини виділень водоростей необхідно було стерилізувати способом, який би унеможливив руйнування біологічно активних речовин. Найбільшою мірою нашим потребам відповідає метод стерилізації водних розчинів за допомогою фільтрації через целюлозні фільтри з діаметром пор 0,2 мкм (Sartorius, Німеччина).

Дослідні зразки містили фільтрати з виділеннями *S. gracile* у розведеннях 1:10, 1:100, 1:1000 та 1:10000. Для отримання розведень фільтратів виділень та як контроль використовували стерильне поживне середовище Фітцджеральда в модифікації Цендера та Горема.

Інокуляти для контрольних і дослідних зразків відбирали з однієї культури лептоспир певного серологічного варіанту. Отже, початкова щільність лептоспир у пробах для кожного серологічного варіанта була однаковою. Дослід проводили в п'ятикратній повторюваності. Облік вмісту спірохет у зразках проводили через 24 години від початку експерименту. Щільність клітин лептоспир визначали методом прямого підрахунку [17] у спеціально виготовлених камерах [18], для мікроскопування зразків використовували мікроскоп МБР-1 з конденсором темного поля ОИ-13.

Оцінка впливу виділень зелених водоростей на *L. interrogans* проводилась шляхом порівняння вмісту лептоспир у досліді та контролі, при цьому за 100% приймався вміст клітин у контрольних зразках.

Виклад основного матеріалу. Дані, одержані в перебігу експериментів із вивчення впливу виділень водоростей *S. gracile* у розведенні 1:10 на культури піддослідних серологічних варіантів патогенних лептоспир, наводяться у таблицях 2 та 3.

Таблиця 1

Штами спірохет *L. interrogans*, що були використані в дослідженнях

№ з/п	Серологічна група	Серологічний варіант	Штам	Умовні скорочення
1	<i>Sejroe</i>	<i>pollonica</i>	<i>493 Poland</i>	<i>Sejroe</i>
2	<i>Hebdomadis</i>	<i>kabura</i>	<i>Kabura</i>	<i>Hebdomadis</i>
3	<i>Tarassovi</i>	<i>tarassovi</i>	<i>Perepelicyн</i>	<i>Tarassovi</i>
4	<i>Pomona</i>	<i>pomona</i>	<i>Pomona</i>	<i>Pomona</i>
5	<i>Grippotyphosa</i>	<i>grippotyphosa</i>	<i>Moskva V</i>	<i>Grippotyphosa</i>
6	<i>Canicola</i>	<i>canicola</i>	<i>Hond Utrecht IV</i>	<i>Canicola</i>
7	<i>Icterohaemorrhagiae</i>	<i>copenhageni</i>	<i>M 20</i>	<i>Icterohaemorrhagiae</i>
8	<i>Australis</i>	<i>bratislava</i>	<i>Yez bratislava</i>	<i>Australis</i>

Таблиця 2

Щільність клітин *L. interrogans* у дослідних і контрольних зразках за дії культуральних фільтратів *S. gracile* у розведенні 1:10

№ досліді	Щільність клітин лептоспир різних серологічних варіантів, $\times 10^6/\text{cm}^3$							
	<i>sejroe</i>		<i>hebdomadis</i>		<i>tarassovi</i>		<i>pomona</i>	
	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль
1	16,20	23,70	6,30	11,10	4,50	7,20	18,80	30,00
2	14,50	21,20	6,60	9,90	4,90	8,00	17,60	25,60
3	13,80	22,40	6,70	11,30	5,00	8,10	18,20	27,10
4	15,30	19,10	6,40	10,80	5,10	7,50	15,40	23,70
5	16,70	20,80	6,20	9,70	4,70	7,70	16,10	27,50
M*	15,30	21,44	6,44	10,56	4,84	7,70	17,22	26,78
t	6,54		12,30		14,56		7,80	
$t_{\text{кр}} = 5,04; P = 0,001$								

Примітки: тут і далі М – середнє арифметичне; t – коефіцієнт Стьюдента; $t_{\text{кр}}$ – критичне значення коефіцієнта Стьюдента; P – рівень ймовірності

Аналіз одержаних результатів показав, що впродовж 24 годин щільність лептоспір у дослідних зразках порівняно з контрольними знизилась, що вказує на бактеріостатичну дію культуральних фільтратів зелених водоростей *S. gracile* на піддослідні культури спірохет.

Звертає увагу на себе той факт, що показники пригнічення використаних у дослідженнях серологічних варіантів *L. interrogans* дещо відрізнялись. Зокрема, якщо розмістити серологічні варіанти леп-

тоспір за збільшенням показника пригнічення, отримаємо такий ряд: *Sejroe* (28,7%), *Canicola* (25,2%), *Pomona* (35,7%), *Tarassovi* (37,1%), *Hebdomadis* (39,0%), *Icterohaemorrhagiae* (43,3%), *Grippotyphosa* (44,6%), *Australis* (51,9%).

У наступній групі дослідних зразків, що містили культуральне середовище водоростей *S. gracile* у розведенні 1:100, показники пригнічення спірохет були дещо нижчими (табл. 4, 5).

Таблиця 3

Щільність клітин *L. interrogans* у дослідних і контрольних зразках за дії культуральних фільтратів *S. gracile* у розведенні 1:10

№ досліджу	Щільність клітин лептоспір різних серологічних варіантів, $\times 10^6/\text{cm}^3$							
	<i>grippotyphosa</i>		<i>canicola</i>		<i>icterohaemorrhagiae</i>		<i>australis</i>	
	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль
1	10,80	19,30	8,70	11,10	7,50	13,50	6,00	12,50
2	11,40	21,10	8,50	11,50	7,60	13,90	6,30	12,90
3	11,10	18,80	8,20	10,70	7,20	12,40	6,70	14,20
4	9,90	17,30	8,60	12,00	6,90	11,70	6,40	13,80
5	10,50	20,40	9,10	12,30	7,30	12,90	6,60	13,10
M	10,74	19,38	8,62	11,52	7,30	12,88	6,40	13,30
t	12,22		8,92		13,64		20,80	
$t_{\text{кр}} = 5,04; P = 0,001$								

Таблиця 4

Щільність клітин *L. interrogans* у дослідних і контрольних зразках за дії культуральних фільтратів *S. gracile* у розведенні 1:100

№ досліджу	Щільність клітин лептоспір різних серологічних варіантів, $\times 10^6/\text{cm}^3$							
	<i>sejroe</i>		<i>hebdomadis</i>		<i>tarassovi</i>		<i>potomona</i>	
	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль
1	15,90	23,70	7,60	11,10	6,30	7,20	21,70	30,00
2	18,30	21,20	8,10	9,90	5,70	8,00	20,90	25,60
3	17,10	22,40	7,50	11,30	6,10	8,10	21,50	27,10
4	18,60	19,10	7,70	10,80	5,80	7,50	18,20	23,70
5	19,60	20,80	7,30	9,70	6,00	7,70	19,40	27,50
M	17,90	21,44	7,64	10,56	5,98	7,70	20,34	26,78
t	3,53		8,39		8,78		5,19	
$t_{\text{кр}} = 3,36; P = 0,01$								

Таблиця 5

Щільність клітин *L. interrogans* у дослідних і контрольних зразках за дії культуральних фільтратів *S. gracile* у розведенні 1:100

№ досліджу	Щільність клітин лептоспір різних серологічних варіантів, $\times 10^6/\text{cm}^3$							
	<i>grippotyphosa</i>		<i>canicola</i>		<i>Icterohaemorrhagiae</i>		<i>australis</i>	
	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль
1	14,10	19,30	9,30	11,10	10,80	13,50	8,40	12,50
2	14,70	21,10	9,90	11,50	11,30	13,90	8,70	12,90
3	12,50	18,80	8,80	10,70	10,80	12,40	9,30	14,20
4	11,80	17,30	9,30	12,00	9,40	11,70	8,50	13,80
5	13,90	20,40	10,20	12,30	9,70	12,90	9,10	13,10
M	13,40	19,38	9,50	11,52	10,40	12,88	8,80	13,30
t	7,03		5,30		4,66		12,73	
$t_{\text{кр}} = 3,36; P = 0,01$								

Зокрема, серологічні групи лептоспир за збільшенням показника пригнічення розташувались у такому порядку: *Sejroe* (16,5%), *Canicola* (17,4%), *Icterohaemorrhagiae* (19,3%), *Tarassovi* (22,3%), *Pomona* (24,0%), *Hebdomadis* (27,7%), *Grippotyphosa* (30,9%), *Australis* (33,8%).

У зразках, що містили розведення культурального середовища водоростей *S. gracile* у розведенні 1:1000, спостерігаються такі показники пригнічення культур лептоспир – *Icterohaemorrhagiae* (8,7%), *Sejroe* (10,4%), *Canicola* (9,0%), *Tarassovi* (15,1%), *Pomona* (18,7%), *Hebdomadis* (20,3%), *Grippotyphosa* (23,9%), *Australis* (25,7%).

Під час порівняння вмісту спірохет у дослідних і контрольних зразках, що містили розведення культурального середовища водоростей 1:10000, статистично достовірної різниці виявлено не було.

Отже, проведені лабораторні дослідження показали, що патогенні лептоспирі реагують на алелопатичний вплив із боку зелених водоростей, зокрема *S. gracile*, змінюючи щільність своїх популяцій.

Одержані результати дають підстави припустити, що у прісних водоймах, за домінування у складі альгогруповань *S. gracile*, для існування патогенних лептоспир складаються несприятливі умови.

Цілком можливо, що в основі відомого ефекту «природних осередків» деяких інфекцій лежить нерівномірність умов сприятливого існування для патогенних мікроорганізмів, яка зумовлена специфічністю рослинних угруповань та їхнім алелопатичним впливом.

Враховуючи велике епідеміологічне та епізоотичне значення, яке мають патогенні мікроорганізми, необхідно продовжувати дослідження для з'ясування закономірностей їх взаємодій та існування в об'єктах зовнішнього середовища.

Головні висновки. Встановлено, що виділення зелених водоростей *S. gracile* у розведеннях від 1:10 і до 1:1000 здійснюють негативний вплив на культури *L. interrogans*, що проявлялось у помітно нижчому вмісті клітин спірохет у дослідних зразках порівняно з контрольними. Реакція серологічних варіантів спірохет *L. interrogans*, що були використані в дослідженнях, на вплив біологічно активних речовин, виділених зеленими водоростями *S. gracile*, дещо відрізнялась. За зменшенням стійкості до впливу виділень водоростей штами лептоспир розміщувались у такому порядку: *Sejroe*, *Canicola*, *Pomona*, *Tarassovi*, *Hebdomadis* *Icterohaemorrhagiae*, *Grippotyphosa*, *Australis*, що свідчить про складну внутрішньовидову структуру *L. interrogans* та їхню високу екологічну пластичність.

