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

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

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ **6(45)**

Видавничий дім
«Гельветика»
2022

УДК 502+504

Друкується за рішенням Вченої Ради
Державної екологічної академії післядипломної освіти
та управління (№ 6-22 від 15.12.2022 р.)
Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ 24703-14643Р від 19.01.2021 р.

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. : Видавничий дім «Гельветика», 2022. – № 6(45). – 220 с.

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

Заступник головного редактора: Нагорнева Н. А.

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

Відповідальний редактор: Сікачина В. Г.

Редакційна колегія:

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

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

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

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

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

© Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2022

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....7

Бондар О.І., Крилова І.І., Маджд С.М., Закорчевна Н.Б. Зелені облігації як додатковий механізм інвестицій у водний сектор України.....7

Андрєєв В.І., Случак О.І., Случак О.І., Алексєєва А.О., Крисінська Д.О. Розробка методики оцінювання екосистемних послуг річкових екосистем на прикладі р. Південний Буг.....13

Босюк А.С., Шестопалов О.В. Використання феритної обробки, як варіант модифікації реагентного методу очистки стічних вод від іонів важких металів.....21

Кульбач М.О., Клімкіна І.І. Дослідження можливості зменшення фосфатного забруднення поверхневих річок із застосуванням *Chlorella vulgaris*.....26

Луньова О.В., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М. Аналіз стану водних ресурсів Житомирської області та їх вплив на організм людини.....31

Маренков О.М., Корженевська П.О., Нестеренко О.С. Радіоекологічні моніторингові дослідження іхтіофауни Першотравенського водосховища.....35

Мудрак О.В., Дем'янюк О.С., Андрусяк Д.В. Особливості виникнення пожеж на території національного природного парку «Подільські Товтри».....42

Яцюк М.В., Сидоренко О.О., Цвєтова О.В., Тураєва О.В., Нечай О.М. Природні води Шацького поозер'я в контексті змін клімату.....48

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО.....54

Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Кліматичні чинники та їхня роль у розвитку сонячної енергетики у Львівській області.....54

Сталінська І.В. Технологія утилізації хімічних засобів захисту рослин.....60

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА.....66

Плаван В.П., Моргулець О.Б., Іщенко О.В., Коляда М.К. Концепція сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності та її реалізація в освітній діяльності.....66

Трохимчук І.М. Екологічна вихованість учнів: теоретичний аналіз.....72

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....77

Fedenko Yu., Samoylenko V. Zirconium (IV) oxide as perspective sorbent of ions from aqueous solutions.....77

БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....82

Гафіяк О.В. Дослідження бджолиного меду на наявність антибіотиків внаслідок їх неконтрольованого використання.....82

Кузнєцов С.І., Венгер О.О., Семенченко О.О., Безпальченко В.М., Івкіна Є.С. Дослідження впливу деяких факторів на рівень електризації діелектриків.....95

Пелепчук О.С., Бобро О.В., Дишель Г.О. Вплив екологічних факторів середовища на антропометричні показники 17-літніх дівчат Одеського регіону.....100

ЗМІНА КЛІМАТУ.....105

Воровка В.П., Марченко О.А., Гришко С.В., Яцентюк Ю.В. Динаміка кліматичних характеристик міста Мелітополя як складова глобальних змін.....105

Пічура В.І., Потравка Л.О., Рутта О.В. Просторово-часовий аналіз і прогноз кліматичних змін в зоні Степу України.....110

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО І ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.....119

Котюк Л.А., Рахметов Д.Б., Іващенко І.В. Перспективи використання ароматичних рослин родини *Lamiaceae Martinov*.....119

Красова О.О., Шоль Г.Н., Павленко А.О., Шкута С.І. Інвазії *Anisantha sterilis* (L.) Nevski в рослинні угруповання Криворіжжя ..126

Мудрак О.В., Хаєцький Г.С., Мудрак Г.В., Серебряков В.В. Оцінка екологічного стану малих річок Східного Поділля в контексті сталого розвитку регіону..132

Питуляк М.Р., Питуляк М.В., Кузик І.Р., Стецько Н.П., Хом'як Н.В., Жулканич Б.М. Гідрологічні заповідні об'єкти Тернопільського Придністер'я: екологічна роль та використання..139

Теслович М.В., Кричевська Д.А. Жденіївська ключова територія у регіональній екомережі Закарпатської області: формування території та стан збереженості природних лісів ..144

Фалько В.В. Оцінка гарантованої якості атмосферного повітря для рослин на прикладі парка ім. Т. Г. Шевченка, м. Дніпро..153

Шило Д.О., Клімкіна І.І. Дослідження впливу важких металів на фізіологічну активність *Chlorella Vulgaris* та її здатність до біоакумуляції..158

Shpak Ya., Sosnovskyi K., Burkut V., Zarochentseva O., Zhuk A., Fedoriak M. Pollination of sunflower by honey bee: review..162

Юхименко Ю.С., Бойко Л.І., Данильчук О.В. Представники відділу *Pinophyta* в колекції Криворізького ботанічного саду НАН України..167

ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ І ГРУНТИ..173

Вольвач О.В., Колосовська В.В., Костюкєвич Т.К., Сербінов Б.М. Агрометеорологічні умови вирощування сочевиці з врахуванням агроекологічної оцінки грунтів Вінницької області ..173

Гунько С.О. Дослідження латерального та радіального розподілу мангану у ґрунтах м. Жовті Води..178

Сопов Д.С., Гаврюшенко Г.В., Кирпичова І.В. До класифікації антропогенно змінених земель на сході України..183

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ..188

Бойко Т.Г., Руда М.В., Паславський М.М., Джумеля Е.А. Показник стійкості як здатність просторово-часової геосистеми долати наслідки шкідливих впливів і зменшувати ризик руйнування компартменту..188

Бреус Д.С. Вплив автозаправних комплексів на якість атмосферного повітря..194

Yevtushenko O. The role of the public inspector in the sphere of environmental protection in Ukraine..199

Машков О.А., Абідов С.Т., Мосов С.П., Чубіна Т.Д. Екологічні особливості та інновації пожежогасіння з повітря в країнах Європи: історія та сучасність ..202

Мовчан М.М., Іваненко І.Б., Матвієнко М.Г., Таран Є.О., Гандзюра В.П. Проблеми благоустрою регіонального ландшафтного парку «Партизанська слава» та шляхи їх розв'язання..209

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ..214

CONTENTS

ECOLOGY OF WATER RESOURCES.....7

Bondar O., Krylova I., Madzhd S., Zakorchevna N. Green bonds as an additional mechanism for investment in the water sector of Ukraine.....7

Andreev V., Sluchak O., Sluchak O., Alekseeva A., Krysinska D. Development of the methodology for assessment of ecosystem services of river ecosystems on the example of the Southern Bug River.....13

Bosiuk A., Shestopalov O. The use of ferrite processing as an option for modification of the reagent method of wastewater purification from heavy metal ions.....21

Kulbach M., Klimkina I. Study of the possibility to reduce the phosphate pollution of surface water using *Chlorella vulgaris*.....26

Lunova O., Herasymchuk O., Kagukina A. The analysis of water resources state in Zhytomyr region and their impact on the human body.....31

Marenkov O., Korzhenevska P., Nesterenko O. Radioecological monitoring studies of ichthyofauna of the Pershotravensky reservoir.....35

Mudrak O., Demianiuk O., Andrusiak D. Features of the occurrence of fires on the territory of the National Nature Park "Podilski Tovtry".....42

Yatsiuk M., Sydorenko O., Tsvyetova O., Turaieva O., Nechay O. Natural waters of the Shatsk lake in the context of climate change.....48

ECOLOGY AND PRODUCTION.....54

Lopushanska M., Ivanov Ye. Climate factors and their role in the solar energy development in the Lviv region.....54

Stalinska I. Technology of disposal of chemical means of plant protection.....60

ENVIRONMENTAL EDUCATION.....66

Plavan V., Morhulets O., Ishchenko O., Koliada M. The concept of sustainable environmental development and climate neutrality and its implementation in educational activities.....66

Trohymchuk I. Environmental education of students: theoretical analysis.....72

ECOLOGICAL SAFETY.....77

Fedenko Yu., Samoylenko V. Zirconium (IV) oxide as perspective sorbent of ions from aqueous solutions.....77

BIOLOGICAL SAFETY.....82

Hafiiak O. Study of beech honey for the presence of antibiotics as a result of their uncontrolled distribution in nature.....82

Kuznietsov S., Venher E., Semenchenko O., Bezpalchenko V., Ivkina E. Study of the influence of some factors on the degree of electrization of dielectricians.....95

Pelepchuk O., Bobro O., Dyshel G. Influence of environmental factors on anthropometric indicators of 17-year-old girls Odesa region.....100

CLIMATE CHANGE.....105

Vorovka V., Marchenko O., Gryschko S., Yatsentiuk Yu. Dynamics of climate characteristics Melitopol city as a component of global changes.....105

Pichura V., Potravka L., Rutta O. Spatial and temporal analysis and prognosis of climatic changes in the Steppe zone of Ukraine.....110

PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY.....119

Kotiuk L., Rakhmetov D., Ivashchenko I. Prospects of the use of aromatic plants of the *Lamiaceae Martinov* family.....119

Krasova O., Shol H., Pavlenko A., Shkuta S. Invasions of *Anisantha sterilis* (L.) Nevski in plants communties of the Kryvorizhzhia.....126

Mudrak O., Khaetsky G., Mudrak G., Serebryakov V. Assessment of the ecological status of small rivers of the Eastern Division in the context of sustainable development of the region. 132

Pytuliak M., Pytuliak M., Kuzyk I., Stetsko N., Khomiak N., Zhulkanych B. Hydrological protected objects of Ternopil Prydnisteria: ecological role and use. 139

Teslovych M., Krychevska D. Zhdeniivska key area in the regional econetwork of the Transcarpathian region: problems of formation and preservation of natural forests. 144

Falko V. Assessment of guaranteed air quality for plants (case of the park named after T. Shevchenko in Dnipro) 153

Shylo D., Klimkina I. Investigation of the effect of heavy metals on physiological activities of *Chlorella vulgaris* with special references to heavy metal bioaccumulation. 158

Shpak Ya., Sosnovskyi K., Burkut V., Zarochentseva O., Zhuk A., Fedoriak M. Pollination of sunflower by honey bee: review. 162

Yukhymenko Yu., Boyko L., Danylchuk N. Representatives of the division *Pinophyta* in the collection of Kryvyi Rih botanical garden of National Academy of Sciences of Ukraine. 167

LAND RESOURCES AND SOILS 173

Volvach O., Kolosovska V., Kostiukievych T., Serbinov B. Agrometeorological conditions of cultivation of lentils taking into account the agro-ecological assessment of the soils of the Vinnytsia region. 173

Hunko S. The research of lateral and radial distribution of manganese content in the soils of Zhovti Vody. 178

Sopov D., Havriushenko H., Kyrpychova I. To the classification of anthropogenically changed lands in the east of Ukraine. 183

GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES 188

Boyko T., Ruda M., Paslavskyi M., Dzhumelia E. Stability index as the ability of the space-time geosystem to overcome the consequences of harmful influences and reduce the risk of compartment destruction. 188

Breus D. The influence of gas stations on the environment. 194

Yevtushenko O. The role of the public inspector in the sphere of environmental protection in Ukraine 199

Mashkov O., Abidov S., Mosov S., Chubina T. Environmental features and innovations of aerial fire extinguishing in European countries: history and present. 202

Movchan M., Ivanenko I., Matviienko M., Taran Ye., Gandziura V. Landscaping problems of the regional landscape park "Partyzanska Slava" and ways of solving them. 209

AUTHORS' CREDENTIALS 214

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 351:628.1:331(477)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.1

ЗЕЛЕНІ ОБЛІГАЦІЇ ЯК ДОДАТКОВИЙ МЕХАНІЗМ ІНВЕСТИЦІЙ У ВОДНИЙ СЕКТОР УКРАЇНИ

Бондар О.І., Крилова І.І., Маджд С.М., Закорчевна Н.Б.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
dei2005@ukr.net

«Зелені» облігації є одним із популярних інструментів сталого інвестування, і очікується, що ринок кліматичних облігацій буде насичуватися в найближчому майбутньому. «Зелені» облігації стають досить популярними серед екологічно відповідальних досвідчених інвесторів. За оцінками Міжнародної фінансової корпорації (IFC), потенціал «зеленого» фінансування в Україні становить 73 млрд. доларів до 2030 року. Очікується, що водний сектор стане ключовою сферою інвестування «зелених» облігацій в умовах зростання ринку. Щоб досягти такого рівня, потрібні нові інструменти, які допоможуть, зокрема: емітентам задовольняти попит інвесторів на облігації; інвесторам визнати такі облігації; уряду підтримати інвестицій у такі облігації. Тому, створення стійкого підгрунтя для випуску «зелених» облігацій у водному секторі має вирішальне значення, оскільки це допоможе підвищити інформаційний рівень про стан та інвестиційні можливості водного сектору, що дасть інвесторам впевненість у тому, що кошти буде використано для вироблення надійних рішень в галузі зміни клімату. У статті зроблено огляд літературних джерел з ринку «зелених» облігацій, з метою висвітлення проблем водного сектору та надання корисної інформації щодо ролі екологічних інвестицій у розбудову фінансових ринків та сприяння стійкості пропозицій інвесторам, основним учасникам ринку «зелених» облігацій, органам місцевого самоврядування, політикам деяку корисну інформацію. Водний сектор України потребує значних інвестицій на оновлення основних фондів підприємств водопостачання та водовідведення, реконструкцію і розвиток інженерної інфраструктури, впровадження новітніх технологій, покращення якості послуг тощо. В статті аналізуються проблеми, які обмежують можливість мобілізації інвестицій для цього сектору в світі, існуючі механізми фінансування інвестиційних потреб водного сектору України за джерелами залучення коштів. Авторами запропоновано шляхи подолання деяких інституційних та ринкових бар'єрів в розбудові ринку «зелених» облігацій у водному секторі України. *Ключові слова:* «зелені» облігації, «голубі» облігації, емітенти, водний сектор, сталий розвиток.

Green bonds as an additional mechanism for investment in the water sector of Ukraine. Bondar O., Krylova I., Madzhd S., Zakorchevna N.

«Green» bonds are one of the popular sustainable investment vehicles and the climate bond market is expected to flourish in the near future. «Green» bonds are gaining popularity among environmentally responsible savvy investors. According to the International Finance Corporation (IFC), the potential for green finance in Ukraine is $73 billion by 2030. The water sector is expected to become a key investment area for «green» bonds as the market grows. To achieve this level, new tools are needed to help: issuers meet investor demand for bonds; investors to recognize such bonds; governments to support investment in such bonds. Therefore, building a sustainable basis for issuing «green» bonds in the water sector is critical as it will help raise the level of information about the health and investment opportunities of the water sector, giving investors the confidence that the funds will be used to generate sound change solutions. climate. This article reviews the literature from the «green» bond market to highlight the challenges of the water sector and provide useful information on the role of «green» investment in developing financial markets and promoting sustainable offerings to investors, key players in the «green» bond market, local governments, policy makers some useful information. The water sector of Ukraine needs significant investments for the renewal of fixed assets of water supply and sanitation enterprises, the reconstruction and development of engineering infrastructure, the introduction of new technologies, the improvement of the quality of services, etc. The article analyzes the problems that limit the possibility of mobilizing investments for this sector, the existing mechanisms for financing the investment needs of the Ukrainian water sector by sources of funds. The authors propose ways to overcome institutional and market barriers in the development of the «green» bond market in the water sector of Ukraine. *Key words:* «green» bonds, «blue» bonds, issuers, water sector, sustainable development.