Перспективи використання результатів досліджень. Виявлена здатність зелених водоростей стримувати розмноження патогенних лептоспир може мати практичне втілення під час розроблення методів санації об'єктів зовнішнього середовища від хвороботворних агентів. Утім, для з'ясування низки важливих питань необхідно провести ще низку досліджень і спостережень щодо взаємодій патогенних лептоспир з іншими видами зелених водоростей.

Література

1. Малахов Ю.А., Панин А.Н., Соболева Г.Л. Лептоспироз животных. Москва, 2000. 584 с.
2. Bharti A.R. Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. *The Lancet Infectious Diseases*. 2003. № 3. P. 757–771.
3. Levett P.N. Leptospirosis. *Clinical Microbiology Reviews*. 2001. № 14. P. 296–326.
4. Vinetz J.M. Leptospirosis. *Current Opinion in Infectious Diseases*. 2001. № 14. P. 527–538.
5. Vieira A.S., D'Andrea P.S., Vilela R.V., Loretto D., Jaeger L.H., Carvalho-Costa F.A., Lilenbaum W. Pathogenic *Leptospira* species are widely disseminated among small mammals in Atlantic Forest biome. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2019. № 66(3). P. 1195–1201. DOI: 10.1111/tbed.13135.
6. Hamond C., Silveira C., Buroni F., Suanes A., Nieves C., Salaberry X., Araújo V., Costa R.A., Rivero R., Giannitti F., Zaranonelli L. *Leptospira interrogans* serogroup Pomona serovar Kennewicki infection in two sheep flocks with acute leptospirosis in Uruguay. *Transbound Emerg Dis*. 2019. № 66(3). P. 1186–1194. DOI: 10.1111/tbed.13133.
7. Neela V.K., Azhari N.N., Joseph N., Mimie N.P., Ramli S.N., Mustapha N.F., Ishak S.N., Mohd-Taib F.S., Yusof M.A., Desa M.N., Bashiru G., Sekawi Z. An outbreak of leptospirosis among reserve military recruits, Malaysia. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2019. № 38(3). P. 523–528. DOI: 10.1007/s10096-018-03450-6.
8. Rahelinirina S., Bourhy P., Andriamiaramana F., Garin B., Rajerison M. High Prevalence of *Leptospira* spp. in Rodents in an Urban Setting in Madagascar. *Am J Trop Med Hyg*. 2019. № 100(5). P. 1079–1081. DOI: 10.4269/ajtmh.18-0642.
9. Fischer S., Mayer-Scholl A., Imholt C., Spierling N.G., Heuser E., Schmidt S., Reil D., Rosenfeld U.M., Jacob J., Nöckler K., Ulrich R.G. *Leptospira* Genomespecies and Sequence Type Prevalence in Small Mammal Populations in Germany. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2018. № 18(4). P. 188–199. DOI: 10.1089/vbz.2017.2140.
10. Dietrich M., Gomard Y., Lagadec E., Ramasindrazana B., Le Minter G., Guernier V., Benlali A., Rocamora G., Markotter W., Goodman S.M., Dellagi K., Tortosa P. Biogeography of *Leptospira* in wild animal communities inhabiting the insular ecosystem of the western Indian Ocean islands and neighboring Africa. *Emerg Microbes Infect*. 2018. № 7(1). P. 57. DOI: 10.1038/s41426-018-0059-4.
11. McVea D.A., Himsforth C.G., Patrick D.M., Lindsay L.R., Kosoy M., Kerr T. Exposure to Rats and Rat-Associated *Leptospira* and *Bartonella* Species Among People Who Use Drugs in an Impoverished, Inner-City Neighborhood of Vancouver, Canada. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2018. № 18(2). P. 82–88. DOI: 10.1089/vbz.2017.2179.
12. Haake D.A., Levett P.N. Leptospirosis in humans. *Current topics in microbiology and immunology*. 2015. № 387. P. 65–97.

13. Гулай О.В. Біохімічні зв'язки *Leptospira interrogans* з фоновими видами альгофлори акваценозів Центральної України. *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія : Біологія.* 2003. № 1(20). С. 77–80.
14. Гулай О.В., Гулай В.В. Аркушина Г.Ф. Особливості екологічних взаємодій між представниками родини хвощі та патогенними лептоспірами в умовах перезволожених земель. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія : Біологія.* 2010. № 4(45). С. 127–131.
15. Zhukorskyi O.M., Tkachuk N.P., Hulai O.V., Hulai V.V. Experimental ecological research on the relationships of pathogenic microorganisms with algae. *Agricultural Science and Practice.* 2019. Vol. 6. № 3. P. 56–62.
16. Сиренко Л.А., Сакевич А.И., Осипов Л.Ф. Методы физиолого-биохимического исследований в гидробиологической практике. Київ, 1975. 247 с.
17. Самострельский А.Ю. Метод прямого счета лептоспир в определенном объеме. *Лабораторное дело.* 1966. № 2. С. 105–108.
18. Спосіб виготовлення камер для підрахунку лептоспір. пат. 50075. Україна: МПК А61В19/00. № u 200911987; заявл. 23.11.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10. 4 с.

ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГО-ЗБАЛАНСОВАНОГО РОЗВИТКУ

UDC 502:656.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.57>

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF “CAR-FREE CITY” PROJECTS – CASE STUDY OF OPOLE, POLAND

Radomska M.¹, Kolotylo O.²

¹National Aviation University
L. Huzar Ave., 1, 03058, Kyiv
m.m.radomskaya@gmail.com;

²University of Opole
pl. Kopernika 11A, 45-040, Opole, Poland
NIP: 754-000-71-79
alexandra.kolotylo@gmail.com

The role of cars and transportation in modern urban systems was considered in the paper. The benefits and drawbacks of urban transport were analyzed in terms of the possibility of efficient management and limitation of the traffic in favor of environment and social-economic situation improvement. Private transport is currently considered the necessary element of living standards and provides better access to services and other conveniences of cities. Being so efficient in personal needs provision it is still the major degrading factor for environment quality, as well as the source of health risks due to accidents and hypokinesia. The methods of environmental and economic efficiency assessment suitable for the analysis of the projects of the given type were offered as a combination of SWOT-analysis and monetary expression of benefits, obtained from implementation of their projects. The list of factors to be considered in efficiency assessment was developed and substantiated. The major environmental, social and economic issues of private transport use in urban settlements were characterized and the most suitable of them were chosen for further analysis. The intensity of traffic was shown to be the starting point for calculations of environmental benefits of the project. The proposed model of assessment was applied to the city of Opole, Poland. The geographical, economic and environmental characteristics of the city were given with specific interest to the transport infrastructure status. Having excessive traffic pressure, Opole was shown to be in need for limitation of transport flow within the central part. For this purpose it was offered to introduce ban on private cars at 6 streets of city center with allocation of additional parking areas at other territories and use of released land in the center for green spaces and recreation facilities. The economic values of the possible environmental benefits as well as indirect incomes from the project were calculated, and the possible expenses on project implementation were described. *Key words:* environmental and economic efficiency, environment pollution, private cars, traffic intensity, transport flow management.

Аналіз еколого-економічної ефективності проєктів типу «місто-без-автомобілів» на прикладі м. Ополь, Польща. Радомська М.М., Колотило А.О.

У статті розглянуто роль автомобілів і громадського транспорту в сучасних міських системах. Переваги та недоліки міського транспорту було проаналізовано з погляду можливості ефективного управління та обмеження руху на користь покращення екологічної та соціально-економічної ситуації. Приватний транспорт нині вважається необхідним елементом рівня життя і забезпечує кращий доступ до послуг та інших зручностей міст. Будучи настільки ефективним у забезпеченні особистих потреб, він є головним фактором зниження якості довкілля, а також джерелом ризиків для здоров'я внаслідок нещасних випадків та гіпокінезії. Методи оцінки еколого-економічної ефективності, придатні для аналізу проєктів цього типу, були запропоновані як поєднання SWOT-аналізу та грошового вираження вигод, отриманих від їх реалізації. Перелік факторів, які слід враховувати під час оцінки ефективності, був розроблений та обґрунтований. Охарактеризовано основні екологічні, соціальні та економічні проблеми використання приватного транспорту у міських поселеннях та обрано найбільш придатні для подальшого аналізу. Інтенсивність руху визначено вихідною величиною для розрахунків екологічних переваг проєкту. Запропонована модель оцінки була застосована до міста Ополь, Польща. Представлено географічні, економічні та екологічні характеристики міста з особливим акцентом на стані транспортної інфраструктури. Маючи надмірний транспортний тиск, Ополь потребує обмеження транспортного потоку в центральній частині. З цієї метою було запропоновано запровадити заборону на рух приватних автомобілів на 6 вулицях центру міста з виділенням додаткових ділянок для паркування на інших територіях і використанням звільнених земельних ділянок у центрі для створення зелених насаджень та об'єктів відпочинку. Було розраховано фінансові параметри можливих екологічних вигод, а також непрямі доходи від проєкту, та описано можливі витрати на реалізацію проєкту. *Ключові слова:* еколого-економічна ефективність, забруднення довкілля, приватні автомобілі, інтенсивність руху, управління транспортними потоками.

Problem statement. Over the past years, researchers have revealed that one of the most powerful air pollutants in cities is transport, in particular private cars. The impact of road transport on the environment is formed while driving cars; during maintenance and the general functioning of the cars operation infrastructure.

The greatest impact from the car is at the stage of its operation, while impacts of maintenance are less distributed, but more intensive. The stage of the operation is determined by the rate at which its resource has already been used, that is, the total mileage from the beginning of operation to its decommissioning and disposal. Researchers have also found that up to 35% of total vehicle emissions are caused by the condition of the road surface and the organization of traffic [1].

Everyday operation of cars consumes running materials, such as petroleum products, natural gas, atmospheric air, water for cooling systems of the internal combustion engine and car washing, land resources expropriated for the construction of roads and other objects of transport infrastructure. It is accompanied by a wide range of negative consequences for the environment, including:

- pollution of the atmosphere and release of unpleasant odors;
- pollution of the water bodies;
- consumption of natural resources;
- change in the chemical composition of soils and damage to pedobiota;
- loss of agricultural lands and green spaces for the road infrastructure construction and due to its functioning;
- degradation of plants;
- waste generation, including production and service waste and vehicles themselves;
- noise, electromagnetic and vibration effects;
- direct thermal pollution and contribution to climate change;
- negative impact on building materials, historical architectural and sculptural monuments and other works of art;
- corrosion of metals, deterioration of leather and textile products;
- activation of adverse geodynamic processes such as water erosion, wetlands, mudflows, landslides and landslides.

Another important negative factor to emphasize is the injuries and deaths of humans and animals, and material damage caused by accidents and catastrophes. The less dramatic, but still serious health risks from private transport originate from hypokinesia and hypodynamia, typical for urban residents, as they mostly move by means of transport instead of walking. Moreover, switching to personal transport increases social separation among people, which is also associated with health risks and makes communities more vulnerable.

To improve the situation many countries are working on introduction of programs for control and mitigation

of car-related environment degradation. Among the possible solution of this problem is limitation of traffic in cities. The **purpose** of the given paper is to analyze the perspective – benefits and drawbacks of car-free cities creation.

The environmental issues of transport are widely covered in research works; however, the use of cars is still among the top elements of living standards and is perceived as a necessary element of comfort, providing easier access to any destination and independence from regulated transportation services. Thus, the assessment of transport limitations in any form will need to cover a complex set of factors, often having opposite values.

Methods and materials. The methods, which could be applied to evaluate the advantages and disadvantages, range from mostly descriptive SWOT or PESTLE analysis to numerical methods of environmental and economic efficiency assessment. The latter one is representative and comparative, but demands clear formulation and description of factors involved in efficiency formation. Thus, it is necessary to define the list of parameters important for consistent characteristics of projects involving limitation of traffic in any urban settlement. In this term SWOT analysis is a good theoretical background, able to reveal options for consideration.

SWOT analysis is a process of establishing connections between the most characteristic of the enterprise opportunities, threats, strengths (advantages), weaknesses, its implications can be used later to formulate and select enterprise strategies. It is conducted to investigate the environment, which a specific project implemented in.

The concept of “car-free city” incorporates a wide spectrum of project solutions from a total ban on cars to only limitation [2]. If to consider the most general case, the positive/negative outcomes of the project can be attributed to environmental, social and economic components (Table 1).

The central element for efficiency assessment is, of course, the environmental impacts to be reduced by implementation of such project.

According to statistics, cars of the world are already emitting more than 400 million tons of carbon oxides, 100 million tons of hydrocarbons, hundreds of thousands of tons of lead and many other harmful compounds every year. It should not be forgotten that they consume a lot of oxygen, from 100 to 200 times more than that consumed by one person.

There are few important factors, which increase the magnitude of transport impacts on the environmental and human health in the end:

a) the activity of the bulk of road transport is concentrated in places with high population – cities, industrial centers;

b) harmful emissions from cars are delivered in the lowest, ground level of the atmosphere, which is the level of the basic living activity;

Table 1

SWOT-analysis of “car-free city” project

Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> – improving the environmental situation; – increased incomes to local budget; 	<ul style="list-style-type: none"> – long process; – inconvenience during project implementation; – additional load of the nearness roads; – additional costs;
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> – stimulating the urban population to more active lifestyle; – encouraging use of environmentally friendly vehicles or urban vehicles; – expansion of green spaces or recreation facilities at the released land; 	<ul style="list-style-type: none"> – congestion of adjacent roads; – opposition from population.

c) exhaust gases from car engines contain highly concentrated toxic components, which are major pollutants of the atmosphere.

Also transport is one of the largest sources of greenhouse gas emissions due to burning fossil fuels, which are mostly primarily based and produce noticeable amounts of carbon dioxide and relatively small amounts of methane and nitrous oxides and hydrofluorocarbon (they result from the use of mobile air conditioners and refrigerated transport), which makes road transport responsible for almost 11% of greenhouse emissions [3]. In line with climate issues, traffic-related emissions contribute to the formation of urban smog and acid rains.

Another problem with cars that only happens in cities is thermal pollution, as heat generated by transport falls into the “trap” due to poor ventilation (ventilated urban canyons) and forms so called urban heat island [4].

Motor vehicles emit heavy metals such as nickel, mercury, chromium, cadmium, zinc, iron, arsenic, manganese, and beryllium. Among them arsenic, mercury, cadmium and lead are highly toxic in very low concentrations. The accumulation of heavy metals in soils changes their chemical and biological properties. Metals accumulate in living organisms and enter the food chains. Although heavy metals can remain in atmospheric air for up to 10 days and can be transported up to 2000 km the, most of the traffic related pollution resides along the roads [5]. This impedes the economic use of roadside lands, but also complicates the cultivation of protective green spaces in cities.

Some components of pollution are dissolved and penetrate to groundwater and then enter rivers and with drinking water can enter the human body. Thus, the Environmental Protection Agency estimates that up to 1/2 of suspended solids and 1/6 of hydrocarbons reaching streams originate from freeways. Vehicle-related particulates in highway runoff mostly come from tire and pavement wear (1/3 each), engine and brake wear (20%), and emissions (8%) [6].

In addition, operating motor vehicle disc brakes contribute heavy metals to non-point source pollution. Disc brakes are open to the environment, so each time semi-metallic brake pads squeeze against the wheels'

rotors, tiny amounts of metal dust, often copper, but sometimes also zinc and lead, are deposited along the roadway and washed to water bodies by rain or snow. While used oil and used coolant/antifreeze pollution mostly affect surface waters, gasoline spills from leaking underground storage tanks are a major source of groundwater pollution [7].

The most common environmental problem of transport widely assessed by scholars and authorities is of course noise pollution. Large volume of collected data state, that road noise is still the dominant source affecting human exposure above the 55 dB action levels with around 100 million people exposed in EU [8].

Thus, the environmental efficiency of the projects involving any form of traffic limitation inside the urban territory is provided by the direct changes: reduction of emissions and noise pollution, as well as land use improvement through making land previously occupied by transport infrastructure available for any green spaces expansion or social activity and recreation facilities. The economic benefits are indirect and reflect the monetary equivalent of the environmental gains, as well as increased incomes due to usage of public transport and improved health of the residents.

The major physical parameter necessary for the assessment of air and noise pollution mitigation before and after the project implementation is traffic intensity. Traffic intensity is the number of vehicles that passed the cross-section of the street or roads per unit of time. It can be expressed in actual units (auto/hour), as well as in consolidated units (one hour) when traffic flow is reduced to a conditional car on the basis of comparison of the dynamic dimensions of the vehicles. Next the value of traffic intensity is used to define potential reduction of emissions by major components and noise levels. The corresponding parameters are expressed in monetary values using state regulations of the cost of emissions and health effects from noise exposure.

The area released due to traffic reorganization could be evaluated based on the direct cost of land typical for the area under consideration.

The incomes to the local budget might come from increased use of public transport and payment

for interception parking, as well as development of recreational and tourist activity at these territories.

The drawbacks of such projects are of organizational and economic nature as well. Thus, there will be a need for investments into expansion of parking areas and reorganization of traffic at the adjoining roads. The administrative steps are also time-consuming, as the submitted project must be evaluated by authorities. For this, the managing authority should set up a commission consisting of, in particular, a representative of the Police and a representative of the road management and consult an expert, auditor or expert on the impact of planned traffic organization on its safety, and also consult an expert on the impact of the planned traffic organization on the environment. After considering the submitted traffic organization project, the traffic management authority may approve the traffic organization in whole or in part. The final element in the "negative" group of factors is the need to invest efforts and costs into building public consent on the reduced traffic permeability of the territory, which inevitably leads to limitation of residents comfort and time management.

The bottom line of these factors is not completely represented in monetary units, but the evaluation will be in favor of the project implementation. To appraise the offered model of environmental and economic efficiency assessment the city of Opole was chosen.

Results and discussions. Opole is the capital of the Opolskie Voivodship situated in the south of Poland, near the border with the Czech Republic (Trzebinia-Bartulovice – 54 km) and Germany (Olszyna – 240 km). It occupies the area of 96 km² and has 126 000 residents (approx. 12 – of the population of the voivodship), together with adjacent communes, it comprises an urban agglomeration inhabited by over 262 000 people. The population density is approximately 1 350 people/km².

The city of Opole is a developed industrial center: it has one of the highest entrepreneurship indexes among Polish cities – 162 enterprises per 1 thousand inhabitants. As a result, Opole is characterized by a large percentage of professionally active people (over 49 thousand) and young people, making 36 percent of the total Opole population. Such an intensive activity has its unavoidable pressure on the environment, being significantly transformed by now.

Opole is located in the Silesian Lowland which is joined to the Odra valley and Pradolina Wrocławska, occupying most of the city's area, and extends to the east the Opole Plain and to the west the Niemodlin Plain. Opole is one of the warmest cities in Poland with mild climate, suitable for rest and recreation.

The natural system of Opole includes the areas of the city's ecological corridors stretching along the Odra River, areas of urban arranged and unorganized green spaces and water reservoirs. There are valuable natural areas in the city of Opole, including monuments of nature and grasslands.

Opole has convenient railway, international highway and airport connections. Urban transport is also developing on a stable basis. An example of this is the installation of vending machines for public transport tickets near each bus stop in this year and the purchasing of electric buses. The quality of roads is improving as well. In recent years, the bicycle rental facilities have also appeared.

One of the problems in the city is the large number of cars. This is due to the poorly developed urban transport infrastructure on the outskirts of Opole, consequently residents are forced to use the car to get to work in the city of Opole (every day, a large proportion of visitors come from neighboring settlements).

The second problem is low number of quality bike paths. In general, there are 43 paths in Opole with a total length of 35 km, which is not enough for a city with the area near 96 km². In addition, most of these tracks are mixed with pedestrian paths, making it difficult to travel.

Another issue is parking. In Opole city has two parking zone with over 3000 places for parking and 123 parking meters. Despite the fact that the parking is paid in the central part of the city, the location of the parking spaces is complicated by narrow roads, leading to blocking of the pedestrian sidewalk and roadway, which worsen pedestrian passage and traffic in many areas of the city.