Постановка проблеми. Україна приєдналася до Цілей сталого розвитку і Паризької угоди, тому має здійснити перехід до «зеленої» економіки, що передбачає: досягнення всеохоплюючого та рівного доступу до безпечної та економічно доступної питної води для всіх до 2030 року; впровадження заходів з енергоефективності, енергозбереження; перехід до відновлювальної енергетики, низьковуглецевого розвитку тощо. Реалізація екологічних «зелених» проектів потребує значних інвестицій, а обмеженість фінансових можливостей обумовлює необхідність нових форм і методів організації інвестицій у сталий розвиток. Альтернативним та ефективним фінансовим інструментом ринку капіталів, який використовується для «зелених» проектів, пов'язаних з вирішенням проблеми зміни клімату, є «зелені» облігації. Отже, важливо визначити чи сприятимуть «зелені» облігації залученню інвестицій у водний сектор України.

Актуальність дослідження. Проекти екологічного спрямування, що мають багато безперечних переваг для поліпшення добробуту суспільства, потребують значних довгострокових інвестицій. Таке фінансування нелегко отримати від української банківської системи та на місцевому ринку капіталу. Для вирішення цього питання Україна запроваджує новий, але перспективний інструмент – «зелені» облігації. Вони визначаються як будь-який тип облігацій, надходження від розміщення яких будуть використовуватися вмнятково для фінансування або рефінансування нових та/або існуючих прийнятних «зелених» проектів, що мають чіткі екологічні переваги [21]. В інших аспектах «зелені» облігації схожі на звичайні облігації. Зокрема, ціноутворення та витрати є аналогічними, облігації розміщуються у біржовому лістингу, торгуються та регулюються так само, як і інші цінні папери цього типу. Емітентами «зелених» облігацій можуть бути приватні компанії та фінансові установи, міжнародні банки розвитку, муніципалітети, держава.

Банки та великі інвестиційні компанії у світі зацікавлені у купівлі «зелених» облігацій, тому що екологічні ризики для фінансистів – це прямі матеріальні втрати, і багато фінансових інститутів беруть на себе додаткові екологічні та кліматичні зобов'язання. Інвесторам важливо розуміти рівень ризикованості проекту, який вони планують фінансувати, або, навпаки, розуміти позитивні екологічні та кліматичні ефекти від проекту. Для приватних осіб купівля «зелених» облігацій – це дохід від цінних паперів та внесок у більш зелене та світле майбутнє. За оцінками Міжнародної фінансової корпорації (IFC), потенціал «зеленого» фінансування в Україні складає 73 млрд. доларів до 2030 року [18]. Щоб досягти такого рівня, потрібні нові інструменти, які допоможуть: емітентам задовольняти попит інвесторів на облігації; інвесторам визнати такі облігації; уряду підтримати інвестицій у такі облігації. Тому, створення стійкого підґрунтя для випуску «зелених» облігацій у водному секторі має вирішальне значення, оскільки це допоможе підвищити інформаційний рівень про стан та інвестиційні можливості водного сектору, що дасть інвесторам впевненість у тому, що кошти буде використано для вироблення надійних рішень в галузі зміни клімату. Зазначене визначає актуальність цього дослідження.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Здійснене дослідження щодо можливості реалізації «зелених» проектів та впровадження «зелених» облігацій у водному секторі в Україні забезпечує можливість подальшого вивчення цієї проблеми із зосередженням зусиль учених на розв'язанні не вирішених завдань. Практична значимість роботи полягає у системному узагальненні та аналізі сучасного стану та особливостей впровадження «зелених» облігацій у водному секторі в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші «зелені» облігації випустив Європейський інвестиційний банк (ЄІБ) у 2007 р. під назвою «Бонди кліматичної спрямованості» і були призначені для фінансування проектів у галузі альтернативних джерел енергії та підвищення енергоефективності. У 2008 р. Міжнародний банк реконструкції та розвитку (МБРР) впровадив облігації, що вже безпосередньо були марковані як «зелені» (*Green Bonds*) [22]. З цього часу «зелені» облігації почали розглядатися як інструмент залучення інвестицій в екологічні проекти. В період з 2007 по 2013 рік ринок «зелених» облігацій значною мірою керувався наднаціональними емітентами – міжнародними банками розвитку (Європейським інвестиційним банком, Світовим банком), оскільки бракувало узгодженого у всьому світі визначення «зелених» облігацій та спільної основи установок для цього інструменту [7]. У 2014 році консорціумом інвестиційних банків було прийнято Принципи зелених облігацій (*Green Bond Principles*), як керівні засади добровільного процесу, призначеного для широкого користування на ринку. Мета їх запровадження – підвищення та просування стандартів прозорості та розкриття інформації. Наразі такі принципи визнаються на міжнародному рівні та широко використовуються для розробки національних стандартів та рекомендацій щодо «зелених» облігацій у всьому світі. Ухвалене на міжнародному рівні визначення «зелених» облігацій забезпечується принципами «зелених» облігацій, тобто певним набором добровільних рекомендацій. Ці рекомендації розроблені представниками міжнародного фінансового сектору за допомогою Міжнародної асоціації ринків капіталу (*International Capital Market Associa tion (ICMA*).

Аналіз наукових публікацій свідчить про зростання наукових досліджень теми «зелених» облігацій в усьому світі за останні роки. Наприклад, 2020 рік був найбільш продуктивним, коли було здійснено 32 із 53 іноземних досліджень, а в 2018 році були опубліковані одні з самих новаторських робіт, які лягли в основу подальших наукових досліджень [4]. Серед українських науковців, які займаються розробкою інституційних засад для реалізації «зелених» проектів та запровадження ринку «зелених» інвестицій можна виділити О. Клименко, С. Малу [16], М. Гріцишина [13], А. Фролова [23], О. Веклича [12], Я. Чекера, В. Кулініча [24], Я. Підвисоцького [19] та ін.

Мета статті полягає у дослідженні особливостей водного сектору як сектору «зеленого» фінансування, проблем узгодження водної безпеки та клімату, можливостей різного фінансування водного сектору в Україні.

Виклад основного матеріалу. З метою створення інституціональної бази для функціонування ринку «зелених» облігацій, було прийнято Закон України № 738-IX від 1 липня 2021 року «Про ринки

капіталу та організовані товарні ринки», яким запроваджено «зелені» облігації та встановлено правила для учасників ринку. У цьому Законі «зелені» облігації визначено, як облігації, проспект (рішення про емісію, а для державних облігацій України – умови розміщення) яких передбачає (передбачають) використання залучених коштів виключно на фінансування екологічного проекту або окремого його етапу. Згідно із статтею 18 цього Закону до екологічного проекту належить: проект у сфері альтернативної енергетики, енергоефективності, мінімізації утворення, утилізації та переробки відходів, впровадження екологічно чистого транспорту, органічного землеробства, збереження флори і фауни, водних і земельних ресурсів, адаптації до змін клімату, а також інший проект, спрямований на захист навколишнього природного середовища, впровадження екологічних стандартів, скорочення викидів у навколишнє природне середовище [20].

На підзаконному рівні Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку 7 липня 2021 року схвалила рекомендації щодо реалізації або фінансування проектів екологічного спрямування шляхом емісії «зелених» облігацій [21]. Згідно із цими рекомендаціями розвиток ринку «зелених» облігацій в Україні передбачає: 1) переорієнтування потоків капіталу на стійкі інвестиції для досягнення сталого та інклюзивного зростання; 2) управління фінансовими ризиками, що виникають внаслідок зміни клімату, виснаження ресурсів, деградації довкілля та соціальних проблем; 3) стимулювання прозорості у фінансах та економіці в цілому із зосередженням уваги на довгострокових прибутках. До перспективних секторів «зеленого» фінансування в Україні віднесено воду (збір, очистка, зберігання, очищення стічних вод, доступ до води) [21].

Вода є важливим фактором та відправною точкою для успішних і стійких дій у боротьбі зі зміною клімату. Тому дуже важливо мати чітко визначені критерії «води», як об'єкта кліматичних «водоємних» облігацій. Сучасна економіка характеризується сильною «водоємністю»: ресурси прісної води необхідні для задоволення потреб у водопостачанні та водовідведенні, для більшості видів виробництва енергії, для сільського господарства, а також для промислових та виробничих потреб. Водна інфраструктура відіграє фундаментальну роль у стійкій економіці із низьким рівнем викидів вуглецю. Багато інвесторів і реформаторів, які приймають рішення, розглядають «воду» лише як сектор транспортування, очищення та зберігання води. Однак «вода» природним ресурсом, який охоплює багато секторів, своєрідним економічним та екологічним «з'єднувачем».

З точки зору пом'якшення наслідків зміни клімату, «вода» та «водна інфраструктура» часто мають тісний зв'язок з викидами вуглецю. Більшість форм виробництва енергії є водоємними, тоді як очищення та транспортування води (наприклад, іригація, транспорт) самі по собі є енергоємними. Таким чином, зусилля зі скорочення споживаної енергії та/або кількості очищеної води можуть вплинути на викиди парникових газів і зробити важливий внесок у швидку декарбонізацію глобальної економіки. Крім того, адаптація до зміни клімату та стійкість до зовнішніх впливів є новими аспектами управління водними ресурсами. Активи «водної інфраструктури», які спроектовані та експлуатуються для забезпечення адаптації та стійкості, є найновішим типом інвестицій у водні ресурси. Іншим не менш важливим типом інвестицій є підходи до інтеграції екосистем у системи управління водними ресурсами або розвитку екосистем (наприклад, водні «рішення» для боротьби з повенями, очищення та зберігання води тощо). Адаптація існуючих та природних систем до майбутнього клімату або будівництво та інтеграція зелених, сірих та гібридних рішень для забезпечення ефективної адаптації мають важливе значення, враховуючи «верховенство води» у сучасній економіці. Мільярди доларів необхідні для «сірої інфраструктури» (водосховища та трубопроводи) і для «природної інфраструктури» (річки, озера та вододіли) [2]. Можливості «водної інфраструктури» як «сірі», так і «зелені» надання надійних і стійких послуг, що необхідно для досягнення Цілей сталого розвитку та Паризької угоди [10].

За визначенням консорціуму *Climate Bonds Initiative, AGWA, Ceres, CDP і Інстиутуту світових ресурсів (World Resources Institute (WRI)*«водна інфраструктура» у контексті зміни клімату не завжди відноситься до виготовлених чи побудованих об'єктів з бетону, каменю та сталі. Біологічні та геологічні системи (екогідрологічні системи), завжди забезпечували широкий спектр екосистемних послуг для населених пунктів. На всьому циклі кругообігу води еколого-гідрологічні системи являють собою своєрідну «водну інфраструктуру» – річки та озера, а також водоносні горизонти, підземні води, снігові покриви та льодовики, живі та неживі системи, що становлять екосистеми. Ця «природна» водна інфраструктура має важливе значення для широкого спектру водних послуг і все більше інтегрується у формальні системи управління водними ресурсами як «зелена» та гібридна інфраструктура [10].

Вплив зміни клімату на кругообіг води та водну безпеку може бути комплексним та супроводжуватися різними передбачуваними та непередбачуваними ризиками, які особливо важливі для водних ресурсів, інвесторів та управлінців.

Україна опинилася на порозі значного дефіциту наявних водних ресурсів для життєзабезпечення населення та економіки, що продемонструвала гідрологічна посуха 2020 року [14]. З іншого боку – гостро постало питання гігієни і санітарії під час пандемії, викликаної COVID – 2019. А військове вторгнення Росії на територію України у 2014 та 2022 роках, катастрофічні наслідки обстрілів життєво важливої

інфраструктури, у тому числі водних об'єктів, додало непоправної шкоди водним ресурсам [15]. У результаті інтенсивних бойових дій в Україні, які спричинили значні руйнування мереж водо- та електропостачання, 4,6 млн. людей в Україні мають обмежений доступ до води. Загалом 6 млн. людей щодня ведуть боротьбу за доступ до питної води [25]. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України за шість місяців з початку вторгнення Росії в Україну збитки, завдані водним ресурсам оцінюють у 106,3 млрд. грн.

З одного боку, невизначеність, спричинена війною, значно ускладнює прогнозування правових, інституційних та економічних процесів на ринку облігацій, а також самі виконання зобов'язань щодо облігацій. Але з іншого боку, нова мотивація на розбудову «зеленої» економіки у пост воєнний період може прискорити впровадження реформ та розвиток ринку «зелених» облігацій.

«Зелені» облігації є будь-якими борговими інструментами, надходження від розміщення яких спрямовуються виключно на фінансування або рефінансування (повне або часткове) нових та/або існуючих «зелених» проектів і які відповідають чотирьом ключовим елементам Принципів Зелених Облігацій (ПЗО), а саме: використання коштів, процес оцінки та відбору проектів, управління коштами і звітність, а також рекомендації щодо використання незалежних оцінок. ПЗО посилаються на категорії допустимих екологічних проектів, що сприяють досягненню п'яти екологічних цілей високого рівня: 1) пом'якшення наслідків зміни клімату; 2) адаптація до зміни клімату» 3) збереження природних ресурсів; 4) збереження біорізноманіття; 5) запобігання та контроль забруднення. За механізмом дії виділяють чотири основні види «зелених» облігацій: 1) стандартні облігації, кошти від яких спрямовуються на «зелені» проекти (стандартний борговий інструмент з правом вимоги до емітента); 2) «зелені» облігації, прив'язані до доходів: боргове зобов'язання без права регресу до емітента, в якому кредитний ризик прив'язаний до грошових надходжень, що є предметом забезпечення за рахунок доходів, винагород, податків тощо (надходження від розміщення таких облігацій витрачаються на «зелені» проекти, які можуть бути як пов'язані з джерелами таких грошових надходжень, так і не пов'язані з ними); 3) «зелені» облігації проектного фінансування: облігації з правом або без права регресу до емітента спрямовані на фінансування одного або декількох «зелених» проектів, інвестор за якими ризики, пов'язані з проектами; 4) «зелені» секюритизовані облігації: облігації, забезпечені одним або кількома «зеленими» проектами та включаючи, але не обмежуючись облігаціями, цінними паперами, що забезпечені активами, іпотекою, тощо [24].

Завданням ринку «зелених» облігацій є забезпечення ключової ролі ринків капіталу у фінансуванні проектів, що сприяють розвитку екологічної стійкості. ПЗО сприяють забезпеченню цілісності та одноманітності ринку «зелених» облігацій за допомогою встановлення стандартів прозорості, розкриття інформації та звітності, які призначені для використання учасниками ринку та покликані стимулювати надання інформації, необхідної для збільшення обсягу інвестицій у «зелені» проекти, орієнтуючись на цільове використання надходжень від розміщення зелених облігацій, ПЗО націлені на підтримку емітентів, що змінюють свою бізнес-модель у напрямку підвищення екологічної стійкості за допомогою реалізації конкретних проектів.

Одним із прикладів випуску «зелених» облігацій у водному секторі є компанія *Anglian Water*, перша комунальна компанія у Великій Британії, яка випустила «зелені» облігації в 2017 році і з тих пір залучила «зелених» облігацій на суму 1103 млн. фунтів стерлінгів. Компанія фінансує проекти з управління водними ресурсами та схеми стійкості до посухи та повеней та розділила свій інвестиційний план на 12 категорій відповідно до їх екологічних та соціальних характеристик. Це дозволяє банку приєднуватися до різних пулів інвесторів з різними пріоритетами щодо фінансової, соціальної та екологічної віддачі [1].

Іншим прикладом є «зелена» облігація, випущена комунальною компанією водопостачання *Central Arkansas Water у* США для фінансування придбання та захисту лісових угідь для збереження та покращення якості води у 2020 році. Компанія уклала партнерську угоду з *Encourage Capital* та Інститутом світових ресурсів для залучення капіталу від приватних інвесторів через свої облігації на суму 31,8 млн. доларів США, яка буде погашена інвесторам під 2,14% річних. Ця облігація є першою сертифікованою «зеленою» облігацією, що призначена для придбання та захисту лісів спеціально для забезпечення чистої питної води [11].

Проявляючи турботу про водні ресурси Землі світові інвестори розширили ринок екологічних облігацій, випустивши «блакитні» облігації. Як і «зелені» облігації, «блакитні» облігації є борговими інструментами, що випускаються національними урядами чи міжнародними банками розвитку. Гроші, отримані від цих облігацій, використовуються для здійснення діяльності, що сприяє збереженню та примноженню морських ресурсів. Світовий банк надає безкоштовну кредитну гарантію покупцям блакитних облігацій. Це означає, що якщо сторона-емітент не може погасити кошти, які вона запозичила, то Світовий банк погасить кредит. Оскільки Світовий банк є установою із практично необмеженим фінансуванням, гарантія значно знижує ризик інвесторів [9].

За інформацією *Climate Bond Initiative*, які стежать за глобальним випуском «зелених» облігацій, водний сектор становить лише незначну частку –

9% від усіх інвестицій. Зокрема, залучені кошти від випуску «зелених» облігацій (в тому числі позик) в світі були спрямовані на фінансування зеленої енергетики (31,5%), енергоефективність будівель (29,3%), в транспортний сектор (20,2%), водокористування (9,3%), переробку і утилізацію відходів (3,5%), землекористування (3,5%) [5]. Причиною такої відносно невеликої частки у водному секторі є певні обмеження для інвестицій, пов'язаних з водокористуванням. Зазвичай облігації в основному використовуються як інструменти рефінансування, тоді як проектні облігації становлять лише 1% від загального ринку облігацій (і менше 50% ринку «зелених» облігацій) [3]. Крім того, «зелені» облігації здебільшого доступні для великих, кредитоспроможних емітентів, які можуть забезпечити достатній рівень доходу, пов'язані з їх погашенням. Міжнародний ринок облігацій віддає перевагу сумам від 300 до 500 мільйонів євро, через що малим і середнім компаніям або муніципалітетам (які є власниками підприємств водопостачання та водовідведення) важко отримати доступ до облігаційного фінансування [3]. У цьому контексті важлива роль відводиться посередникам, які сприяють залученню та співпраці різних учасників у інвестуванні та механізмах фінансування водних ресурсів [8]. Одним із прикладів є Міжнародна програма управління водними ресурсами (*Water Stewardship Programme (IWaSP*), яка визначає, розробляє та впроваджує заходи для зменшення спільних водних ризиків між зацікавленими сторонами, включаючи компанії, громади та уряди. Програма співпрацює з понад 30 компаніями, у тому числі міжнародними з виробництва напоїв та агропродовольчої продукції, такі як Coca-Cola та Marks and Spencer, а також різні національні компанії, і залучила матеріали, обладнання та фінансування на суму понад 3,3 мільйона євро від приватного сектору, що підтримує покращення управління водними ресурсами, будівництво очисних споруд та розбудову потенціалу [8]. Іншим прикладом є «облігації зеленого міста» – це «зелені» облігації, випущені муніципальними органами влади або компаніями, що повністю або частково належать муніципальним органам влади. Наприклад, «облігації зеленого міста» деяких міст в США були використані для фінансування проектів водної інфраструктури, починаючи від масової заміни лічильників води в домогосподарствах до будівництва насосно-регулюючого водного парку [6].

Висновки. «Зелені» облігації безумовно можуть стати потужним інструментом залучення інвесторів до водного сектору України у післявоєнний період. Мобілізація коштів, необхідних для фінансування сталого «зеленого» економічного зростання, потребує реорганізації фінансової та правової системи, інституційних змін, визначення та встановлення нових стандартів інвестування. Створена нормативна база для ринку «зелених» облігацій є лише невеликим кроком на шляху розвитку ринку «зелених» облігацій у водному секторі України (як і інших секторах). В той час коли водні компанії та муніципалітети в розвинених країнах активно випускають «зелені» облігації для фінансування своїх кліматичних проектів, Україна має подолати різні інституційні та ринкові перепони в розбудові ринку «зелених» облігацій. Серед ключових бар'єрів, які, на нашу думку, перешкоджають активному розвитку «зелених» облігацій у водному секторі (зокрема) можна визначити: війну, відсутність знань про функціонування «зелених» облігацій, недосконалу інституційну базу управління «зеленими» облігаціями, проблему достатнього рівня доходу, валюти випуску, високі транзакційні витрати, пов'язані з випуском «зелених» облігацій, застій ринку муніципальних облігацій, значну дефрагментацію підприємств водопостачання та водовідведення, відсутність ефективного правового регулювання як фундаментальної основи державної політики тощо. Потенційні заходи із запровадження «зелених» облігацій у водному секторі можуть включати: розроблення стратегії розвитку водного сектору, план відновлення «водної інфраструктури», ефективну координацію між міністерствами фінансів, охорони навколишнього середовища, розвитку громад та територій, державним водним агентством; ефективне використання банків розвитку як міжнародних інститутів фінансування; надання гарантій органами місцевого самоврядування для випуску «зелених» облігацій, а також просування ринків муніципальних облігацій тощо.

Література

1. Anglian water (2021). *Annual Integrated Report 2021*. URL: https://www.anglianwater.co.uk/siteassets/household/about-us/air-2021.pdf.pdf(дата звернення 10.07.2022).
2. Climate Bonds an innovative financial tool for the water sector. 2021. *OECD. Alliance for Global Water Adaptation (AGWA)*. URL: https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/Water-Practice-21-Climate-Bonds-International.pdf
3. EU Technical Expert Group on Sustainable Finance Usability Guide. *TEG (2020)*. URL: https://ec.europa.eu/info/publications/sustainable-finance-technical-expert-group_en
4. Giuseppe Cortellini, Ida Claudia Panetta. 2021. Systematic Literature Review for Future Research Agendas. *Journal of Ri sk and Financial Management 14,589*. URL: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-ZB4VVuwMiwsJ:https://www.mdpi.com/19118074/14/12/589/pdf&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ua(дата звернення 08.07.2022).
5. Green Bond Market Summary, 2019.*CBI (2020)*. URL: https://www.climatebonds.net/files/reports/2019_annual_highlights-final.pdf(дата звернення 10.07.2022).

6. Mandate of the Special Rapporteur on the human rights to safe drinking water and sanitation. 2021. URL: https://www.ohchr.org/sites/default/files/-Documents/Issues/Water/PlanningReportWater/input-nonstates/Hector-Herrera.docx&cd=18&hl=ru&ct=clnk&gl=ua(дата звернення 10.07.2022).
7. Monk A., PerkinsR. 2020. What explains the emergence and diffusion of green bonds? *Energy Policy.* Vol. 145. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142152030375X?via%3Dihub https://asianbondsonline.adb.org/green-bonds/pdf/green-bonds-factsheet-en.pdf(дата звернення 08.07.2022).
8. OECD. 2021. The role of intermediaries to facilitate water-related investment. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/the-role-of-intermediaries-to-facilitate-water-related-investment_0d5a7748-en(дата звернення 10.07.2022).
9. SOVEREIGN BLUE BONDS. Asian Development Bank. 2021. URL: https://www.adb.org/sites/default/files/publication/731026/adb-sovereign-blue-bonds-start-guide.pdf(дата звернення: 01.07.2022).
10. Water Infrastructure Criteria under the Climate Bonds Standard. Background Paper. 2018. URL: https://www.thegpsc.org/sites/gpsc/files/water-infrastructure-criteria-under-climate-bonds-background.pdf&cd=18&hl=ru&ct=clnk&gl=ua(дата звернення 10.07.2022).
11. Why Investors Brought the First Certified Green Bond to Protect Forests for Drinking Water. *WRI*(2021). URL: https://www.wri.org/insights/why-investors-bought-first-certified-green-bond-protect-forests-drinking-water (дата звернення 10.07.2022).
12. Веклич О. «Зелений» банкінг: сутність, механізм та інструменти реалізації. URL: http://razumkov.org.ua/uploads/article/2019_ZELEN_-INVEST.pdf. (дата звернення 08.07.2022).
13. Гріцишина М. Практичний кейс: інвестиції у «зелену» генерацію та «розумні» мережі Донецької області. URL: http://razumkov.org.ua/-uploads/article/2019_ZELEN_INVEST.pdf (дата звернення 05.07.2022).
14. Держводагентство вперше може обмежити права водокористувачів, 2020. *База даних: Держводагенство України*. URL: https://www.davr.gov.ua/news/-derzhvodagentstvo-vpershe-mozhe-obmezhiti-prava-vodokoristuvachiv (дата звернення 03.06.2022).
15. Доступ до води в охоплених конфліктом районах Донецької та Луганської областей, 2015 р. URL: https://www.osce.org/uk/ukraine-smm/183191?download=true (дата звернення 20.04.2022).
16. Клименко О.М., Мала С.І. «Зелені» облігації, як перпективний інструмент залучення інвестицій в екологічні проєкти в Україні. Економічний вісник університету. 2020. Вип. № 45. URL: file:///C:/Users/user/Downloads/zelenye-obligatsii-kak-perspektivnyy-instrument-privlecheniya-investitsiy-v-ekologicheskie-proekty-v-ukraine%20(1).pdf (дата звернення 08.07.2022).
17. Національний банк та IFC спільно працюватимуть над розвитком «зеленого фінансування». Національний банк України. 16.04.2021. URL: https://bank.gov.ua/ua/news/all/natsionalniy-bank-ta-ifc-spilno-pratsyuvatimut-nad-rozvitkom-zelenogo-finansuvannya (дата звернення: 01.07.2022).
18. Підвисоцький Я. Новітні фінансові технології мобілізації інвестицій у «зелені» проєкти. URL: http://razumkov.org.ua/uploads/-article/2019_ZELEN_INVEST.pdf. (дата звернення 08.07.2022).
19. Про ринки капіталу та організовані товарні ринки: Закон України від 23.02.2006 № 3480-IV. *База даних: Законодавство України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/-laws/show/3480-15#Text (дата звернення: 01.07.2022).
20. Про схвалення Рекомендацій щодо реалізації або фінансування проєктів екологічного спрямування шляхом емісії зелених облігацій: рішення НКЦПФР від 07.07.2021 №493. *База даних: офіційний сайт НКЦПФР*. URL: https://www.nssmc.gov.ua/document/?id=12423398(дата звернення: 08.06.2022).
21. Уряд випускає «зелені» облігації: стало відомо, як українці на них збагатяться. 2019. ECOBUSINESS. URL: https://ecolog-ua.com/news/uryad-vypuskaye-zeleni-obligaciyi-stalo-vidomo-yak-ukrayinci-na-nyh-zbagatyatsya (дата звернення: 08.06.2022).
22. Фролов А. Формування державної політики організації та розвитку ринку «зелених» облігацій в Україні. URL: http://razumkov.org.ua/uploads/-article/2019_ZELEN_INVEST.pdf. (дата звернення 08.07.2022).
23. Чекер Я., Кулініч В. Екологічні інвестиції: чи з'являться в Україні «зелені» облігації. URL: https://mind.ua/openmind/20202397-ekologichni-investiciyi-chi-z-yavlyatsya-v-ukrayini-zeleni-obligaciyi. (дата звернення 08.07.2022).
24. Шість мільйонів українців мають обмежений доступ до питної води. ЮНІСЕФ. 2022. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3461130-sist-miljoniv-ukrainciv-maut-obmezenij-dostup-do-pitnoi-vodi-unisef.html (дата звернення 27.06.2022).

УДК 502.333
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.2

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

Андрєєв В.І., Случак О.І., Случак О.І., Алексєєва А.О., Крисінська Д.О.
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, 54000, м. Миколаїв
avi@chmnu.edu.ua, slu4ok@gmail.com, ill69mill@gmail.com,
anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua, d_krysinska@chmnu.edu.ua

Авторами досліджено особливості сучасних підходів до визначення вартості екологічних послуг водних екосистем. Встановлено необхідність розробки методики автоматичного розрахунку вартості екосистемних послуг, адже дане питання є не достатньо вивченим в наукових публікаціях, як українських так і закордонних вчених. Метою дослідження була розробка методики обчислення економічного еквіваленту екосистемних послуг з застосуванням чітко визначеного набору величин, що дозволить автоматично корегувати ціну екосистемних послуг в реальному часі. Об'єкт дослідження – методики обліку екосистемних послуг водойм, предмет – автоматизація та токенізація екосистемних послуг річки Південний Буг. Використовуючи існуючу систему еколого-економічного обліку SEEA EEA, сучасні програмні пакети, дані власних експедиційних досліджень було сформовано методику оцінювання екосистемних послуг, що базується на використанні математичних моделей властивостей екосистеми водного об'єкту для розрахунку максимальних величин вартості екологічних послуг, використанні поправочних коефіцієнтів для формування рівноважної моделі та застосуванні реальних вимірювань для розрахунку реальних параметрів. Це дозволило створити метод розрахунку упущеної вигоди від невідповідності моделі ідеальним параметрам, а також розрахувати потенційні та реальні доходи від екосистемних послуг. В процесі дослідження створено модель фотосинтезу та застосовано понижуючі коефіцієнти на основі індексу екологічної безпеки водойми для отримання реалістичної величини біопродуктивності та відповідно обчислено реалістичну здатність водойми до депонування карбону. В результаті отримано 0,682913 тонн на гектар, що дає 66,25 дол/га за існуючими розцінками. За тією ж моделлю по схемі харчового ланцюгу розраховано біомасу риби та середню ринкову вартість екосистемної послуги як 94,52 дол/га. Ряд інших параметрів розраховано на основі статистичної інформації. Запропоновано концепцію токенізації отриманих моделей для формування ринку екологічної криптовалюти (NFT), що має стимулювати інфраструктурні проєкти та розростання системи моніторингу. В підсумку закладено основу для подальшого розширення розробленої концепції та продовження наукових досліджень, що дозволить створити систему не тільки реального оцінювання вартості послуг водних об'єктів, а головне – встановити справедливе відшкодування завданої шкоди та підвищити розуміння цінності водних екосистем. *Ключові слова:* екологічна безпека, водойми, моделі оцінювання, токенізація, NFT, депонування карбону.

Development of the methodology for assessment of ecosystem services of river ecosystems on the example of the Southern Bug River. Andreev V., Sluchak O., Sluchak O., Alekseeva A., Krysinska D.

The authors investigated the peculiarities of modern approaches to determining the value of ecological services of aquatic ecosystems.

The need to develop a methodology for automatically calculating the cost of ecosystem services has been established, because this issue is not sufficiently studied in scientific publications.

The purpose of the study was to develop a methodology for calculating the economic equivalent of ecosystem services using a clearly defined set of values that would allow for automatic real-time price adjustments of ecosystem services.

The object of research is methods of accounting for ecosystem services of water bodies, the subject is automation and tokenization of ecosystem services of the Southern Bug River. Using the existing SEEA EEA ecological and economic accounting system, modern software packages, data from own expedition research, a methodology for evaluating ecosystem services was formed.

The method proposed by the authors is based on the use of mathematical models of the properties of the ecosystem of the water body to calculate the maximum values of the cost of ecological services, the use of correction coefficients for the formation of an equilibrium model, and the application of real measurements to calculate real parameters.

This made it possible to create a method for calculating the lost benefit from the non-compliance of the model with ideal parameters, as well as to calculate potential and real income from ecosystem services.

In the process of research, the authors created a model of photosynthesis and applied reducing coefficients based on the ecological safety index of the reservoir to obtain a realistic value of bio productivity.

The realistic ability of the water body to deposit carbon was calculated. As a result, 0.682913 tons per hectare were obtained, which gives 66.25 dollars/ha at current rates.