The environment degradation under the influence of traffic is quite considerable: over the last 5 years the particulate matter PM10 and benz-a-pyrene concentrations exceeded standards [9]. Noise pollution in Opole is also a serious problem: the area with noise levels over the standards is 1 194 km² and it is inhabited by 11 608 people.

Having considered the major transportation issues and environmental problems of the city of Opole, it is proposed to limit the entry of transport into the city center by blocking several sections of the highway. These are the streets of Rynek (Ratusza), plac Świętego Sebastiana, ul. Edmunda Osmańczyka, Mały Rynek – Staromiejska, Mały Rynek – Muzealna (Fig. 1).

Selected streets provide entering and leaving the center. By blocking streets for private transport it is possible to make this area free of cars – except for special services. It is important to emphasize that this area is historic, which is why it is a very popular destination for both tourists and residents of the city. Also it is located within residential buildings, which are very close to the selected highways. There are no green areas in the area. The proposed restrictions, in the first place, will help to reduce the impact of road transport (in the form of air and noise pollution) on residents and users (pedestrians) of the territory.

The released roads are planned to be converted into bike lanes, bicycle parking, and areas for landscaping and recreation. At the same time, parking spaces outside the city center should be made 1.5 times more

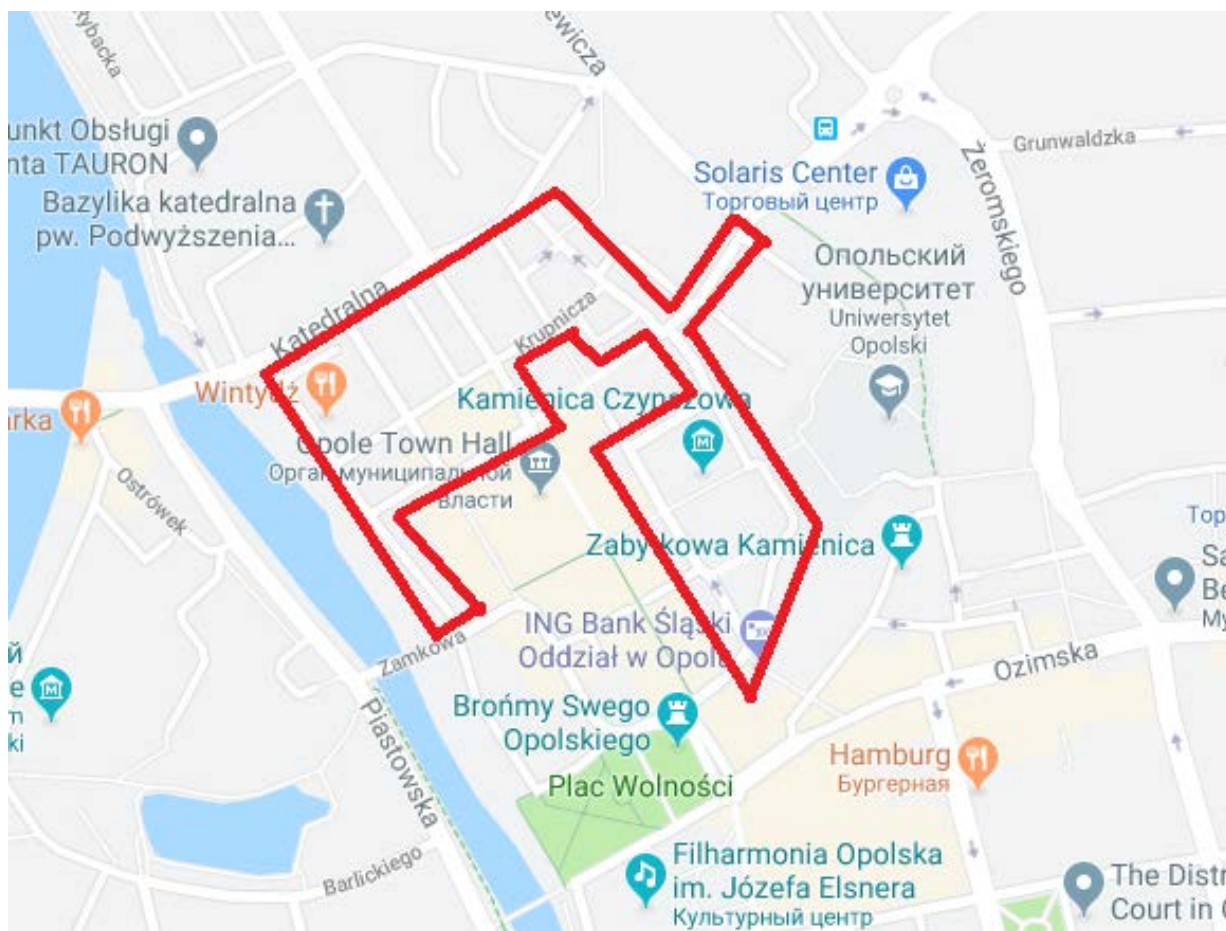


Fig. 1. The cars-free area proposed for Opole

expensive – so that it is not profitable to use the car. To improve the car parking situation it is offered to build underground and aboveground parking spaces. It is important to improve urban transport on the outskirts of the city and its neighboring settlements, including development of new ways, introduction of new stops and bus routes for easy transportation of residents of the surrounding areas to the city.

To express the benefits of the project in monetary equivalent, the following parameters were defined: volume and cost of emissions reduction due to decreased traffic; level of noise reduction due to decreased traffic; cost of the newly released land areas in the city center; incomes to local budget from increased use of public transport.

For the purpose of economic calculation, accounting the diversity of car flow during a day, the intensity of traffic at these sections was defined in the morning, afternoon, and evening and recalculated to annual values. The traffic-related emissions of the following pollutants were calculated CO, NO₂, CH, soot, SO₂, formaldehyde and benz(a)pyrene. The economic efficiency was determined, multiplying the values obtained by the cost per ton of emissions [10].

Separate calculations were used for CO₂ with the assumption that a typical passenger vehicle emits

about 4.6 metric tons of carbon dioxide per year. Thus, emissions of CO₂ make up 107566.86 ton/km per year.

Noise pollution was also measured on selected road sections and recalculated accounting the reduction of traffic flow. It should be noted, that noise pollution in the city center exceeds the acceptable level in all cases, especially on the Świętego Sebastiana plac. The economic costs of traffic noise were calculated on the basis of human's health recovery, using the methodology presented in [11].

Also, it is offered to introduce a minimum parking fee of 0.50 zł, which is equivalent to 15 minutes of parking. Funds from parking places will go to the state budget, just like money from additional use of public transport. The latter was calculated from the assumption that the residents, normally using cars in the center, switch to public transport.

The cost of released land was defined by summing up the area revealed and taking prices for 1 ha of land in Opole Voivodeship for 2019.

So, the total environmental and economic efficiency of the project (Table 2) is considerable. However, it will be flattened due to necessary expenses on public transport development, organization of bicycle route, project analysis and legal substantiation, as well as propaganda and information campaign.

Conclusions.

1. A car has become an integral part of our lives by this time. On the one side automobiles improve living conditions, but on the other hand it has led to severe environmental pollution affecting human health, contributing to climate change and degrading living conditions in cities. Thus, big cities suffer from smog, urban heat island and health deterioration.

2. There is a wide range of methods to be applied for the assessment of cars impacts on the environment. For the purposes of the given research the methods of traffic intensity and related emissions and noise pollution levels and approaches to the assessment of environmental and economic efficiency were considered. The parameters important for evaluation of environmental and economic efficiency of the “car-free city” projects were defined and methods of their assessment were offered.

3. Based on the considered examples of cities with limitations of traffic, the project of the car-free city for Opole was proposed. It involves blocking 6 main city center roads for private car entry, removing car parking spaces in the center, development of cycling network and creation of underground parking instead of old buildings. The released roads are to be converted into bike lanes, bicycle parking, and areas for landscaping and recreation.

4. To characterize the intensity of environmental pressure the traffic on the environment of Opole the annual emissions of pollutants and noise levels were established. The results of economic costs of the given impacts, that were calculated in terms of Ukrainian and Polish regularities show, that banning traffic on the selected streets will give economic benefits of over 26988734 UAH/year or 4374279 PLN/year.

References

1. Setyawan A., Kusdiantoro I., Syafi'i T. The Effect of Pavement Condition on Vehicle Speeds and Motor Vehicles Emissions. *Procedia Engineering*. 2015. 125. P. 424-430. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.111.
2. Fjellstrom K. Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities. Module 1a. Eschborn, German Corporation for International Cooperation, 2002. 32 p.
3. Muntean M., Guizzardi D., Schaaf E., Crippa M., Solazzo E., Olivier J.G.J., Vignati E. Fossil CO₂ emissions of all world countries – 2018 Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. DOI: 10.2760/30158, JRC113738.
4. Haddad L., Aouachria Z., Haddad D. Impact of the Transport on the Urban Heat Island. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. 2015. No. 5(3). P. 252–263. DOI: 10.7708/ijtte.2015.5(3).03.
5. Nazzal Y., Ghrefat H., Rosen A.M. Heavy Metal Contamination of Roadside Dusts: a Case Study for Selected Highways of the Greater Toronto Area, Canada Involving Multivariate Geostatistics. *Research Journal of Environmental Sciences*. 2014. No. 8. P. 259-273. DOI: 10.3923/rjes.2014.259.273.
6. van Bohemen H.D., Janssen van de Laak W.H. The influence of road infrastructure and traffic on soil, water, and air quality. *Environ Manage*. 2003. No. 31(1). P. 50–68. DOI: 10.1007/s00267-002-2802-8.
7. Nixon H., Saphores J.D. Impacts of motor vehicle operation on water quality – Clean-up Costs and Policies. *Transportation Research*. 2007. No. 12(8). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2007.08.002>.
8. Managing exposure to noise in Europe. Brussels: European Environment Agency, 2014. DOI: 10.2800/338580.
9. Rada miasta Opola. Uchwała nr VII/124/19 w sprawie przyjęcia “Planu adaptacji Miasta Opola do zmian klimatu do roku 2030”, March 28, 2019.
10. Податковий кодекс України. Київ, 2020. 680 с.
11. Качмар Р.Я. Оцінювання екологічних та економічних втрат від шуму транспортних потоків міста Львова. *Автошляховик України*. 2013. № 1. С. 10–13.

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ

Скок С.В., Стратічук Н.В.

ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»
вул. Стрітенська, 23, 73006, м. Херсон
skok_sv@ukr.net, natochka733@gmail.com

Інтенсивне зростання антропогенного навантаження на всі складники навколишнього природного середовища призвело до необхідності переходу міських територій на новий етап сталого розвитку. Згідно з проведеними дослідженнями встановлено перспективність системного підходу у розробленні пріоритетного набору індикаторів для вироблення стратегій збалансованого розвитку м. Херсон. У статті на прикладі індикативного аналізу та оцінки різних аспектів сталого розвитку визначено сучасний еколого-соціально-економічний стан досліджуваної міської території за інтегральним індексом сталого розвитку. Згідно з проведеною індикативною оцінкою сталого розвитку встановлено, що економічний складник сталого розвитку ($I_3 = 0,30$) м. Херсон є в загрозовому стані. Найбільш критичними виявилися індикатори валового регіонального продукту, обсягу інвестицій, витрати міського бюджету на природоохоронні заходи, системи екологічної сертифікації (ISO). Автори наголошують, що загрозовий стан у соціальній сфері ($I_2 = 0,36$) спричинений високим рівнем захворюваності, криміногенності, зниженням демографічних показників регіону. Екологічний стан м. Херсон оцінений як задовільний ($I_1 = 0,44$), загрозовий розвиток мали такі базові екологічні показники, як санітарно-гігієнічний стан ґрунтів за вмістом свинцю та якість питної води за хімічним складом. Інтегральний індекс сталого розвитку Херсонської урбосистеми згідно з інтегрованими екологічними, соціальними та економічними індикаторами оцінений як загрозовий ($I_{cp} = 0,36$). Доведено, що здійснення індикативної системи сталого розвитку дасть змогу виявити пріоритетні проблеми міста, які вимагають дієвих управлінських рішень щодо створення загальної системи формування та аналізу збалансованої стратегії розвитку селітебної міської території. Встановлено, що недоліком у розробленні системи індикаторів є відсутність статистичних еколого-соціально-економічних показників діяльності суб'єктів господарювання. *Ключові слова:* урбосистема, антропогенне навантаження, сталий розвиток, індикатори, базові показники, інтегральний індекс.

Scientific and methodological aspects of assessment of sustainable development of urban ecosystems. Skok S., Stratchuk N.

The intense growth of anthropogenic load on all components of the environment has led to the need to transition urban areas to a new stage of sustainable development. According to the conducted research, the perspective of a systematic approach in the development of a priority set of indicators for the development of strategies for balanced development of the city of Kherson was established. In the article, on the example of indicative analysis and evaluation of various aspects of sustainable development, the current ecological, socio-economic status of the studied urban territory is determined by the integrated sustainable development index. According to the indicative assessment of sustainable development, it was found that the economic component of sustainable development ($I_3 = 0.30$) of the city of Kherson has been in a threatened state. The indicators of gross regional product, volume of investments, expenditures of the city budget for environmental measures, systems of ecological certification (ISO) were the most critical. The authors point out that the threatened condition has been found in the social sphere ($I_2 = 0.36$), caused by high levels of morbidity, criminality, and decreased demographic indicators of the region. The ecological status of the city of Kherson was assessed as satisfactory ($I_1 = 0.44$), such basic ecological indicators as the sanitary-hygienic condition of soils by lead content and the quality of drinking water by chemical composition had a threatening development. The integral index of sustainable development of the Kherson urban system according to the integrated environmental, social and economic indicators, has been estimated as threatening ($I_{sr} = 0.36$). It is proved that the implementation of the indicative system of sustainable development would identify priority problems of the city, which require effective management decisions to create a common system for the formation and analysis of a balanced strategy for the development of urban territory. It is established that the drawback in the development of the indicator system was the lack of statistical ecological, socio-economic indicators of activity of economic entities. *Key words:* urban system, anthropogenic load, sustainable development, indicators, baseline indicators, integral index.

Постановка проблеми. Внаслідок посилення урбанізаційних процесів і негативних наслідків науково-технічної революції сталий розвиток перетворюється на глобальну необхідність людства. Вирішення цього питання залежить від умов і механізмів збалансованого екологічно-безпечного природокористування на рівні окремих регіональних екосистем.

Актуальність дослідження. Особливої уваги потребують міські території, у яких здійснюється інтенсивне антропогенне навантаження на всі компоненти навколишнього природного середовища,

що призводить до порушення екологічної рівноваги між природою та суспільством. Стійкість урбосистем, що проявляється у здатності до самоочищення, самовідновлення, залежить від спроможності зберігати свою структуру та характер функціонування під впливом зовнішніх навантажень, негативні наслідки яких можуть бути знижені через безперерйну систему водопостачання, якісний стан атмосферного повітря, наявність відкритих просторів, водойм, зелених насаджень, організованої інфраструктури охорони навколишнього середовища. Однак унаслідок кількісних та якісних змін довкілля під дією

антропогенного навантаження стан урбосистем є нестійким, що призводить до деградації природних екосистем на локальному рівні. При цьому вирішення проблеми раціонального та збалансованого природокористування повинно здійснюватися з урахуванням динамічного характеру техногенного навантаження на навколишнє природне середовище в межах функціонування великих міст.

Враховуючи напрями та пріоритети розвитку України, особливого значення набуває стратегічне планування, яке знаходить своє відображення у програмному документі «Стратегія сталого розвитку “Україна 2020”». При цьому важлива позитивна роль відводиться розробленню системи індикаторів (показників) сталості розвитку регіонів і міських територій на загальнодержавному і регіональному рівнях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Суттєвий внесок у дослідження питань методичного підходу під час оцінювання рівня сталого розвитку міських територій був зроблений такими вченими, як В.М. Боголюбов [1], М.О. Клименко, А.М. Прищепа, О.А. Брежицька [2], І.В. Ілляшенко [3], Л.М. Бондаренко [4], З.В. Герасимчук [5], М.З. Згуровський [6]. Показовим практичним досвідом для України є розроблення національних стратегій сталого розвитку та системи індикаторних оцінок Німеччини, Великої Британії, Білорусі, Киргизстану, Узбекистану, які на основі показників сталого розвитку здійснюють свою державну політику та досягають запланованих цілей.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Розроблені проекти індикаторів на глобальному, регіональному, національному, локальному, галузевому рівнях сталого розвитку постійно вдосконалюються у зв'язку із складністю розроблення інтегрального показника сталості регіонів і посиленням проблем соціального, економічного та екологічного характеру. Тому сьогодні немає єдиної загальноприйнятої та узгодженої системи індикації сталого розвитку, яка є невіддільною частиною парадигми збалансованого природокористування, забезпечення високоякісного життя людей в межах міських систем і вдосконалення довгострокових генеральних планів міського розвитку.

Серед великої кількості показників сталого розвитку, що характеризують стан певної сфери, необхідно обирати ті, за якими можливо здійснювати кількісну та якісну оцінку міської території без використання великого обсягу статистичної інформації. При цьому індикатори мають враховувати такі складники, як обґрунтованість, чутливість до змін, надійність, кількісно і якісно відображати всі основні деталі розвитку міста, стану навколишнього середовища, соціальної та економічної сфер, забезпечувати просування урбосистем до сталого

розвитку [7]. Індикаторна система оцінки розвитку є зручним інструментом для здійснення швидкого аналізу стану якості навколишнього середовища та вирішення нагальних урбоекотичних проблем сьогодення.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Запропоновано пріоритетний набір індикаторів сталого розвитку для оцінки соціального, економічного та екологічного станів урбосистеми м. Херсон, які можуть використовуватись органами місцевого самоврядування для розроблення місцевого плану дій з охорони довкілля м. Херсон та реалізації цілей сталого розвитку.

Новизна. Розроблено індикаційну систему оцінки сталого розвитку м. Херсон, за якою можна здійснювати оцінку стану екологічної, соціальної та економічної сфер міської системи. Визначено інтегральний індекс сталого розвитку досліджуваної урбосистеми.

Виклад основного матеріалу. Для виявлення проблем у забезпеченні сталого розвитку м. Херсон використано набір індикаторів і методологічну базу [8–10] на основі модифікування системи оцінювання (набору індикаторів); перерозподілу індикаторів за напрями (цілі, завдання); оцінювання актуальності індикаторів для м. Херсон; коригування масштабів вимірювання змінних.

Розроблення критеріїв та індикаторів сталого розвитку здійснювалася на основі використання двох основних підходів [11]:

- побудови інтегрального індексу на основі агрегованої оцінки стійкості,
- побудови системи часткових індикаторів стійкості.

Оцінка сталого розвитку урбосистеми м. Херсон здійснювалася згідно із статистичним набором екологічних, соціальних та економічних індикаторів (рис. 1).

Серед цих показників виділено позитивні та негативні індикатори. Збільшення числових параметрів позитивних показників зумовлює покращення стану системи сталого розвитку:

$$X_{\text{поз}} = \frac{N_i - N_{i(\text{min})}}{N_{i(\text{max})} - N_{i(\text{min})}}. \quad (1)$$

Негативні індикатори зумовлюють погіршення системи у разі збільшення числових базових показників сталого розвитку:

$$X_{\text{негат}} = \frac{N_{i(\text{max})} - N_i}{N_{i(\text{max})} - N_{i(\text{min})}}, \quad (2)$$

де $X_{\text{поз}}$ – позитивний базовий індикатор; $X_{\text{негат}}$ – негативний базовий індикатор; N_i – фактичне значення базового індикатора досліджуваної міської системи; $N_{i(\text{max})}$ – максимальне значення індикатора; $N_{i(\text{min})}$ – мінімальне значення індикатора.