Using the same food chain model, the authors calculated fish biomass and the average market value of the ecosystem service as $94.52/ha. A number of other parameters are calculated on the basis of statistical information.

The concept of tokenization of the received models is proposed for the formation of the ecological cryptocurrency (NFT) market, which should stimulate infrastructure projects and the growth of the monitoring system.

As a result, the foundation has been laid for the further expansion of the developed concept and the continuation of scientific research, which will allow the creation of a system not only for the real assessment of the value of the services of water bodies, but most importantly – to establish a fair compensation for the damage caused and to increase the understanding of the value of water ecosystems. *Key words:* environmental security, reservoirs, valuation models, tokenization, NFT, carbon sequestration.

Постановка проблеми. Проблематика відсутності єдиної системи фінансового аудиту екосистемних послуг (ЕП) є однією з ключових проблем регулювання природокористування в рамках сталого розвитку. Необхідність чисельного вираження вигоди, що приносить екосистема річки є особливо важливою при визначенні обсягів екосистемних платежів, відшкодування шкоди, завданої екосистемі, встановленні плати за природокористування та обґрунтуванні необхідності затрат на певні інфраструктурні проєкти.

Актуальність дослідження. Основна методологія, яка наразі використовується в проєктах під егідою ООН базується на системі еколого-економічного обліку (SEEA EEA) [1], а також ряді методик, розроблених в рамках Проєкту економіки екосистем та біорізноманіття (TEEB) [2], проте, попри чітко визначену послідовність дій при здійсненні обліку екосистемних послуг, методики безпосереднього розрахунку вказаних параметрів зазвичай розробляються індивідуально. Однозначних формул для розрахунку економічної вигоди від використання екосистемних послуг в науковій періодиці та методичних рекомендаціях вказаних вище проєктів ООН знайти не вдалось, тому їх розробка лишається актуальною.

Об'єкт дослідження – методики обліку екосистемних послуг водойм.

Предмет дослідження – автоматизація та токенізація екосистемних послуг річки Південний Буг.

Мета дослідження – розробка методики обчислення економічного еквіваленту екосистемних послуг з застосуванням чітко визначеного набору величин, що дозволить автоматично корегувати ціну екосистемних послуг в реальному часі.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Створити список екосистемних послуг для водного об'єкту (тільки тих на які можна впливати через інфраструктурні заходи з вказуванням таких заходів).

2. Розробити формули розрахунків вартості екосистемних послуг для кожного з вказаних в переліку параметрів.

3. Запропонувати механізм додаткового залучення коштів на інфраструктурні екологічні проєкти з використанням розробленої системи розрахунків.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведене авторами дослідження різних методик оцінювання екосистемних послуг річкових екосистем, проведено в рамках виконання чергового етапу виконання НДР 0120U101959 «Науково-практичне обґрунтування та визначення стенобіонтного підходу щодо забезпечення національної екологічної безпеки водних екосистем України».

Практична значущість результатів дослідження полягає в створенні базових та динамічних моделей оцінювання екосистемних послуг, питома вартість яких розрахована для річки Південний Буг, що може стати взірцем для подібних досліджень інших річок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання оцінки екосистемних послуг водних об'єктів в науковій періодиці України розроблювалось дещо ширше для лісів, але і водним об'єктам було приділено певну увагу. Так для водно-болотних угідь подібні розрахунки проводили [3], [4], [5], для озер [6], для каскаду водосховищ [7], для водних об'єктів загалом [8].

Зазвичай виділяють три основні категорії екосистемних послуг [9] послуги постачання (матеріальні та енергетичні ресурси), регулюючі послуги (наприклад регулювання клімату, водності та вмісту карбону в атмосфері) та культурні послуги (інтелектуальні та рекреаційні). Водночас інколи [10] додатково виділяють ще підтримуючі послуги, проте їх можна також віднести до регулюючих.

Основним прикладним напрямком використання ЕП є [8]: виявлення зацікавлених сторін (постачальників та користувачів екосистемних послуг), оцінка та проведення переговорів щодо визначення компенсаційних заходів в зв'язку з користуванням екосистемними послугами.

Якщо окремо оглядати методологію для кожної з категорій, можна чітко встановити відсутність єдиної системи таких розрахунків [9].

Так платежі за екосистемні послуги при водозаборі [10] можуть бути ефективним інструментом сталого водокористування, але крім безпосередньої плати за забрану воду треба враховувати шкоду, нанесену ґрунтам через засолювання та ряд інших параметрів, що можуть завдавати збитки фермерським господарствам. Разом з тим необхідно враховувати енергетичну ефективність водозабору [11] та вторинний вплив на інші компоненти екосистеми.

Здатність екосистеми до самоочищення, як екосистемна послуга, має обов'язково бути врахована в загальній сумі розрахунків шкоди заподіяних забрудненням навколишнього середовища [12]. Крім того, варто визначати втрати інших типів ресурсів (затрати на очистку води для водокористування, загибель біоресурсів, втрата рекреаційної цінності і ін.).

Зазвичай рекреаційна цінність [13] являє собою елемент, який обчислюють з урахуванням середнього доходу від рекреаційної діяльності. Проте, на нашу думку, такі обчислення необхідно виконувати, використовуючи дані відвідування туристами певного об'єкта за розцінками реклами, адже основний дохід туристи приносять при оплаті свого проживання, харчування та інших потреб, тому оплата екосистемних послуг має включатись в дані витрати.

Розрахунок вигоди від біорізноманіття та генетичного різноманіття біотопів [14] є надзвичайно складною величиною, що потребує індивідуального підходу з урахуванням наявності та чисельності

видів, їх ролі в екосистемі та потенційної ролі в різних сферах життя людини. В той же час методика оцінки цінності геномів потребує додаткових складних досліджень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Подібні дослідження визначення вартості екологічних послуг водних об'єктів можна знайти в статтях таких науковців, як Васенко О. Г., Дегтярь Н. В., Назаренко О. М., Протасов О. О., Шевченко Г. М., та ін. [3, 4, 5, 6, 7, 8, 13]. Проте в попередніх публікаціях не приділялося достатньої уваги питанням можливості і необхідності автоматичного корегування ціни екосистемних послуг в реальному часі. Окрім того, не досліджувався такий практичний напрямок, як токенізації екосистемних послуг та формування ринку екологічних криптовалют. Адже саме така спрямованість може дозволити в недалекому майбутньому створити систему не тільки реального оцінювання вартості послуг водних об'єктів, а головне – встановити справедливе відшкодування завданої шкоди та підвищити розуміння цінності водних екосистем.

Новизна отриманих результатів дослідження полягає в тому, що розроблено методику обчислення еквіваленту екосистемних послуг з застосуванням чітко визначеного набору величин, що дозволяє автоматично корегувати ціну екосистемних послуг в реальному часі.

Матеріали та методи дослідження. В процесі розробки та інтерпретації моделей застосовувались програмні пакети *Excel, Curve Expert, Google Maps.*

При проведенні нашого дослідження, було використано систему еколого-економічного обліку SEEA EEA.

Окрім того, дані власних експедиційних досліджень 2021 року, проведених в рамках етапів виконання НДР 0120U101959 («Науково-практичне обґрунтування та визначення стенобіонтного підходу щодо забезпечення національної екологічної безпеки водних екосистем України») для визначення поправочних коефіцієнтів шляхом вимірювання ІЕБ (індексу екологічної безпеки) водойми.

Методика дослідження базується на використанні математичних моделей властивостей екосистеми водного об'єкту для розрахунку максимальних величин вартості екологічних послуг, використанні поправочних коефіцієнтів для формування рівноважної моделі та застосуванні реальних вимірювань для розрахунку реальних параметрів. Це дозволить створити метод розрахунку упущеної вигоди від невідповідності моделі ідеальним параметрам, а також розрахувати потенційні та реальні доходи від екосистемних послуг (наприклад, потенційна здатність водойми депонувати вуглець, та реальна здатність за NDVI-індексом, глибиною літоралі або на основі біомаси хлорофілу).

Отримавши всі необхідні параметри можна закласти основу для мобільного застосунку, що автоматично розраховуватиме та оновлюватиме таблицю екосистемних послуг.

Це стане передумовою для заходів з залучення коштів на проєкти рекультивації водойм.

Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що спираючись на означену методику можна буде створити ринок екологічних послуг на базі токенізації екологічної інфраструктури та системи моніторингу водних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Перш за все розробимо список екологічних послуг, впливати на які можна за допомогою інфраструктурних проєктів.

Основою більшості розрахунків буде використання енергетичного підходу в формуванні моделі питомого приросту ресурсів екосистеми.

Так було розроблено модель надходження сонячної енергії на одиницю площі водойми залежно від широти (1) з коефіцієнтами (табл. 2)

$$E = a + b \cdot COS(c \cdot L - d) \qquad (1)$$

За допомогою сонячного калькулятора розраховуємо тривалість сонячного дня на означеній широті та вираховуємо тривалість надходження сонячного світла. Звичайно, кут падіння сонячних променів, ступінь коливання та ряд інших параметрів впливають на надходження енергії, зменшуючи її. В даному випадку беремо розрахований середній поправочний коефіцієнт в 0,58.

Враховуючи це, лишається додати ККД фотосинтезу, який беремо за 1,26 % (для ціанобактерій 30 %).

Для розрахунків екологічної стехіометрії використовуємо формулу фотосинтезу (2):

$$6CO_2+6H_2O -(2872\ кДж)\rightarrow C_6H_{12}O_6+O_2 \qquad (2)$$

Унаслідок поглинання 264 г CO_2 утворюється 180 г глюкози та 192 г O_2.

Кількість світлих годин в вегетаційний період 3205,37. Завдяки цьому можемо отримати кількість енергії 2507059,1 кДж/м^2 з яких 18321,5881 кДж/м^2 асимілюється в процесі фотосинтезу. А це означає потенційну можливість поглинання 1684,16 г CO_2, утворення 1224,8 г O_2 та 1148,29 г біомаси за ідеальних умов. При цьому 1 га це 10000 м^2, тому на гектар припадатиме можливість депонування 16,8416 тонн вуглекислого газу на рік за ідеальних умов. На реальну ефективність росту біомаси впливає рівень перемішування, що розраховується у вигляді енергетичного індексу екологічної безпеки за санітарним пропуском та становить 0,14 з потрібних 0,29, тобто дає поправочний коефіцієнт 0,49. Також подібний коефіцієнт дає і токсикологічний відгук у вигляді токсикологічного індексу екологічної безпеки, що визначає категорію забрудненості водойми. У випадку з річкою Південний Буг він становить 0,31. Таким чином, отримуємо 2,5024 тонни на гектар. Проте дослідження проводимо для визначення

Таблиця 1

Типи екосистемних послуг та способи впливу на них

Тип	Екосистемна послуга	Спосіб впливу
Постачання	Продовольство (Риба, Водна рослинність, Молюски-фільтратори, об'єкти інсектофагії, змішана фауна)	Випускання малька, створення штучних рифів та ін. середовища для життя, підгодовування, биття лунок та заходи проти термоклину
	Сировина (пісок, очерет)	Заходи з берегоукріплення
	Лікарська сировина	Знищення інтродуцентів
	Біорізноманіття та генетичне різноманіття	Боротьба з інтродуцентами
	Питна вода та зрошення	Створення системи випаровування та конденсації морської води з транспортуванням до витоку, система фільтрів.
	Простір для аквакультури	Заходи з ізоляції аквакультури
	Енергія (кінетична для водотоків, енергія надлишку фітопланктону, місце для вітряків та сонячних батарей)	Контроль зарегульованості, механізм збору фітопланктону при цвітінні
Регулююча	Охолодження АЕС	Боротьба з тепловим забрудненням
	Саморегуляція екосистем	Запускання природних ворогів та інші методи боротьби з інтродуцентами
	Кліматорегулююча	Затінювання, вплив на відбиваючі властивості
	Водорегулюючі	Заходи з захисту від підтоплювання
	Асиміляційна	Прискорення самоочищення додатковою аерацією, геохімічні пастки
	Депонування вуглецю	Створення більш продуктивних штамів фітопланктону. Освітлення дна та додаткове перемішування
Культурна	Рекреаційна	Створення унікальних арт-інсталяцій з природних матеріалів на місці
	Культурна	Використання образів в мистецтві
	Оздоровча	Штучне культивування біотопів бактерій, що утворюють лікарські грязі
	Науково-освітня	Дослідження та експедиції, створення нормальної науково-туристичної бази.

Таблиця 2

Коефіцієнти функції приходу сонячної енергії

Місяць	Значення коефіцієнтів			
	a	b	c	d
Квітень	121,77	144,08	0,032	0,283
Травень	174,44	99,04	0,037	0,8099
Червень	239,595	45,788	0,055	1,774
Липень	244,243	41,52	0,058	1,957
Серпень	191,744	81,367	0,041	1,029
Вересень	102,213	160,82	0,029	0,9385
Жовтень	129,195	133,909	0,036	0,3826

значення депонування саме вуглецю, молекулярна маса якого становить 0,2729 від маси вуглекислого газу. Звідси отримуємо значення 0,682913 тонн на гектар. Плата за 1 т фіксованого вуглецю на сьогоднішній день становить 97 доларів. Це дає значення в 66,25 доларів на гектар від екосистемної послуги по депонуванню вуглецю.

Відповідно, загальна формула розрахунку для теоретичної моделі екосистемної послуги по депонуванню вуглецю матиме вигляд (3):

$$P_{C_{model}} = 0{,}2729 \cdot \Delta P_C \cdot \frac{264 \cdot \eta \cdot t \cdot E \cdot k_{RW}}{2872} \cdot S \cdot I_{Tox} \cdot I_E, \quad (3)$$

де η – ККД фотосинтезу; t – сума тривалості світлових днів за період без біологічної зими для означеної широти; E – питоме надходження сонячної енергії на метр квадратний; k_{RW} – коефіцієнт втрати енергії, що розраховується на основі відбиття, хвилювання та ряду інших факторів; S – площа досліджуваної ділянки водойми, або її площа водного дзеркала в цілому; I_{Tox} – токсикологічний індекс екологічної безпеки, що розраховується на основі відношення зафіксованої чисельності досліджуваних організмів відносно історичного максимуму; I_E – енергетичний індекс екологічної безпеки, що розраховується

за відношенням санітарного пропуску реального до зафіксованого та характеризує зарегульованість; ΔP_C – питома сума доходу від депонування тонни вуглецю, встановлена нормативами ООН.

Для реальних показників застосовуємо формулу 4:

$$P_{C\,real} = 0{,}2729 \cdot \Delta P_C \cdot \frac{264 \cdot M_{C_{fit}}}{180}, \quad (4)$$

де $M_{C_{fit}}$ – маса фітопланктону для досліджуваної площі водойми, розрахована за глибиною літоралі, концентрацією хлорофілу або NDVI-індексом.

В процесі розробки моделі екосистемної послуги з продовольства за основу обираємо лише такий аспект, як кількість виловленої риби, адже по іншим параметрам продовольства не ведеться регулярний облік. Виключенням може бути облік водоплаваючої птиці в мисливстві, але в такому випадку буде потрібно проводити додаткові дослідження, що ускладнить модель.

При розрахунку доходу від екосистемної послуги по вилову риби застосовується три змінні – питома кількість риби на гектар площі водного дзеркала водойми, площа водойми та усереднена ціна риби.

Для розрахунків моделі (5) було взято балансний питомий річний приріст біомаси риби з урахуванням поправочних коефіцієнтів (17,44 кг/га), розрахований за правилом екологічної піраміди на основі енергетичної моделі водойми.

$$P_{F_{model}} = \Delta P_F \frac{180 \cdot \eta \cdot t \cdot E \cdot k_{RW} \cdot S}{2872 \cdot 10 \cdot N \cdot S}, \quad (5)$$

де N – номер рівня екологічної піраміди, на якому знаходиться досліджуваний ресурс.

Для реальних розрахунків (6) беремо реальне добування риби у внутрішніх водних об'єктах за 2021 рік, що становить 22663 тонни. Їх площа 2420000 гектар. Це дає 9,37 кг з гектара і означає що ресурс річного приросту не вичерпується. Середню ціну риби візьмемо за 5,42 долара за кг. Таким чином отримуємо ціну екосистемної послуги для моделі в 94,52 дол./га, а для реальних виловів 50,79 дол./га.

$$P_{F_{real}} = \Delta P_F \frac{M_F}{S}, \quad (6)$$

де M_F– маса виловленої за рік риби.

При проведенні розрахунку екосистемної послуги по будматеріалам, у вигляді добування піску керуємося тим, що пісок є відновлюваним ресурсом, який поповнюється за рахунок намивання, тому величина річного твердого стоку є прямим показником відновлення даного ресурсу. Для річки Південний Буг дана величина становить близько 900 тис. тонн на рік. Для теоретичного розрахунку екосистемної послуги використовуємо формулу 7:

$$P_{S_{modell}} = \Delta P_S \frac{M_S}{S}, \quad (7)$$

де ΔP_S – величина річного твердого стоку; ΔP_S – ринкова ціна піску.

Це дає нам доступний рівень екосистемної послуги в 0,372 тонни на гектар, або 2,02 дол/га.

Обсяги річкового піску, що добуваються в Україні на рік становлять біля 14 млн тонн (ще стільки ж добувається нелегально, тому при розрахунках цифру подвоюємо). Розрахунок ведемо за формулою (8):

$$P_{S_{reall}} = \Delta P_S \frac{M_{\varpi S}}{S}, \quad (8)$$

де $M_{\varpi S}$ – обсяги добування піску на рік.

Беремо за основу площу водойм в 2 420 000 гектар. Тоді екосистемна послуга з добування піску становитиме близько 11,57 тонн з гектару на рік, що по нинішнім цінам становить 31-63 дол./га (беремо за 62,7). Це означає, що існуюча інтенсивність добування піску є проявом хижацького ставлення до екосистеми, адже добування перевищує відновлення.

Для теоретичного розрахунку екосистемної послуги від очерету, як будматеріалу, необхідно розрахувати площу теоретично оптимальних умов для росту. Це заболочена частина прибережної смуги не більше 2% площі водного дзеркала, тобто до 48400 га. При урожайності 12-16 т/га та ціні 2500 грн/т (67,57 $) отримуємо потенційний обсяг екологічної послуги на рівні в 16,22-21,62 дол./га середнє (18,92) за формулою (9):

$$P_{R_{model}} = \frac{\Delta P_R \cdot m_R \cdot S_R}{S}, \quad (9)$$

де ΔP_R – питома ціна очерету, що використовується як паливо в пелетах; S_R – урожайність очерету; m_R – площа заростей.

Окрім того, можна вивести дані про доступний ресурс за допомогою вимірювання площі, зайнятої заростями очерету на гугл-картах та використання означених довідкових даних про урожайність за тією ж формулою.

Лікарська сировина є одним з погано регульованих елементів природокористування. Якщо на комерційний збір лікарських рослин в лісах існує спеціальна рентна плата, а також ліміт для власного користування в 10 кг, то для річкової екосистеми таких обмежень не встановлено. Для визначення вартості екосистемної послуги зі збору лікарських рослин, необхідно проводити експедиційні вимірювання для визначення відсотку таких рослин в загальній структурі різнотрав'я в прирусловій частині фітоценозу та розраховувати загальну цінність екосистемних послуг зі збору лікарських росли, отримання насіннєвого матеріалу та сінокосу.

Для прируслової частини Південного Бугу характерне таке видове різноманіття різнотрав'я, а саме: костриця лучна (урожайність сіна 50–80 ц/га в 53–55 кормових одиниць); бекманія звичайна (зернова культура 150–200 кг/га та набивка матраців); китник лучний або лисохвіст (45–75 ц/га сіна та 1,5–4 ц/га насіння); очеретянка звичайна або злакова трава (енергетична культура, грамін в ній є шкідливим для худоби);

лепешняк великий (сіно, зерно та покривна культура); гірчак перцевий (кровоспинне, сечогінне, проти геморою та запорів); жовтець їдкий (засіб від туберкульозу шкіри, захворювання печінки, бронхіти, зубний біль, інсектицид); жовтець повзучий (отруйний, проти корости, бородавок, міозитів, подагри, ревматизму, пухлин, артритах); незабудка болотна (хвороби очей, потогінне, захворювання статевих органів, пухлини рота); кульбаба лікарська (травна система, ревматизм, тиск і ін).

Основними цінними видами, що формують екосистемну послугу біорізноманіття є саме ендемічні види. В межах фітоценозу Південного Бугу це: волошка савранська, козельці великі; реліктові: хвощ великий, бруслина мала, медунка м'яка, червонокнижне біле латаття та ін. Їх господарське використання є неможливим, тому основним критерієм оцінки є розмір компенсації за незаконне використання червонокнижних і рідкісних біоресурсів, визначений постановою Кабінету Міністрів України від 7 листопада 2012 року № 1030 @Про розмір компенсації за незаконне добування, знищення або пошкодження видів тваринного і рослинного світу, занесених до Червоної книги України, а також за знищення чи погіршення середовища їх перебування (зростання)@. Відповідно, для екосистемної послуги даного типу необхідно проводити експедиційні дослідження, фіксуючи частоту знаходження різних видів з означеного в постанові списку, та екстраполюючи на площу водойми розраховувати фінансовий аспект за зазначеними в документі сумами компенсацій.

Водокористування та водозабір для держави приносить прибуток у вигляді рентної плати в розмірах, встановлених Ставками на спеціальне використання води пп. 255.5 ПКУ. Для Південного Бугу це 63,97 грн за 100 куб м. За даними басейнового управління щорічно забирається близько 84 млн куб м, то загальний ресурс екологічної послуги для р. Південний Буг становить 34,71 м^3/га, або 0,6 дол/га. Розрахунок ведеться за формулою 10:

$$P_w = \Delta P_w \cdot \frac{V_y}{S}, \quad (10)$$

де V_y – об'єм водозабору; ΔP_w – ціна ренти за водокористування.

Використання водойм в енергетиці може бути оцінено (11) через зарегульованість, саме в тих місцях, де розміщено ГЕС, в якості джерела води для гідроакумуляції, джерела води для охолодження АЕС або як простір для розміщення енергогенеруючих установок. В таблиці 3 зазначено інформацію про потенційний дохід від такого використання у вигляді енергії та її вартості по зеленому тарифу.

$$P_E = \Delta P_E \frac{E \cdot \eta_E}{S}, \quad (11)$$

де η_E – ККД енергетичної установки.

Здатність екосистем до саморегуляції визначається за рахунок прямих спостережень. Так цвітіння води, зокрема, є порушенням здатності до саморегуляції, а точніше перевищенням максимальної спроможності до самоочищення водойми. В біологічному відношенні процеси саморегуляції мають розраховуватись на основі індикаторних показників, наприклад реакції дафній на зростання тієї чи іншої групи хижаків (відрощування шипів та зміна форми), фіксації вмісту кайромонів у воді, а також за результатами вилову. Значну шкоду такому типу екосистемних послуг завдають інтродуценти у яких немає природних ворогів. В фінансовому вираженні здатність до саморегуляції оцінюватиметься на базі втраченої вигоди. Зайва біомаса консумента – це втрачена біомаса корисного виду, що займає одну з ним нішу та кормової бази. Відповідно, визначена методом ловів чисельність „сорних риб" виражається в грошовому еквіваленті ринкової ціни цінних порід. За нормального функціонування водойми даний показник становитиме близько 10% від показника Добування риби.

Кліматорегулююча властивість розраховуватиметься за формулою 12 на основі площі водного дзеркала, рівня випаровування води, коефіцієнта відбивання. Попередній розрахунок дає близько 2,17 дол/га.

$$P_K = \Delta P_K \frac{E \cdot t \cdot k_{RW}}{L}, \quad (12)$$

де L – питома теплота пароутворення.

Водорегулююча властивість у випадку з Південним Бугом, що живиться від підземних вод, скоріше приносить збитки, ніж економічну вигоду. Тут варто провести комплексний аналіз даних про підземні води та обрахувати який їх обсяг бере на себе річка при живленні за формулою (13):

$$P_{UW} = \Delta P_{UW} \frac{V_{UW} - V_R}{S}, \quad (13)$$

Таблиця 3

Річний потенціал енергетики при використанні водного простору для розміщення установок

Назва	Кількість, кВт/га	Вартість, дол//га
Вітрова енергія	259 700	42 590,8
Фотоелектричні елементи	980 253	160 761,49
Тарілчасті СЕС	1 960 506	317 601,97
Вирощування мікроводоростей на біопаливо	1 501 292	243 209,3

де V_{UW} – питомий оціночний річний обсягів підземних вод; V_R – затрати підземних вод на живлення річки; ΔP_{UW} – рента за користування підземними водами або ціна вод за ринковою вартістю.

Найбільш складним розрахунком економічної вигоди від екосистемних послуг буде Культурна категорія, адже деякі з її елементів досить складно виразити в грошовому еквіваленті.

Так туристична роль водних об'єктів може бути виражена через стандартні розцінки на рекламу за кількістю туристів, що їх відвідали, або за стандартними витратами одного туриста пропорційно до часу, що він проводить біля того чи іншого об'єкту. За першим випадком це буде приблизно 5,2 дол. на 1000 туристів, а в другому підрахунок може бути лише індивідуальний (проте можна брати лише доходи, що отримує бізнес на пляжі пропорційно до ділянки де він розміщений). Те саме з оздоровчою роллю.

Культурна роль в грошовому еквіваленті не може бути виражена ніяк, крім як через ті суми, що закладаються в відшкодування шкоди, завданої об'єктам культурної спадщини.

Науково-освітня роль екосистемних послуг водної екосистеми виражається через систему дозволів на цільове природокористування, а також роль в підготовці фахівців різних галузей. Оптимальним виглядає варіант вираження цінності отриманої наукової інформації за кількістю людей, що з нею ознайомились (кількістю переглядів по аналогії з YouTube). Лишається питання якою буде ціна за один перегляд, що потребує додаткових розрахунків.

Відповідно, на базі проведених розрахунків було визначено ряд питомих показників для річки Південний Буг та закладено основу для формування методики розрахунку, що підходитиме для автоматизації обліку екосистемних послуг.

В табл. 4 відображено узагальнені актуальні дані по вартості екосистемних послуг, що піддаються обліку без додаткових узгоджень.

Відповідно, отримані методики дозволяють створити систему формування плаваючої ціни екосистемних послуг, яка може стати основою для утворення паралельного ринку екосистемної крипитовалюти.

Для цього потрібно буде створити на регіональному чи державному рівні блокчейн, де розміщуватимуться унікальні NFT з модельними параметрами реальних ділянок водойми по 1 га.

Ці токени матимуть ціну по стартовій рівноважній моделі. За тиждень після випуску держава, що триматиме частину з них в резерві буде готова в будь який момент викупити їх по плаваючій ціні, розрахованій за матрицею з аналогічною формулою та підстановкою реальних параметрів, які постійно оновлюватимуться.

Таблиця 4

Вартість екосистемних послуг для р. Південний Буг

Назва екосистемної послуги	Питома вартість на гектар, дол/га
Депонування вуглецю	66,25
Вилов риби	94,52
Очерет	18,92
Водозабір	0,6
Пісок	62,7
Розміщення об'єктів енергетики	42-250 тис
Кліматорегулююча	2,17
Саморегуляція	9,5
Рекреаційна	5,2
Біорізноманіття	за результатом експедицій та польових досліджень

При цьому з певним інтервалом за допомогою результатів моніторингу буде випускатись колекційний токен, що містить унікальні дані за певний момент часу (ціна за якою в цей момент можна продати базовий токен державі), який вже не буде підкріплений державою.

Це призведе до того, що торгівля базовим NFT йтиме за ринковими законами, але за рахунок обмеженої кількості та часткового резервування він рідко досягатиме ціни, за якою його викуповуватиме держава. В той же час його ціна стимулюватиметься колекційною цінністю через тих, хто бажатиме викупити токени з даними поточних моніторингів для однієї і тієї ж ділянки.

Якщо система працюватиме, коштів від колекційних токенів вистачить на утримання системи моніторингу, а ринок базових токенів стимулюватиме державу та приватні фірми на реалізацію інфраструктурних екологічних проєктів.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Авторами було закладено фундамент для розробки методології оцінювання екологічних послуг водного об'єкту.

Отримана базова та динамічна моделі можуть стати основою для токенізації екосистемних послуг та формування ринку екологічних криптовалют.

Було виявлено ряд проблем в чисельному вираженні певних параметрів екосистемних послуг, що стане предметом наступних досліджень.

В умовах післявоєнного відновлення подібні методи залучення інвестицій набудуть особливої важливості, а за їх успішності можуть стати загальносвітовою практикою.

Окрім того, створенні моделі оцінювання екосистемних послуг, питома вартість яких розрахована для річки Південний Буг, можна використати для дослідження інших річок.

Література

1. UNSD (2020). Using the SEEA EA for Calculating Selected SDG Indicators. United Nations Statistics Division, Department of Economic and Social Affairs, New York. URL: https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/documents/Indicators/3._using_the_seea_ea_for_calculating_selected_sdg_indicators.pdf (дата звернення 21.09.2022).
2. TEEB, 2010. The economics of ecosystems and biodiversity. Mainstreaming the economics of nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. URL: https://teebweb.org/publications/teeb (дата звернення 21.09.2022).
3. Дегтярь Н. В. Механізми фінансування та стимулювання збереження екосистемних послуг водно-болотних угідь. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2013. № 4. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mimi_2013_4_32 (дата звернення 21.09.2022).
4. Дегтярь Н. В. Управління екосистемними послугами водно-болотних угідь: механізми формування та напрямки реалізації. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Економіка і менеджмент*. 2013. Вип. 12. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_ekon_2013_12_9 (дата звернення 21.09.2022).
5. Дегтярь Н. В. Інституційні основи управління екосистемними послугами водно-болотних угідь. *Інвестиції: практика та досвід*. 2013. № 5. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2013_5_22 (дата звернення 22.09.2022).
6. Шевченко Г. М. Екосистемні послуги озер як об'єкт рекреаційного менеджменту. *Вісник Сумського державного університету. Серія: Економіка*. 2012. № 4. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSU_ekon_2012_4_7 (дата звернення 22.09.2022).
7. Протасов О. О., Узунов Й. І. Концептуальні положення щодо екосистемних послуг великих рівнинних водосховищ на прикладі Дніпровського каскаду. *Гідробіологічний журнал*. 2021. Т. 57, № 3. С. 3-20.
8. Васенко О. Г., Міланіч Г. Ю. Оцінка екосистемних послуг водних об'єктів України. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2018. Вип. 40. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp_2018_40_7 (дата звернення 22.09.2022).
9. Bram Edens, Joachim Maes, Lars Hein, Carl Obst, Juha Siikamaki, Sjoerd Schenau, Marko Javorsek, Julian Chow, Jessica Ying Chan, Anton Steurer, Alessandra Alfieri. Establishing the SEEA Ecosystem Accounting as a global standard. *Ecosystem Services*. Volume 54, 2022, p 101413, ISSN 2212-0416, https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101413. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041622000092 (дата звернення 22.09.2022).
10. Архипова Л. М., Приходько М. М. Екосистемні послуги – аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду концепції. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування.* 2019. № 2. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2019_2_5 (дата звернення 23.09.2022).
11. Stoyan Nedkov, Sylvie Campagne, Bilyana Borisova, Petr Krpec, Hristina Prodanova, Ioannis P. Kokkoris, Desislava Hristova, Solen Le Clec'h, Fernando Santos-Martin, Benjamin Burkhard, Eleni S. Bekri, Vanya Stoycheva, Adrián G. Bruzón, Panayotis Dimopoulos, Modeling water regulation ecosystem services: A review in the context of ecosystem accounting. Ecosystem Services, Volume 56, 2022, p. 101458, ISSN 2212-0416, URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041622000547 (дата звернення 23.09.2022).
12. Лабенко О. М. Стимулювання сталого водокористування через обов'язкові платежі за екосистемні послуги. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес*. 2018. Вип. 284. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_econ_2018_284_23 (дата звернення 23.09.2022).
13. Назаренко О. М., Назаренко І. А., Бахтін В. І., Шеремет'єв Е. О., Серебряков Ю. В.. Розробка екосистемних послуг для підвищення енергоефективності ебряков. Науковий вісник будівництва. 2019. Т. 97. № 3. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2019_97_3_22 (дата звернення 23.09.2022).
14. Веклич О. О. Специфіка вартісного виміру цінності екосистемних послуг при визначенні збитку від забруднення навколишнього природного середовища. *Економіка України.* 2019. № 6. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2019_6_6 (дата звернення 23.09.2022).