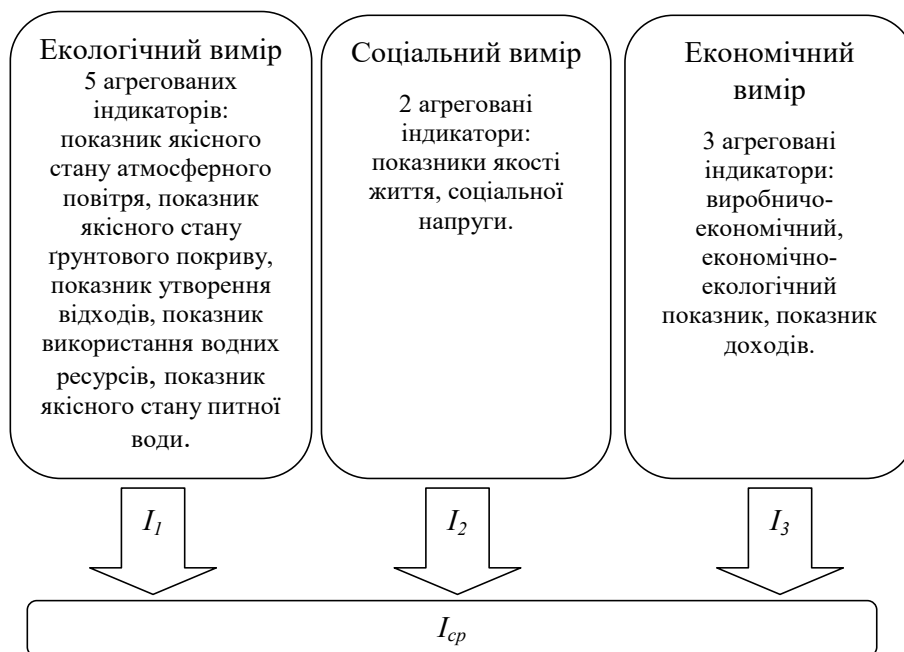


Рис. 1. Методологія вимірювання індексу сталого розвитку

Джерело: адаптовано відповідно до [12]

При цьому враховувалося, що індикатори та індекси, які входять до моделі сталого розвитку, вимірюються за допомогою різних фізичних величин, мають різні інтерпретації та змінюються в різних діапазонах. Тому вони були приведені до нормованого виду згідно з обґрунтованим вибором неграфічних максимальних і мінімальних значень екологічних, соціальних та економічних індикаторів у діапазоні від 0 до 1 (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні сталого розвитку за значенням індексів

Рівень сталого розвитку	Значення індексу сталого розвитку
Критичний	0–0,2
Загрозливий	0,4–0,2
Задовільний	0,4–0,6
Сприятливий	0,6–0,8
Еталонний	0,8–1,0

Інтегровані екологічні, соціальні, економічні індекси обчислювалися, шляхом методу згортки базових показників в агреговані, а агреговані – в інтегровані за формулою середнього геометричного:

$$x_a = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} \quad (3)$$

де x_a – агрегований індикатор сталого розвитку; x – базовий індикатор сталого розвитку; n – кількість базових індикаторів.

Інтегральний індекс сталого розвитку (I_{cp}) розраховувався за формулою:

$$I_{cp} = \sqrt[3]{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3} \quad (4)$$

де I_1 – Інтегрований індекс сталого екологічного розвитку; I_2 – Інтегрований індекс сталого соціального розвитку; I_3 – Інтегрований індекс сталого економічного розвитку.

Сталий розвиток міських територій базується на збалансованому поєднанні трьох основних підсистем: соціальної, економічної та екологічної [11]. Визначивши, на якому етапі розвивається урбосистема, можливо оцінити сучасний стан різноманітних сфер життєдіяльності суспільства, врахувати основні деталі та проблеми розвитку. Економічна сфера м. Херсон має позитивні та негативні тенденції свого розвитку. До позитивних належать збільшення питомої ваги випуску та реалізації промислової продукції, активне сприяння розвитку малого підприємництва, наявність значного потенціалу для розбудови курортно-рекреаційного комплексу, зростання частки іноземних інвестицій. Головними проблемами у сфері економіки міста є низька конкурентоспроможність та інвестиційна привабливість більшості підприємств, висока енерго- та матеріаломісткість виробництва, низький рівень фінансування підприємствами власних прикладних розробок і досліджень, безсистемність і неузгодженість інвестиційних проектів, відсутність підтримки державних органів влади суб'єктів підприємницької діяльності, нестабільність законодавчих актів у податковій політиці, високий розвиток тіньової економіки.

Негативні процеси спостерігаються і в соціальній сфері: прогресивне старіння населення, гендерний розрив показників середньої тривалості життя

(для чоловіків – 62 роки, для жінок – 74 роки), високий рівень безробіття, захворюваності населення (36,7%) [13–15].

Крім того, погіршення якості навколишнього природного середовища у м. Херсон, яке проявляється у забрудненні атмосферного повітря, ґрунтів, поверхневих і підземних вод, сприяє тому, що охорона навколишнього середовища повинна стати пріоритетною частиною економічного й соціального розвитку досліджуваної урбанізованої території.

Сучасні проблеми зниження якості навколишнього середовища, життя, здоров'я населення, нерівномірність економічного зростання вимагають пошуку нової стратегії розвитку міських територій, яка б узгодила екологічну, економічну та соціальну сфери на основі формування інтегрованої системи показників (індикаторів). Проте сьогодні немає єдиного методологічного підходу у вирішенні та обґрунтуванні цього питання як на державному, так і на регіональному рівнях. Розроблені Комісією ООН, ЄС та вітчизняними науковцями індикатори сталого розвитку є лише базисом для подальшого розширення та вдосконалення власного набору показників, які характеризують стан і розвиток будь-якої селітебної території. Оцінка стану міської території може здійснюватися за індикаторами сталого розвитку, які характеризують людську активність і певні процеси (наприклад, зростання населення або зростання емісії парникових газів); за індикаторами стану, які характеризують сталий розвиток у місті в цей момент (наприклад, щільність населення, частка міського населення, запаси природних ресурсів); за індикаторами реагування, які вказують на зміни характеристик сталого розвитку, тобто ефективність суспільства у вирішенні нагальних проблем (наприклад, витрати на покращення здоров'я, законодавство, нормування та регулювання) [1].

Певною проблемою в досягненні сталості міської території є гармонійне поєднання екологічної, еко-

номічної та соціальної сфер. Наприклад, розвиток економічної діяльності без використання ресурсозберігаючих технологій призводить до погіршення якості навколишнього середовища та рівня життя населення. Забруднення навколишнього середовища, у свою чергу, впливає на якість продукції та загальний прибуток підприємств. Низький рівень соціальних показників (стан здоров'я, тривалість життя, вікова структура населення) призводять до негативних процесів в економічній сфері через зниження сукупних факторів виробництва, зокрема трудового капіталу. З огляду на це формування індикаційної системи сталого розвитку м. Херсон має містити екологічний аспект, який ґрунтується на охороні компонентів навколишнього природного середовища з використанням відновлюваних ресурсів. При цьому збереження природно-ресурсного потенціалу м. Херсон не повинно впливати на екологічний і соціальний стан інших міст. З огляду на це важливим показником екологічного стану міста є екологічна рівновага між територіями селітебних, промислових, транспортних ландшафтів і природними територіями лісопарків, луків, заповідних ділянок у співвідношенні 40% : 60% [2].

Попри взаємодію тріади сталого розвитку, провідна роль у формуванні об'єктивної системи оцінки стану території та досягнення сталості урбоєкосистем належить екологічному складникові, оскільки її негативний стан має негативний вплив на соціальну сферу, а саме – на якість життя населення, стан популяційних процесів (репродуктивна здатність, рівень загальної та дитячої смертності, тривалість життя, рівень захворювання), а також на економічну сферу через масштаби матеріальних збитків у галузі виробництва та погіршення якості продукції. Тому, зважаючи на пріоритетність екологічного складника сталого розвитку, необхідним постає оцінювання екологічної сталості селітебної території на основі взаємозалежних факторів середовища для забезпечення

Таблиця 2

Оцінка екологічного стану Херсонської урбосистеми

Агреговані індикатори	Базові індекси	min/max значення	Значення індексів
Якісний стан атмосферного повітря	Сумарні викиди забруднюючих речовин, тис. т	20–100	0,66
	Кількість викидів від стаціонарних джерел забруднення, тис. т	0,5–10	0,61
	Кількість викидів від пересувних джерел, тис. т	5–50	0,52
Показник кількісного та якісного стану води	Невідповідність проб за хімічними показниками, %	10–20	0,30
	Невідповідність проб за бактеріологічними показниками, %	0,3–10	0,95
	Показник питомого водоспоживання, м ³	67–260	0,43
	Водозабезпеченість на душу населення, тис. м ³ на рік	0,2–2	0,62
Якісний стан ґрунту	Вміст Pb, щодо значень ГДК	1,5–3,5	0,15
	Вміст Cd, щодо значень ГДК	0,28–1,5	0,44
Наявність відходів	Утворення відходів I–III класу небезпеки, тис. т	1–50	0,57
	Утворення ТПВ на душу населення, м ³	1–3,2	0,60
Інтегральний індекс екологічного розвитку, I_e			0,44

її соціо-економічного розвитку. Спираючись на наукові праці В.М. Боголюбова, М.О. Клименка [1; 2], О.А. Брежицької [11], ми запропонували екологічні індикатори сталого екологічного розвитку, які характеризують екологічний стан навколишнього середовища Херсонської урбосистеми. Серед агрегованих показників виділено такі: показник якісного стану атмосферного повітря, показник якісного стану ґрунтового покриву, показник утворення відходів і показник кількісного та якісного стану питної води, які описувалися 11 базовими показниками (табл. 2).

Забезпечення сталого розвитку нерозривно пов'язано з комплексом соціальних показників, за якими здійснюється оцінка розвитку міської системи. Оскільки у м. Херсон виявлено проблеми соціального характеру, запровадження індикаційних показників надало можливість виявити рівень проблемності розвитку та визначити ефективні напрями покращення цієї сфери. При цьому побудова соціальних індикаторів відбувалася з метою забезпечення ефективної оцінки розвитку такої суспільно-значимої категорії, як «якість життя». Соціальний блок сталого розвитку м. Херсона містив 2 агреговані індикатори: індикатор якості життя, індикатор соціальної напруги, які описувалися 8 базовими показниками (табл. 3).

Економічний стан Херсонської урбосистеми характеризується низкою негативних чинників, які впливають на сталий розвиток території, серед яких виділено енерго- та матеріаломісткість виробництва, відсутність на підприємствах системи екологічної сертифікації, низькі інвестиційні можливості, скорочення промислового виробництва. Така ситуація створює сприятливі передумови для запровадження структурних змін техніко-технологічної та матеріальної бази підприємств на основі наукових проєктів, розроблення системи індикації економічного сталого розвитку міста Херсона (табл. 4).

З метою виявлення сильних і слабких сторін економічної системи, підвищення рівня економічного розвитку, забезпечення зростання реалізації ефективних управлінських рішень індикатори сталого економічного розвитку для м. Херсон склалися із трьох агрегованих показників: виробничо-економічного, економічно-екологічного та показника доходів, описувалися 9 базовими показниками.