УДК 628.316
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.3

ВИКОРИСТАННЯ ФЕРИТНОЇ ОБРОБКИ ЯК ВАРІАНТ МОДИФІКАЦІЇ РЕАГЕНТНОГО МЕТОДУ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

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

У наш час до числа основних та небезпечних забруднювачів навколишнього середовища відносять хімічні елементи з атомною масою більшою за 50 та їх сполук – іони важких металів. Ці сполуки утворюють групу токсикантів, які несуть антропогенну дію на екологічну структуру навколишнього середовища, у т.ч. і на людину. В свою чергу, це пов'язано зі збільшенням масштабу виробництв та застосування важких металів, їх високою токсичністю, здатністю накопичуватись в організмі людини та негативно впливати на її стан, навіть при незначних концентраціях. Тому, з метою вирішення актуального науково-практичного завдання, за допомогою спостереження, узагальнення та синтезу, у статті було проаналізовано можливість використання одного з найпоширеніших методів очистки стічних вод – методу феритної обробки. Стічні води на машинобудівних підприємствах, як правило, містять у своєму складі залізо, мідь, цинк, хром, нікель та ін., які несуть найбільш небезпечні антропогенні забруднювачі для довкілля. Було виявлено, що потрапляння у водойми без належного ступеня очистки таких небезпечних для довкілля стічних вод, як промивних та концентрованих, призводить до порушень природних біологічних процесів та зниження якості природних вод, що у кінцевому результаті погіршує здоров'я людей та несе економічні збитки для країни за рахунок втрати цінних кольорових металів. Тому, підвищення екологічної безпеки за рахунок впровадження високоефективного очисного обладнання, розробка маловідходних енергоефективних технологій із замкненими системами ресурсообігу є пріоритетним напрямком розвитку сучасної економіки загалом та виробництва в цілому. Тому, розробка комплексної системи очистки є перспективним напрямком вдосконалення екологічної безпеки виробництв. Впровадження такої системи передбачає досягнення як потрібного ефекту очистки промислових стічних вод з ефективним вилученням іонів важких металів, так і зменшення дози реагентів та кількості осаду, який отримується внаслідок очищення. *Ключові слова:* феритна обробка, іони важких металів, навколишнє середовище, реагентний метод, стічні води.

The use of ferrite processing as an option for modification of the reagent method of wastewater purification from heavy metal ions. Bosiuk A., Shestopalov O.

Nowadays, chemical elements with an atomic weight greater than 50 and their compounds – heavy metal ions – are among the main and dangerous pollutants of the environment. These compounds form a group of toxicants that have an anthropogenic effect on the ecological structure of the environment, including and on a person. In turn, this is related to the increase in the scale of production and use of heavy metals, their high toxicity, ability to accumulate in the human body and negatively affect its condition, even at low concentrations. Therefore, in order to solve an actual scientific and practical task, with the help of observation, generalization and synthesis, the article analyzed the possibility of using one of the most common methods of wastewater treatment – the ferrite treatment method. Sewage at machine-building enterprises, as a rule, contains iron, copper, zinc, chromium, nickel, etc., which are the most dangerous anthropogenic pollutants for the environment. It was found that the entry into reservoirs without the proper degree of purification of such environmentally dangerous wastewater, such as washing and concentrated, leads to violations of natural biological processes and a decrease in the quality of natural waters, which ultimately worsens people's health and causes economic losses for the country due to the loss of valuable non-ferrous metals. Therefore, increasing environmental safety through the introduction of highly efficient cleaning equipment, the development of low-waste energy-efficient technologies with closed resource circulation systems is a priority direction for the development of the modern economy in general and production as a whole. Therefore, the development of a complex cleaning system is a promising direction for improving the eco-safety of production. The implementation of such a system involves achieving the desired effect of cleaning industrial wastewater with effective removal of heavy metal ions, as well as reducing the dose of reagents and the amount of sediment obtained as a result of cleaning. *Key words:* ferrite processing, heavy metal ions, environment, reagent method, wastewater.

Постановка проблеми. Стічні води машинобудівних підприємств відносять до найбільш розповсюджених забруднювачів довкілля. Тому збільшення уваги до екологічної безпеки за рахунок впровадження високоефективного устаткування (обладнання) для очистки стічних вод зараз є пріоритетним напрямком.

Останнє десятиліття характеризується як позитивними, так і негативними тенденціями у розробці та впровадженні технологій для очищення стічних вод [1]. До позитивних тенденцій слід віднести [2]:

– застосування в технологіях очищення нових реагентів (коагулянтів, флокулянтів та ін.);

– використання для виготовлення очисних установок пластмас та інших корозійностійких матеріалів;

– прагнення до компактності водоочисних комплексів;

– повна автоматизація процесу очищення на основі мікроелектроніки.

Метод феритизації дозволяє якісно очистити стічні води від іонів важких металів та органічних сполук, а отже організувати замкнені системи оборотного водопостачання на промислових підприємствах, у т.ч. і гальванічному виробництві. Також з'являється можливість легкого вилучення з очищеної стічної води утворених хімічно стійких осадів в магнітному полі, завдяки їх феромагнітним властивостям [3]. Крім того, феритизаційна технологія відкриває надійні шляхи для утилізації осадів [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки розвиток досліджень у галузі очищення промислових стічних вод, що передбачає регенерацію важких металів або утилізацію відходів водоочищення було розглянуто у працях таких вчених як Л.Ф. Доллина, В.О. Терновцева, С.С. Епояна, А.К. Запольского та ін., а також іноземних науковців, зокрема Clark R., Hammer M., Mumpton F. та ін.

Як свідчить аналіз робіт цих вчених, головними чинниками, які визначають перебіг процесу феритизації, є значення pH, температури, концентрації компонентів розчину, їх співвідношення [3–7].

Виклад основного матеріалу. Очистка стічних вод від іонів важких металів здійснюється шляхом переводу іонів важких металів у малорозчинні сполуки (гідроксиди або основні карбонати) при нейтралізації стічної води за допомогою різних лужних реагентів (гідроксиди кальцію, натрію, магнію, оксидів кальцію, карбонатів натрію, кальцію, магнію). У табл. 1 наведені значення pH осадження гідроксидів металів та остаточні концентрації іонів важких металів у стічній воді.

При нейтралізації кислих стічних вод вапняним молоком, що містять значну кількість вапна, а також розчинами соди деякі іони важких металів (наприклад, цинк, мідь ті ін.) осаджуються у вигляді відповідних основних карбонатів. Останні менш розчинні у воді, ніж відповідні гідроксиди. Тому, при утворенні основних карбонатів відбувається більш повний перехід іонів важких металів у малорозчинну форму. Крім цього, основні карбонати більшості металів починають осаджуватись при більш низьких значеннях pH, ніж відповідні гідроксиди.

Слід зазначити, що процес феритизації досить енергоємний, оскільки він відбувається, як правило, при температурі вище 70 ºС. Альтернативою високотемпературній активації процесу феритизацією може слугувати обробка води електромагнітними імпульсними розрядами. Відомо, що при цьому найбільш ефективне застосування розрядів середньої потужності, які однак потребують значної кількості енергії [8].

При спільному осадженні гідроксидів двох або декількох металів за однієї і тієї ж величини pH досягаються кращі результати, аніж при роздільному осадженні кожного з металів. При локальному знезараженні кадмій, нікель, цинковмісні потоки в якості лужного реагенту рекомендовано використовувати вапно. При цьому витрати вапна складають на 1 вагову частину кадмію – 0,5 вагової частини CaO, нікелю – 0,8 вагової частини CaO, цинку – 1,2 вагової частини CaO. На рис. 1 зображена принципова схема реагентної очистки стічної води від іонів важких металів. За об'ємів стічної води до 30 м^3/год зазвичай рекомендується періодична схема очистки, а при більших об'ємах – змішана або безперервна.

Осадження утворених в процесі реагентної обробки нерозчинних сполук здійснюється у відстійниках (переважно у вертикальних з низхідно-висхідним рухом води, або у тонкошарових відстійниках). Кількість відстійників береться не менше двох і обидва мають бути у робочому стані. Час відстоювання складає не менше 2-х годин.

Для прискорення освітлення нейтралізованих стічних вод рекомендовано додавати до них синтетичний флокулянт – поліакриламід (у вигляді 0,1% розчину) у кількості 2-5 г на 1 м^3 стічної води в залежності від вмісту іонів металів (чим менша сумарна концентрація іонів металів, тим більша доза флокулянту). Додавання поліакриламіду до стічних вод

Таблиця 1

Значення величини pH осадження гідроксидів металів та залишкова концентрація іонів металів

Формула гідроксиду	Величина pH початку осадження при вихідній концентрації осадженого іона 0,01 М	Величина pH повного осадження (залишкова концентрація менше 10^{-5} М)	Величина pH на початку розчинення	Залишкова концентрація іону метала, при pH 8,5–9,0 мг/л
$Fe(OH)_2$	7,5	9,7	13,5	0,3–1,0
$Fe(OH)_3$	2,3	4,1	14,0	0,3–0,5
$Zn(OH)_2$	6,4	8,0	10,5	0,1–0,05
$Cr(OH)_3$	4,9	6,8	12,0	0,1–0,05
$Ni(OH)_2$	7,7	9,5–10,0	–	0,25–0,75
$Al(OH)_3$	4,0	5,2	7,8	0,1–0,5
$Cd(OH)_2$	8,2	9,7–10,5	–	2,5
$Cu(OH)_2$	5,5	8,0–10,0	–	0,1–0,15
$Mn(OH)_2$	8,8	10,4	14,0	1,8–2,0

рекомендується проводити перед їх потраплянням до відстійників (після їх виходу з камери реакції).

Вологість осаду після відстійників 98-99,5%. Для зниження вологості осаду слід використовувати додаткове відстоювання у шламоущільнювачі протягом 3-5 діб (вологість осаду буде складати 95-97%). Після чого, осад подається на вузол зневоднення (вакуум-фільтрація, фільтр-пресування, центрифугування). Вологість осаду після вакуум-фільтру складає 80-85%, після центрифуги – 72-79%, після фільтр-пресу – 65-70%.

В окремих випадках перед скидом очищених стічних вод до каналізації або при наступному їх знесоленні методами іонного обміну, або електродіалізі потребується зниження концентрації зважених речовин в очищеній воді. Освітлення стоку здійснюється шляхом фільтрування через фільтри з піщаної або двошаровим завантаженням (пісок, керамзит), а також через фільтри з плаваючим завантаженням.

В останні роки широко застосування отримала феритна обробка, у вигляді модифікації реагентного методу очистки стічних вод від іонів важких металів за допомогою залізовмісних реагентів.

Залізо проявляє значну хімічну активність, має високу прихильність до алотропічних модифікацій та просторово-фазових перетворень. Залізо утворює багато сполук як стехіометричного складу, так і бертолідного характеру. Останні відіграють важливу роль при прояві залізовмісними реагентами коагулюючої та адсорбційної дії.

Очистка стічних вод феритним методом основана на сорбції домішок (у т.ч. іонів важких металів) магнітними гідроокисами заліза, утворенням феритів з наступними топохімічними реакціями захоплення сорбованих речовин кристалічною решіткою фериту. Ферити – це похідні гіпотетичної залізної кислоти $HFeO_2$, в якій іони водню заміщені іонами металів.

Основним реагентом феритної обробки стічних вод є гідрат сірчанокислого закисного заліза $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, який є відходом виробництва двоокису титану або травлення салі.

При додаванні лугів до водного розчину залізного купоросу, починаючи з pH=7,7 утворюється жовто-білий осад у вигляді пластівців. Під дією повітря він набуває коричневого відтінку, який обумовлений виникненням аддукту $Fe(OH)_2 \cdot Fe(OH)_3$. Останній дуже активний, може перетворюватись в залежності від складу розчину, pH і температура у наступні сполуки:

– парамагнітний метагідроксид FeO(OH) зі структурою мінералу ґетиту;

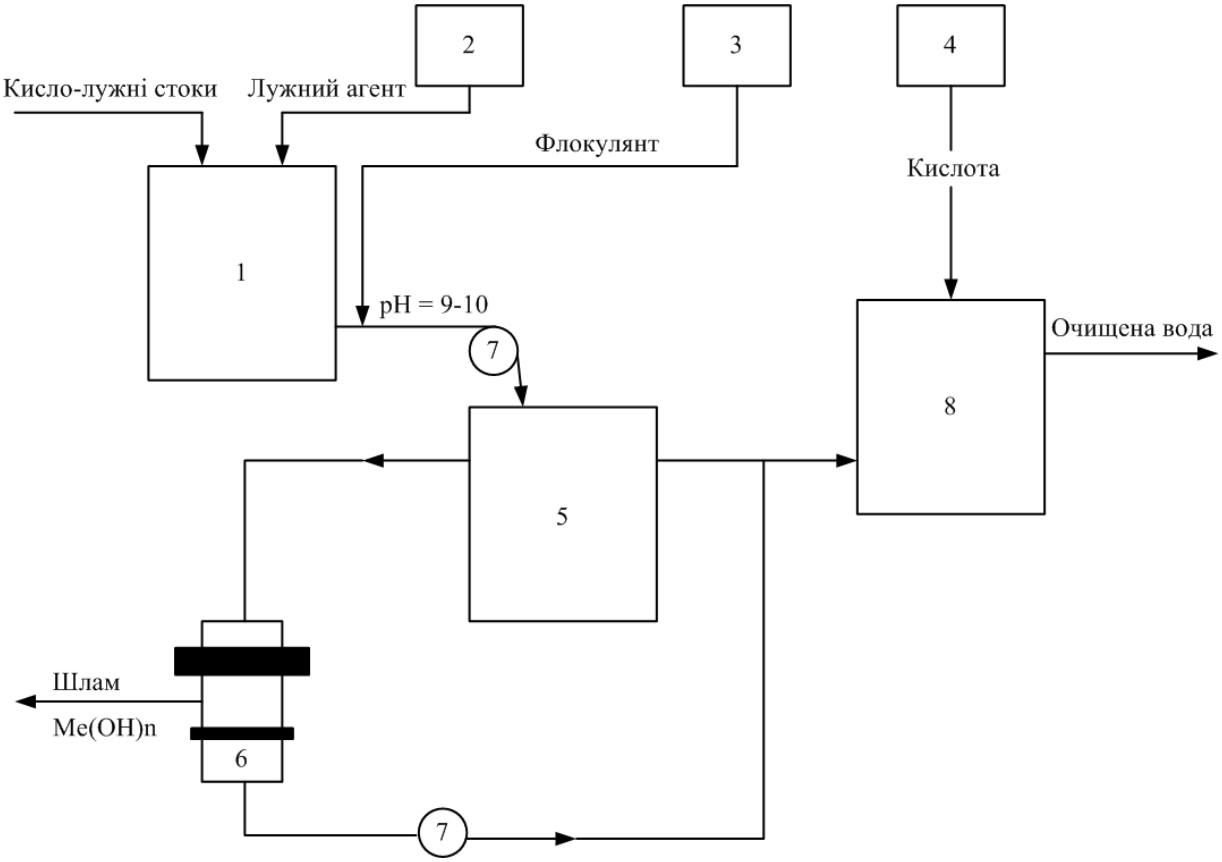


Рис. 1. Принципова схема реагентної очистки стічної води від іонів важких металів: 1 – реактор-нейтралізатор кисло-лужних стоків; 2 – дозатор лужного агенту; 3 – дозатор флокулянта; 4 – дозатор розчину кислоти; 5 – відстійник; 6 – механічний фільтр; 7 – насос; 8 – нейтралізатор очищеної води.

– феромагнітний метагідроксид FeO(OH) зі структурою мінералу лепідокроките;

– неферомагнітний метагідроксид FeO(OH);

– чорно-коричневий магнетит Fe_3O_4;

– феромагнітний ржаво-коричневий полігідрат $Fe_2O_3 \cdot {}_nH_2O$.

Вищевказані сполуки, утворюючись індивідуально та у суміші, відображають багатогранність, складність реакцій, які є в основі їх утворення. За низьких концентраціях заліза у широкому діапазоні pH організуються сполуки з вираженими магнітними властивостями. Зі збільшенням концентрації заліза збільшуються вимоги до pH, за яких оптимально відбуваються процеси утворення феритів: утворення зародків магнетиту – фериту заліза $Fe^{II}(Fe^{II}O_2)_2$ згідно реакції:

$$Fe(OH)_2 + 2\ Fe(OH)_4 \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2O + 3\ OH^-,$$

або у загальному вигляді:

$$FeSO_4 + 12NaOH + O_2 \rightarrow 2Fe_3O_4 + 6H_2O + 6Na_2SO_4,$$

а також утворення феритів кольорових металів $MeFe_2O_4$.

Підвищення температури нівелює вплив pH, в результаті чого при t=80°C область утворення феритів в районі підвищених концентрацій заліза, у т.ч. іонів важких металів, значно розширюється. Необхідно зазначити, що розширення, яке спостерігається, більш помітно при пониженому pH, коли підвищується роль перетворень у тверду фазу.

Здібність металів до спільного осадження з гідрозакисом заліза і феритоутворенню посилюється в ряду Cd < Zn < Co < Ni < Cu. Ступінь очищення з утворенням магнітних продуктів збільшується при обробці стоків, що містять одночасно іони декількох металів в порівнянні з обробкою індивідуальних стоків, а також при збільшенні pH.

Найвищу активність у феритній очистці виявляє мідь. При pH≥9 вона ефективно видаляється у вигляді кристалічного продукту з високою магнітною сприйнятливістю.

Очистку стічних вод від іонів важких металів цим методом можна проводити двома способами.

Перший спосіб полягає у додаванні у збірник зі стічною водою залізного купоросу, їдкого натру (у вигляді 40% водного розчину) і азотнокислого натрію: за сумарної концентрації іонів важких металів 30 мг/л стоки дозуються 450 г/м^3 залізного купоросу, 322 г/м^3 розчину каустику і 45,6 г/м^3 нітрату натрію. Після цього стічна вода нагрівається гострим паром до 60°C і утримується при барботуванні повітрям протягом однієї години. Потім стоки скидуються до відстійника. Час видержки у відстійнику 15-20 хвилин. Після чого освітлена частина стоків направляється на фільтрацію і далі до господарсько-побутову каналізацію.

За другим способом очистка стоків відбувається у 2 стадії:

1. На першій стадії формуються залізовмісна суспензія таким чином, щоб вона мала розвинену поверхню, високу хімічну активність та адсорбційні властивості. На приготування 1 м^3 залізовмісної суспензії необхідно 208,5 кг залізного купоросу, 60 кг їдкого натру і 21,3 кг азотнокислого натрію. Час витримки складає 20 хвилин. Чим довше суспензія витримується до додавання її у очищені стоки, тим повніше реалізується її здатність до утворення феритів.

2. На другій стадії сформована суспензія дозується у стічні води, що піддаються очистці.

Специфіку феритної обробки деколи пов'язують з адсорбційними явищами, обумовленими дефектами кристалічної решітки феритів. Для повноти реалізації адсорбційних явищ здійснюють попередній синтез активованих феритів, які передбачають обробку нітритами гідроокису двох- і тривалентного заліза, взятих у певному співвідношенні. Отримані таким чином ферити добре сорбують іони хрому, кадмію, свинцю, міді, нікелю, кобальту, ртуті, марганцю і берилію.

При феритній обробці стічних вод, особливо першим способом, відбуваються процеси гідратоутворення заліза сприяють коагуляційній очистці тонкодиспергованих суспензій і емульгованих забруднень за рахунок формування залізовмісних міцел, здатних до деяких реакцій включення.

Висновки. Встановлено, що при використанні методу феритизації можна досягти належний ступінь очистки стічної води промислових виробництв, у т.ч. гальванічних і в подальшому використовувати очищену воду в оборотній системі.

Було виявлено наступні переваги феритної очистки стоків:

– можливість одночасного видалення різних іонів важких металів в одну стадію;

– поряд з розчиненими важкими металами ефективно видаляються диспергувані суспензії і емульговані забруднення;

– процес не чутливий до впливу інших солей, які можуть бути присутніми у стоках у великих концентраціях.

Можна зробити висновок, що цей метод є перспективним завдяки незаперечним техніко-економічним та екологічним перевагам у порівнянні з іншими методами очистки стічної води промислових підприємств.

Література

1. Мокієнко А .В. : матеріали наук.-практ. конф. III Міжнародного Водного Форуму «Аква України-2005», 4-7 жовтня. 2005 р. Київ., 2005. С. 223–228.

2. Долина Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: монография. Днепропетровск : Континент, 2008. 254 с.
3. Tamaura J., Katsura T., Rojarayanont S.. Ferrite process: heavy metal ions treatment system : *Water Science and Technology*. 1991. Vol. 23. P. 399–404.
4. Mandaokar S. S., Dharmadhikar D. M., Dara S. S. Retrieval of heavy metal ions from solution via ferritization : *Environmental Pollution*. 1994. Vol. 83. P. 277–282.
5. Кочетов Г.М., Терновцев В.Е., Емельянов Б.М. Регенерация тяжелых металлов из промывных сточных вод гальванических производств. *Экотехнологии и ресурсосбережение.* 2004. № 1. С. 35–37.
6. Виноградов С.С. Экологически безопасное производство: монография : Глобус, 2002. 352 с.
7. Тугай А.М., Кочетов Г.М., Самченко Д.М. Вивчення стійкості відходів очищення стічних вод, які містять сполуки міді. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки* : збірник матеріалів доп. учасн. наук.-техн. конф. Київ : КНУБА, 2012. Вип. 20. С. 66–70.
8. Ковалева О. Комбинированная очистка многокомпонентных сточных вод: высокотемпературная гидротермическая ферритизация осадков. *Научный журнал Государственного университета Молдовы.* 2012. Вып. № 6 (60). С. 55–64.

УДК 639.3:628.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.4

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ ФОСФАТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ РІЧОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ *CHLORELLA VULGARIS*

Кульбач М.О., Клімкіна І.І.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Д. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро
margaritak353@gmail.com, irina_klimkina@ukr.net

Фосфор – один з важливих елементів живлення усіх форм життя, що має найвищий коефіцієнт біоакумуляції та визначає трофічний стан прісноводних екосистем. При потраплянні у воду, сполуки фосфору включаються в біохімічні цикли колообігу процесів всередині водойми і практично не залишають її. Сполуки фосфору мають подвійне призначення: вони являють собою будівний матеріал для клітин фітопланктону та водночас надлишок фосфору призводить до активізації процесу евтрофікації. Альголізація – процес внесення культури *Chlorella vulgaris* до водойми – є одним з методів вирішення проблеми евтрофікації водойм.

В даному дослідженні було проаналізовано перспективи використання водорості *Chlorella vulgaris* у боротьбі з наслідками забруднення водних об'єктів фосфором. Аналіз вмісту P_2O_5 у р. Дніпро свідчить про те, що концентрація фосфатів коливається протягом року, але має тенденцію до зростання у теплі місяці року (з серпня по листопад). Найбільша концентрація фосфатів спостерігається у точці забору ВП «ПдТЕС» у вересні місяці. Результати експерименту, щодо фосфатного навантаження показали, що *Chlorella vulgaris* здатна виживати та рости при високих та дуже високих концентраціях фосфатів. Отримані дані свідчать про перспективність використання *Chlorella vulgaris* для біологічної доочистки стічних вод з високими концентраціями фосфатів (P_2O_5). У результаті експерименту щодо виявлення здатності хлорели конкурувати з синьо-зеленими водоростями виявилося пригнічення росту обох видів водоростей, проте кількість клітин хлорели залишалася більшою протягом всього періоду експерименту. Визначення хімічного складу досліджуваних видів водоростей дає змогу проаналізувати їх акумулятивні властивості, а також їх спроможність жити в умовах з високим вмістом токсичних речовин. *Ключові слова: Chlorella vulgaris*, синьо-зелені водорості, альголізація, евтрофікація, фосфати.

Study of the possibility to reduce the phosphate pollution of surface water using *Chlorella vulgaris*. Kulbach M., Klimkina I.

Phosphorus is one of the important nutrients for all forms of life, which has the highest bioaccumulation coefficient and determines the trophic state of freshwater ecosystems. When phosphorus compounds are released into water, they become included in the biochemical cycles of the circulation of processes inside the reservoir and practically do not leave it. Phosphorus compounds have a dual purpose: they are a building material for phytoplankton cells, and at the same time, an excess of phosphorus leads to the activation of the eutrophication process. Algolization – the process of adding the culture of *Chlorella vulgaris* into a reservoir – is one of the methods of solving the problem of eutrophication of reservoirs.

Prospects for the use of *Chlorella vulgaris* in combating the effects of phosphorus pollution of water bodies have been analyzed in this study. Analysis of the P_2O_5 content in the Dnipro River shows that the phosphate concentration fluctuates throughout the year, however tends to increase in the warm month of the year (from August to November). The highest concentration of phosphates is observed at the point of intake of SS "PdTPS" in September. The results of the phosphate load experiment showed that *Chlorella vulgaris* is able to survive and grow at high and very high phosphate concentrations. The obtained data indicate the promising use of *Chlorella vulgaris* for biological post-treatment of wastewater with high concentrations of phosphates (P_2O_5). An experiment to detect the ability of Chlorella to compete with blue-green algae revealed inhibition of the growth of both species of algae, although the number of chlorella cells remained higher throughout the experiment. Determining the chemical composition of the studied species of algae makes it possible to analyze their accumulative properties, as well as their ability to live in conditions with a high content of toxic substances. *Key words: Chlorella vulgaris*, blue-green algae, algolization, eutrophication, phosphates.

Постановка проблеми. Головна артерія України, р. Дніпро, у літній період потерпає від евтрофікації – стрімкого розвитку сукупності видів синьо-зелених водоростей. Таке жваве їх збільшення призводить до погіршення якості води: змінюється колір, в'язкість, pH, знижується прозорість, вміст кисню, з'являється неприємний запах. І як наслідок, вода стає непридатною для життя в ній гідробіонтів, втрачається рекреаційний потенціал.

Актуальність дослідження. Сучасний екологічний стан природних водойм України, вплив на них багаторічного скиду частково очищених скидних вод поступово призводить до екологічної катастрофи. На початку XXI сторіччя екологічна ситуація, в якій опинилися водойми України, викликає серйозну занепокоєність. Однією з основних проблем є біологічне забруднення вод природних водоймищ патогенними та умовно-патогенними мікроорганізмами, яке призводить до евтрофікації водойм.

Основними чинниками евтрофікації є висока температура, значна кількість фосфору та азоту у водоймах. Джерелами надходження фосфору до поверхневих вод є побутові стічні води, що містять фосфати як компоненти синтетичних миючих засобів, фото-

реагентів та пом'якшувачів води. Важливим чинником також є змив фосфатних добрив та пестицидів із сільськогосподарських угідь, стоки тваринницьких ферм і промислових підприємств.

Альголізація є одним з методів вирішення проблеми «цвітіння» водойм. Суть процесу альголізації полягає у внесенні концентрату *Chlorella vulgaris* до водойми.

Внесення хлорели, крім вирішення основної встановленої задачі – зменшення цвітіння синьо-зелених водоростей, забезпечує значне покращення якості води за концентрацією забруднюючих речовин, таких як складні метали, нафтопродукти, феноли, неорганічні форми азоту і фосфору; зниження біохімічного і хімічного споживання кисню; покращення органолептичних показників; істотне зниження бактеріального обсіменення води патогенною мікрофлорою; збільшення кількості розчиненого кисню в воді протягом усього вегетаційного періоду; збільшення кормових ресурсів фауни водойм; інтенсивний розвиток зелених водоростей і зоопланктону; відновлення рекреаційного потенціалу [1].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Метою представленого дослідження є визначення можливості та ефективності альголізації річки Дніпро для зменшення бурхливого росту синьо-зелених водоростей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню використання *Chlorella vulgaris* для реабілітації водойм було присвячено кілька робіт. У дослідження Н.І. Богданова з альголізації Пензенського водосховища було виявлено особливості культивування *Chlorella vulgaris.* Варто зауважити, що альголізація водосховища у 1998 не дала бажаного результату, тому її вирішили повторити у 2001–2002 роках, змінивши при цьому час внесення хлорели. Результатом цього стало стало збільшення видового складу та кількості зелених водоростей, у порівнянні з іншими представниками фітопланктону. Саме ця ознака змогла спонукати конкуренції між синьо-зеленими та зеленими водоростями на користь останніх [2].

Спробу альголізації заток Дніпра поблизу міста Горішні Плавні описував Триліс В.В. [3]. Згідно експерименту пасту хлорели вносили до заток восени за рекомендаціями виробника. В результаті, зміни видового складу фітопланктона не спостерігалося. Проте досвід Америки, країн Європи показує ефективність внесення хлорели для боротьби із «цвітінням».

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Одним із найважливіших завдань сьогодення є пошук шляхів очищення та відновлення водних об'єктів. Процес альголізації матиме свої індивідуальні умови для кожної водойми. Тому виникає необхідність у проведенні аналізу для досліджуваного об'єкта.

Новизна. Отримано експериментальні результати конкурентоспроможності ***Chlorella vulgaris*** та синьо-зелених водоростей в умовах моделювання фосфатного забруднення. Крім того, визначено мікроелементний склад біомаси водоростей методом ICP-MS (на базі екологічної лабораторії ТУ «Фрайберзька гірнича академія», Німеччина).

Методологічне або загальнонаукове значення. Для досягнення поставленої мети дослідження спочатку проведено аналіз фосфатного забруднення р. Дніпро за даними Регіональної доповіді про стан навколишнього природного середовища Дніпропетровської області та даними моніторингу (за адміністративно-територіальним принципом) у Дніпропетровській області [4, 5].

В лабораторних умовах клітини *Chlorella vulgaris* культивували на поживному середовищі № 3 ($MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,75 г/л; KH_2PO_4 – 1,5 г/л; $CO(NH_2)_2$ – 0,3 г/л; $FeCl_3$ – сліди) при температурі середовища не нижче 25°С та примусовим додаванням повітря.

Для визначення здатності клітин водорості *Chlorella vulgaris* протистояти фосфатному навантаженню використовували суперфосфат подвійний гранульований, який у своєму складі містить азоту 10%, фосфору (P_2O_5) 40%, сірки (SO_3) 5%. Культивування клітин *Chlorella vulgaris* проводили у водопровідній воді з додаванням суперфосфату подвійного у концентраціях, що перевищують ГДК у 100 та 1000 разів. Результати порівнювали з контролем, яким слугувала водопровідна води без суперфосфату. Мікроводорості культивували протягом 7 днів.

Для дослідження конкурентоспроможності ***Chlorella vulgaris*** культивували разом з синьо-зеленими водоростями, відібраними з р. Дніпро в літній період (в межах центральної частини м. Дніпро). Після адаптації останніх, ***Chlorella vulgaris*** та синьо-зелені водорості культивували разом на поживному середовищі № 3 протягом 7 днів. Підрахунок клітин мікроводоростей здійснювався під мікроскопом із застосуванням камери Горяєва зі збільшенням об'єктива ×40 та окуляра ×10.

Для визначення адаптивних можливостей хлорели та ціанобактерій вивчали вміст мікроелементів, зокрема біогенних, а також важких металів та інших токсичних речовин, в біомасі обох водоростей за допомогою ICP-MS аналізу. Для підготовки зразків до хімічного аналізу зразки біомаси обох водоростей спочатку відцентрифугували та висушили у термостаті при температурі 90°. Перед ICP-MS аналізом зразки біомаси були розчинені aque-regio (H_2O – 0,2 мл, 65% HNO_3 – 1,9 мл, HF – 0,6 мл) і піддані впливу температури 200 ^{0}С та тиску (метод Microwave digestion). Далі після розведення та додавання розчину Internal standard зразки були готові до ICP-MS аналізу.

Виклад основного матеріалу. Дніпропетровська область повністю розташована в межах басейну р. Дніпро – головної ріки гідрографічної мережі області. Стік річки зарегульований каскадом

Дніпровських водосховищ, і в межах області присутні три з них. Найбільшими притоками р. Дніпро є: Оріль, Самара, Вовча, Інгулець, Саксагань, Мокра Сура та Базавлук [4].

У 2019 році, згідно даних Регіональної доповіді про стан навколишнього природного середовища Дніпропетровської області, у поверхневі водні об'єкти було скинуто у складі стічних вод 317,1 тис. т забруднюючих речовин. У порівнянні з 2018 спостерігалось зниження сумарного обсягу скинутих забруднюючих речовин на 43,2 тис. т [4]. На рис. 1 та у таблиці 1 зображено як змінювалася концентрація фосфатів у скидах стічних вод до поверхневих водойм впродовж 2012–2019 років.

Таблиця 1

Концентрація P_2O_5 у скидах стічних вод за 2012–2019 роки

Роки	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Концентрація P_2O_5, т	911,6	823	777,4	604,2	578,7	573,6	686,2	715,6

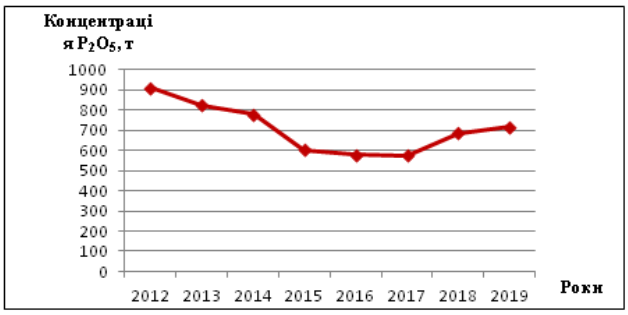


Рис. 1. Концентрація P_2O_5 у скидах стічних вод за 2012–2019 роки

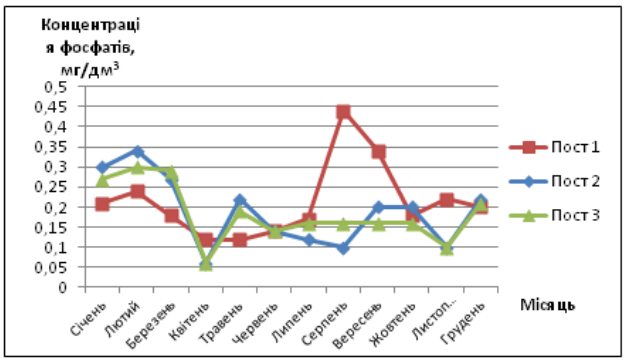


Рис. 2. Концентрація фосфатів на постах р. Дніпро

Згідно вищенаведених даних ми бачимо, що з 2012 року концентрація фосфатів поступово знижувалася до 2017 року, що безумовно є позитивним проявом.

Зростання вмісту фосфат-іонів, амоній-іонів, марганцю, БСК5, ХСК та зниження розчиненого кисню зазвичай спостерігається у другій половині літа і на початку осені, насамперед внаслідок встановлення високих температур повітря і води, а також росту біохімічних процесів [4].

В межах міста Дніпро існує 3 питні водозабори, де щомісяця беруть проби води для аналізу їх складу. Це:

– Пост: р. Дніпро, 404 км, м. Дніпро, ВП «ПдТЕС» ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», питний в/з;

– Пост: р. Дніпро, 420 км, м. Дніпро, лівий берег, Ломовський питний в/з;

– Пост: р. Дніпро, 420 км, м. Дніпро, правий берег, Кайдакський питний в/з.

На рис. 2 представлені концентрації фосфатів мг/дм^3 впродовж січня – травня 2021 року та червня – грудня 2020 року згідно даних Державного агентства водних ресурсів України [5].

Згідно цих даних можна помітити, що вміст фосфатів коливається протягом року, але має тенденцію до зростання у теплі місяці року. Найбільша концентрація фосфатів спостерігається у точці забору ВП «ПдТЕС» у вересні місяці. На рисунках 3–5 зображено як змінювалася концентрація фосфору у р. Дніпро на 1–3 постах впродовж кожного місяця протягом 2015–2020 років.

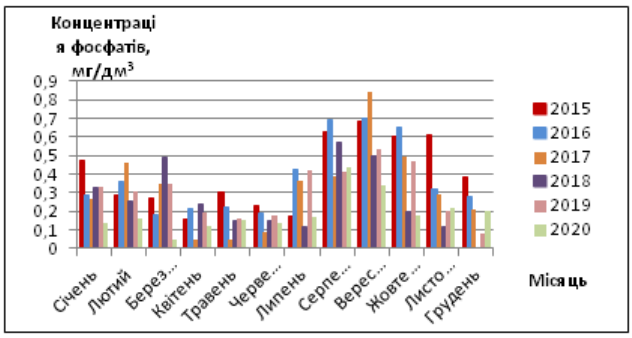


Рис. 3. Розподіл концентрацій P_2O_5 кожного місяця впродовж 2015–2020 років на 1 посту

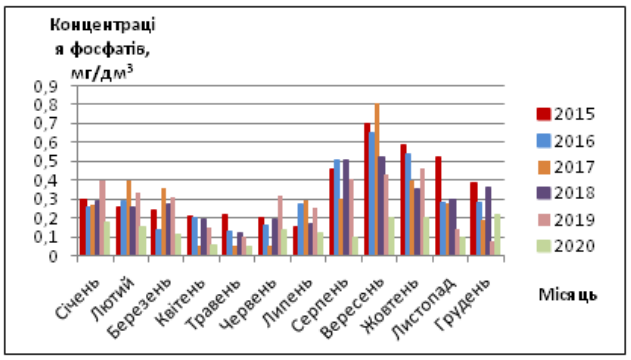


Рис. 4. Розподіл концентрацій P_2O_5 кожного місяця впродовж 2015–2020 років на 2 посту

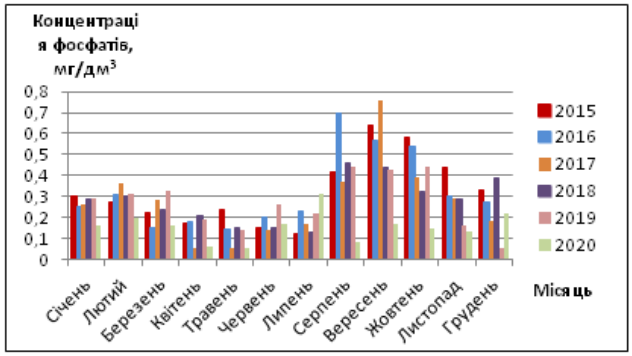


Рис. 5. Розподіл концентрацій P_2O_5 кожного місяця впродовж 2015–2020 років на 3 посту

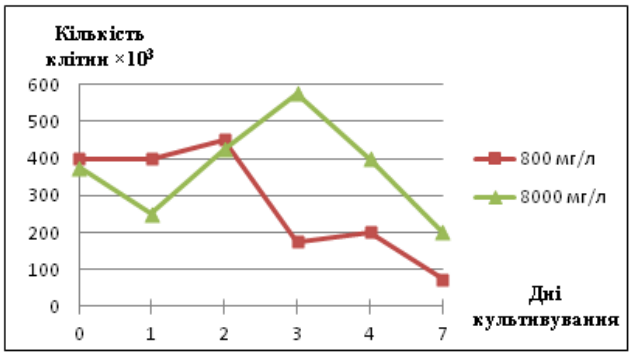


Рис. 6. Зростання Chlorella vulgaris на фосфатному середовищі

Як видно з рисунків 3–5 концентрація фосфатів у р. Дніпро на 1–3 постах протягом останніх п'яти років стабільно приблизно у 16 разів вище у вересні в порівнянні з іншими місяцями року. Це може бути обумовлено використанням мінеральних добрив для підвищення врожаю протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських рослин і потраплянням поверхневого стоку з полів у річки та інші водойми.

Результати дослідження впливу надлишкових концентрацій фосфору на *Chlorella vulgaris,* які представлені на рисунку 6, виявили, що на 1 день культивування спостерігається спад чисельності клітин у зразку з концентрацією 8000 мг/л фосфатів. Таке явище можна пояснити адаптацією клітин до нового мінерального складу культурального середовища.

На 3 день культивування спостерігається пік чисельності хлорели у другому зразку. На наступний день культура починає деградувати.

У першому зразку перші два дні чисельність клітин не змінилася, оскільки культура пристосовувалася до таких умов. На наступний день ми спостерігаємо невеликий ріст водорості, але надалі чисельність клітин хлорели починає спадати.

Результати експерименту з конкурентоздатності хлорели та ціанобактерій показали, що кількість клітин обох водоростей хоча й стрімко знижувалася, проте *Ch. vulgaris* показала більш високу здатність до виживання (рисунок 7).

Результати ICP-MS аналізу показали наявність у біомасі водоростей різноманітних металів (рисунок 8). Як видно з рисунку 8а, клітини ціанобактерій у більшій мірі акумулювали важкі метали та інші токсичні елементи (зокрема миш'як), що дає підстави стверджувати про більшу чутливість і відповідно уразливість до негативного впливу важких металів у порівнянні з мікроводоростями хлорели. При цьому, хлорела виявилася більш конкурентною стосовно накопичення біогенних елементів (рис. 8б).

Цікавими виявилися результати ICP-MS аналізу стосовно накопичення біомасою ціанобактерій та хлорели мікроелементів, які відносяться до групи рідкоземельних (рис. 9).

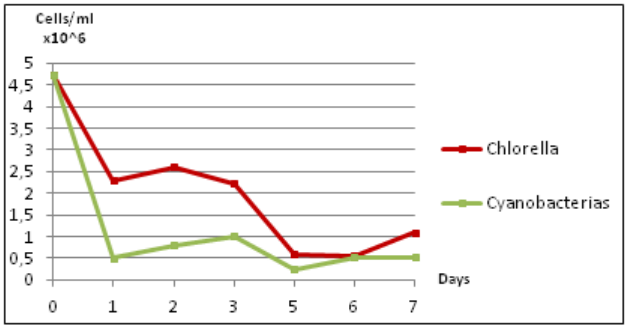
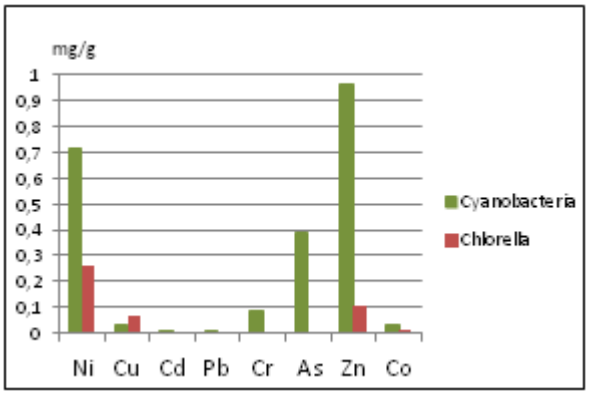
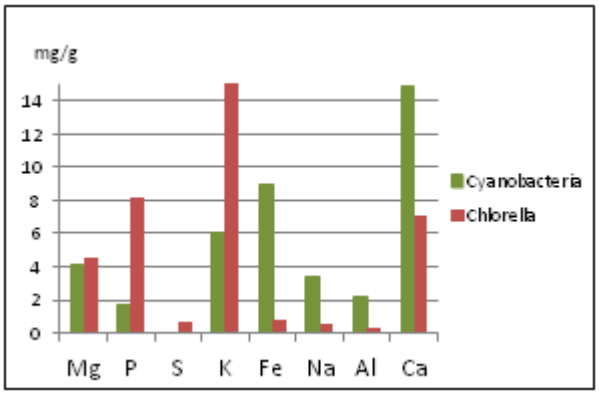


Рис. 7. Криві зростання Chlorella vulgaris та ціанобактерій в експериментальних умовах на середовищі № 3



а)



б)

Рис. 8. Вміст важких металів (а) та макроелементів (б) у біомасі водоростей

Оскільки ціанобактерії росли у природних умовах, а хлорела – у культуральному середовищі, тому вміст всіх представлених мікроелементів у біомасі ціанобактерій звісно буде вищий.

Головні висновки. Результати культивування *Chlorella vulgaris* в умовах с високими концентраціями P_2O_5, що в 100 і 1000 разів перевищують ГДК по стічним водам, свідчать про можливість використання мікроводоростей з метою доочистки стічних вод від надлишкових концентрацій фосфатів.

Опираючись на результати аналізу можна стверджувати, що і *Ch. vulgaris*, і ціанобактерії показали високі адаптативні властивості щодо вмісту різних груп металів у воді. Це свідчить про їх спроможність жити в умовах з високим вмістом токсичних речовин, а також конкурувати між собою за ресурсну базу.

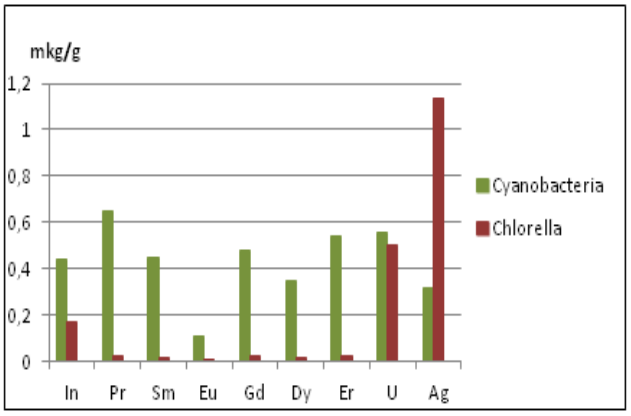


Рис. 9. Вміст мікроелементів у біомасі ціанобактерій та хлорели

Література

1. Шарило Ю. Є. Використання водоростей виду *chlorophyta* як біологічний метод очищення водойм. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2020. № 1. С. 88–102.
2. Боднар О.І. Біотехнологічні перспективи використання мікроводоростей: основні напрями. *Наукові записки Тернопільського національного пед. університету