Згідно з проведеною індикативною оцінкою сталого розвитку встановлено, що економічний складник сталого розвитку ($I_3 = 0,30$) м. Херсон є в загрозовому стані. Найбільш критичними виявилися індикатори валового регіонального продукту, обсягу інвестицій, витрати міського бюджету на природоохоронні заходи,

Таблиця 3

Оцінка соціального стану Херсонської урбосистеми

Агреговані індикатори	Базові індекси	min/max значення	Числові значення
Якість життя	Очікувана тривалість життя за народження, років	66–75	0,43
	Природний рух населення	(–7), – (+3)	0,12
	Міграційний приріст	(–1,5) – (0,5)	0,20
	Рівень безробіття, %	7–12	0,20
	Навантаження на одне робоче місце	1–20	0,52
Соціальна напруга	Заборгованість зарплати, млн грн. (обласний показник)	4–17	0,76
	Кількість злочинів, тис. випадків	1–30	0,84
	Кількість інвалідів, тис. осіб	3,5–20	0,38
Інтегральний індекс соціального розвитку, I_2			0,36

Таблиця 4

Оцінка економічного розвитку м. Херсон

Агрегований показник	Базові показники	min/max значення	Числові значення
Виробничо-економічний показник	Індекс виробництва промислової продукції, %	95–110,0	0,76
	Показник зростання ВРП, млн грн	17–30	0,12
	ВРП на особу, млн грн	17–30	0,57
	Індекс споживчих цін, %	99–120	0,57
	Індикатор обсягу інвестицій на одну особу, грн	500–20 000	0,16
Індикатор доходів	Показник середньої заробітної плати, грн	5000–11 000	0,34
	Показник доходів місцевого бюджету на особу, тис. грн	1 000–2 500	0,60
Економіко-екологічний показник	Показник витрат міського бюджету на природоохоронні заходи, тис. грн	300–11 000	0,44
	Показник системи екологічної сертифікації (ISO).	30–112	0,07
Інтегральний індекс економічного розвитку, I_1			0,30

системи екологічної сертифікації (ISO). Загрозливий стан спостерігається і в соціальній сфері ($I_2 = 0,36$), спричинений високим рівнем захворюваності, криміногенності, зниженням демографічних показників регіону.

Попри більш збалансований розвиток екологічного виміру ($I_1 = 0,44$), порівняно із соціально-економічною системою, загрозливий розвиток мали такі базові екологічні показники, як санітарно-гігієнічний стан ґрунтів за вмістом свинцю та якість питної води за хімічним складом. Інтегральний індекс сталого розвитку Херсонської урбосистеми згідно з інтегрованими екологічними, соціальними та економічними індикаторами оцінений як загрозливий ($I_{cp} = 0,36$).

Розроблена система індикаторів сталого розвитку для м. Херсон дала змогу виявити рівень проблемності екологічної, соціальної та економічної сфер. Тому для досягнення та забезпечення основних цілей сталого розвитку вони повинні бути узгодженими та взаємозалежними, оскільки незадовільний стан однієї сфери не може бути компенсований покращенням іншої.

Система оцінки сталого розвитку є ефективним базисом для прийняття дієвих управлінських рішень щодо створення загальної системи формування та аналізу збалансованої стратегії розвитку селітебної міської території. При цьому важливою передумовою реалізації механізму формування індикації

сталого розвитку є виявлення критичних індикаторів сталого розвитку.

Тому, зважаючи на вищесказане, досягнення сталості м. Херсон повинно базуватися на принципах гармонійної взаємодії людини і довкілля. При цьому основним завданням має бути забезпечення оптимального співвідношення між економічним розвитком, здоров'ям населення та станом навколишнього середовища, обов'язкового врахування екологічного чинника в розробленні місцевих планів дій з охорони довкілля.

Головні висновки та перспективи подальших досліджень. Доведено, що досягнення сталого розвитку селітебної території залежить від розробленої системи індикаторів сталого розвитку міських територій. Згідно з проведеною оцінкою екологічного, соціального та економічного стану м. Херсон, на основі розрахунків інтегральних індексів сталого розвитку встановлено, що екологічний стан оцінений як задовільний ($I_1 = 0,44$), соціальний та економічний стани ($I_2 = 0,36$), ($I_3 = 0,30$) – як загрозливі. Інтегрований індекс сталого розвитку Херсонської урбосистеми становить $I_{cp} = 0,36$ та оцінений як загрозливий.

При цьому розвиток міста за допомогою розроблених індикаторів соціальної, екологічної та економічної сфер є одним із перспективних напрямів подальшого вдосконалення системи індикаційної оцінки сталого розвитку із врахуванням механізмів адаптації до нових умов функціонування міста.

Література

1. Стратегія сталого розвитку : підручник / В.М. Боголюбов та ін. Херсон : Олді-плюс, 2017. 446 с.
2. Клименко М.О., Прищепя А.М., Брежицька О.А. Оцінювання стану територій міста за показниками сталого розвитку : монографія. Рівне : НУВГП, 2018. 221 с.
3. Ілляшенко І.О. Механізми екологічного франчайзингу в реалізації потенціалу сталого розвитку. *Економіка природокористування і охорони довкілля*. 2011. № 2011. С. 121–127.
4. Бондаренко Л.М., Внукова Н.М., Лимонова Л.О. Концептуальні засади стратегії розвитку Харківського регіону. Харків : Модель Всесвіту, 2001. 52 с.
5. Герасимчук З.В., Серета О.В. Стан, проблеми та перспективи стратегічного управління розвитком міст України. *Економічні науки. Серія : Регіональна економіка*. 2012. Вип. 9(35). Ч. 1. С. 104–111.
6. Згуровський М.З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах: аналіз за даними 2005 р. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 84 с.
7. Горяня І.В. Формування методик оцінювання сталості розвитку регіонів. *Економічний аналіз*. 2013. Т. 14. № 1. С. 59–63.
8. Масловська Л.Ц. Сталий розвиток продуктивних сил регіонів: теорія, методологія, практика : монографія. Київ : КНЕУ, 2003. 365 с.
9. Карпінський Б.А., Божко С.М. Сталий розвиток економіки: узагальнена модель : монографія. Львів : Логос, 2005. 256 с.
10. Качинський А.Б. Індикатори національної безпеки: визначення та застосування їх граничних значень. Київ : НСІД, 2013. 104 с.
11. Брежицька О.А. Оцінювання стану селітебних територій за показниками сталого розвитку (на прикладі міста Дубно Рівненської області) : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16. Суми, 2010. 20 с.
12. Нестеренко О.О. Індикатори оцінки рівня сталого розвитку та їх вплив на показники інтегрованої звітності. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2017. Вип. 15. Ч. 2. С. 44–50.
13. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Херсонській області у 2017 році. Херсон, 2018. 238 с.
14. Статистичний збірник. Соціальні індикатори рівня життя населення / відп. за вип. І.В. Калачова. Київ : ДП «Інформаційно-видавничий центр Держстату України», 2014. 221 с.
15. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2016 році. Київ, 2017. 415 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Агаєва Ольга Айяровна (Одеса) – кандидат технічних наук, асистент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури.

Азаров Сергій Іванович (Київ) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, Інститут ядерних досліджень НАН України.

Алексєєва Анна Анатоліївна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник НДІ біології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Алексєєва Анна Олександрівна (Миколаїв) – старший викладач кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили.

Антоняк Галина Леонідівна (Львів) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка.

Балакін Валерій Федорович (Дніпро) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологічного проектування імені В.М. Друяна, Національна металургійна академія України.

Барабаш Олена Василівна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент, Національний транспортний університет.

Безсмертна Олеся Олексіївна (Київ) – кандидат біологічних наук, асистент кафедри екології та зоології, Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

Бессонова Валентина Петрівна (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри садово-паркового господарства, Дніпровський державний аграрно-економічний університет.

Бессонова Валентина Петрівна (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри садово-паркового господарства агрономічного факультету, Дніпровський аграрно-економічний університет.

Боброва Марія Сергіївна (Кропивницький) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології та методики її викладання, Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка.

Бойко Наталія Сергіївна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, директор, Державний дендрологічний парк «Олександрія» НАН України

Бойко Олександра Володимирівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Военно-дипломатичної академії імені Євгенія Березняка.

Бондар Олександр Іванович (Київ) – член-кореспондент НААНУ, доктор біологічних наук, професор, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Бузіна Ірина Миколаївна (Харків) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та біотехнології, Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва.

Венгер Олена Олексіївна (Херсон) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії і екології, Херсонський національний технічний університет.

Волков Данило Володимирович (Маріуполь) – аспірант кафедри автомобільного транспорту, Приазовський державний технічний університет.

Вольчин Ігор Альбінович (Київ) – доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи, Інститут вугільних енерготехнологій НАН України.

Воробей Павло Миколайович (Київ) – аспірант, Інститут зоології імені Шмальгаузена НАН України.

Ворона Сергій Олександрович (Кропивницький) – завідувач сектору біологічних досліджень та обліку Кіровоградського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України

Гілецька Іванна Богданівна (Львів) – студентка магістратури кафедри екології, Львівський національний університет імені Івана Франка.

Глібовицька Наталія Ігорівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

Григор'єва Людмила Іванівна (Миколаїв) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Медичний інститут Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

Гринь Григорій Іванович (Харків) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Гринь Світлана Олександрівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Грубник Володимир Валентинович (Харків) – завідувач лабораторії екології водних організмів біологічного факультету, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна.

Гулько Ірина Сергіївна (Харків) – студентка, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Д'яконов Василь Іванович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та біотехнології, Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва.

Дмитрієва Євгенія Ростиславівна (Київ) – студентка II курсу магістратури, ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Дойко Наталія Михайлівна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу збагачення дендрофлори, Державний дендрологічний парк «Олександрія» НАН України.

Драган Ніна Вікторівна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, завідувача лабораторією насінництва та первинного випробування інтродукованих рослин, Державний дендрологічний парк «Олександрія» НАН України.

Дьяконов Олексій Васильович (Харків) – аспірант, Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва.

Ємець Богдан Володимирович (Житомир) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем, Житомирський національний агроєкологічний університет Міністерства освіти і науки України.

Єрмішев Олег В'ячеславович (Вінниця) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біофізики і фізіології, Донецький національний університет імені Василя Стуса.

Жак Ольга Володимирівна (Львів) – кандидат хімічних наук, доцент, Львівський національний університет імені Івана Франка.

Жак Тетяна Володимирівна (Львів) – аспірант відділення фізико-хімії горючих копалин, Інститут фізико-органічної хімії і вуглекислоти імені Л.М. Литвиненка НАН України.

Жигалова Світлана Леонідівна (Київ) – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу систематики і флористики судинних рослин, Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України.

Задунай Олексій Сергійович (Київ) – кандидат технічних наук, начальник Центру, Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки та захисту інформації.

Замойський Степан Михайлович (Кам'янець-Подільський) – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій та засобів АПК, Подільський державний аграрно-технічний університет.

Зворигін Кирило Олександрович (Дніпро) – аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Іванченко Ольга Євгенівна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри садово-паркового господарства, Дніпровський державний аграрно-економічний університет.

Камінська Христина Іванівна (Івано-Франківськ) – студентка II курсу ОР «Магістр» спеціальності 091 Біологія факультету природничих наук ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника».

Качановський Олег Ігорович (Рівне) – заступник директора, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України».

Кірсанова Валентина Василівна (Одеса) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальнонаукових дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія».

Клименко Тетяна Карлівна (Кам'янське) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Дніпровський державний технічний університет.

Коваленко Людмила Олександрівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Коверя Андрій Сергійович (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Ковров Олександр Станіславович (Дніпро) – професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Колотило Олександра Анатоліївна (Ополе) – студент факультету природних наук та технологій (магістерська програма) Університету Ополе.

Комарницький Сергій Петрович (Кам'янець-Подільський) – кандидат технічних наук, доцент, Подільський державний аграрно-технічний університет.

Конякін Сергій Миколайович (Київ) – кандидат географічних наук, науковий співробітник відділу фітоєкології, ДУ «Інститут еволюційної екології Національної академії наук України».

Корлятович Тетяна Юріївна (Львів) – кандидат технічних наук, асистент кафедри інженерної геодезії Національного університету «Львівська політехніка».

Корнелюк Надія Миколаївна (Черкаси) – старший викладач кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет.

Король Катерина Анатоліївна (Львів) – ад'юнкт денної форми навчання ад'юнктури та докторантури, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

Котков Володимир Іванович (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем, Житомирський національний агроєкологічний університет.

Кошелєв Василь Олександрович (Мелітополь) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та раціонального природокористування, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького.

Кравець Тарас Юрійович (Львів) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій, Національний технічний університет «Львівська політехніка».

Кравченко Ірина Анатоліївна (Одеса) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри органічних та фармацевтичних технологій, Одеський національний політехнічний університет МОНУ.

Кравченко Сергій Анатолійович (Одеса) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури.

Кратюк Олександр Леонідович (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри експлуатації лісових ресурсів, Житомирський національний агроекологічний університет.

Кривошеєв Сергій Іванович (Київ) – старший науковий співробітник відділу фізики високотемпературних процесів, Інститут вугільних енерготехнологій НАН України.

Кривошей Павло (Сінгапур) – співробітник, Компанія «Chandwin Project Pte.» Ltd.

Кузнєцов Сергій Іванович (Херсон) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії і екології, Херсонський національний технічний університет.

Кулик Михайло Павлович (Івано-Франківськ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища і охорони праці, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

Курилюк М. С. (Київ) – співробітник, НВП ТОВ «Ремводпласт плюс».

Лєсєв Марта Степанівна (Львів) – аспірантка кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка.

Лукашов Дмитро Володимирович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та зоології, Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

Луньова Оксана Володимирівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Лямзін Андрій Олександрович (Маріуполь) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Технології міжнародних перевезень і логістика» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».

Макарова Олена Валеріївна (Миколаїв) – старший викладач кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили.

Марєнков Олег Миколайович (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Матвієнко Андрій (Полтава) – кандидат технічних наук, доцент, заступник директора департаменту дослідження свердловин та розробки родовищ ДП «Укрнаукагеоцентр».

Машиністов Віктор Єгорович (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологічного проектування імені В.М. Друяна, Національна металургійна академія України.

Машков Олег Альбертович (Київ) – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, проректор з наукової діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Мигаль Галина Валеріївна (Харків) – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ».

Михайлюк Юлія Дмитрівна (Івано-Франківськ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

Мірошніченко Наталія Миколаївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Міхєєв Володимир Сергійович (Київ) – заступник Голови, Державне космічне агентство України.

Міщенко Олена Володимирівна (Херсон) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії і екології, Херсонський національний технічний університет.

Монова Дарія Анатоліївна (Черкаси) – кандидат технічних наук, Черкаський державний технологічний університет МОНУ.

Мотрич Софія Ігорівна (Львів) – слухач, 5 курс кафедри екологічної безпеки, навчально-наукового інституту цивільного захисту, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

Мязіна Олена Володимирівна (Харків) – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Науменко Євгенія Олександрівна (Одеса) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет МОНУ.

Ніколаєнко Ірина Володимирівна (Маріуполь) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Технології міжнародних перевезень і логістика» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».

Ольшанський Ігор Григорович (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу систематики і флористики судинних рослин, Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України.

Охременко Ірина Вікторівна (Херсон) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та географії.

Павлюк Сергій Вадимович (Київ) – викладач кафедри Воєнно-дипломатичної академії імені Євгенія Березняка.

Панченко Василь Олександрович (Львів) – студент магістратури кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка

Пахомов Олександр Євгенович (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри зоології та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Пашкевич Наталія Анатоліївна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України».

Пидорич Юрій Васильович (Біла Церква) – головний інженер, Державний дендрологічний парк «Олександрія» НАН України.

Покотило Іван Ярославович (Львів) – старший викладач кафедри геодезії Національного університету «Львівська політехніка».

Поліщук Дмитро Володимирович (Світловодськ) – кандидат технічних наук, керівник, ПП «ТД ВО Машинобудівний завод».

Поліщук Олександр Ігорович (Львів) – аспірант кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка.

Попович Василь Васильович (Львів) – доктор технічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту цивільного захисту, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

Постернак Олександр Олексійович (Одеса) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури.

Протасенко Ольга Федорівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри природоохоронних технологій, екології та безпеки життєдіяльності, Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця.

Пустовіт Сергій Васильович (Ладизжин) – кандидат технічних наук, викладач, Ладизжинський коледж Вінницького національного аграрного університету.

Радомська Маргарита Мирославівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій Національного авіаційного університету.

Рацлав Володимир Вікторович (Слов'янськ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін, БЖД та автосправи, Донбаський державний педагогічний університет.

Риженко Наталія Олександрівна (Київ) – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри екології та екологічного контролю, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Рикмас Ярина Вікторівна (Львів) – студентка хімічного факультету, Львівський національний університет імені Івана Франка.

Різничук Надія Іванівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології факультету природничих наук ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника».

Романюк Ольга Іванівна (Львів) – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділення фізико-хімії горючих копалин, Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка НАН України.

Семенишена Наталія Вікторівна (Кам'янець-Подільський) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін, Подільський державний аграрно-технічний університет.

Семерак Михайло Михайлович (Львів) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій, Національний технічний університет «Львівська політехніка».

Сикута Марія Романівна (Івано-Франківськ) – студентка II курсу ОР «Магістр» спеціальності 091 Біологія факультету природничих наук ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника».

Скляренко Анастасія Вікторівна (Дніпро) – аспірант кафедри садово-паркового господарства агрономічного факультету Дніпровський аграрно-економічний університет.

Скок Світлана Вікторівна (Херсон) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрний університет.

Становська Іраїда Іванівна (Одеса) – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем, Одеський національний політехнічний університет МОНУ.

Степова Олена Валеріївна (Полтава) – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Стратічук Наталя Володимирівна (Херсон) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрний університет.

Стрілець Руслан Олександрович (Київ) – заступник Директора департаменту з питань управління відходами, екологічної безпеки та переходу до кругової економіки, Міністерство енергетики та захисту довкілля України.

Суслова Олена Петрівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, Донецький ботанічний сад Національної академії наук України.

Сягайло Ігор Олегович (Кам'янське) – магістр кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Дніпровський державний технічний університет.

Таланюк Вікторія Віталіївна (Київ) – аспірант, Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України.

Тартачинська Зоряна Романівна (Львів) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, Національний університет «Львівська політехніка».

Ткачук Наталія Павлівна (Київ) – асистент кафедри медичної біології, Інститут агроекології і природокористування НААН.

Токарський Віктор Арсентійович (Харків) – професор, завідувач кафедри зоології та екології тварин біологічного факультету, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна.

Федоренко Євгеній Олександрович (Київ) – керівник проекту, ГЕФ-ЮНІДО «Екологічно обґрунтоване поводження та остаточне видалення поліхлорованих дифенілів (ПХД) в Україні».

Федорчак Ельвіра Рафіківна (Кривий Ріг) – провідний інженер, Криворізький ботанічний сад НАН України.

Филипчук Віктор Леонідович (Київ) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці і безпеки життєдіяльності, Національний університет водного господарства та природокористування.

Футорна Оксана Андріївна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу фітогормонології, Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України.

Хайнус Дмитро Дмитрович (Харків) – кандидат економічних наук, доцент кафедри геодезії, картографії та геоінформатики, Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва.

Харламова Олена Володимирівна (Кременчук) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського.

Чугай Ангеліна Володимирівна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри прикладної екології, декан природоохоронного факультету, Одеський державний екологічний університет.

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екологічного моніторингу, геоінформаційних та аерокосмічних технологій, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Шевчик-Костюк Леся Зеновіївна (Львів) – кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник відділення фізико-хімії горючих копалин, Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка Національної академії наук України.

Шелудченко Леся Сергіївна (Кам'янець-Подільський) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій та засобів АПК, Подільський державний аграрно-технічний університет.

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

1(28)

- *Теоретична екологія*
- *Загальні проблеми екологічної безпеки*
- *Екологія та економіка природокористування*
- *Екологія природних ресурсів*
- *Проблеми еколого-збалансованого розвитку*
- *Екологія і виробництво*
- *Екологія і транспорт*
- *Екологія і будівництво*
- *Розвиток природно-заповідного фонду України*
- *Інноваційні аспекти підвищення рівня екологічної безпеки*
- *Система екологічної освіти для сталого розвитку*
- *Наукове життя*

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»

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.

Підписано до друку 20.03.2020. Формат 64x90/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.

Ум.-друк. арк. 43,48. Тираж 100. Замовлення № 0520/129.

Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета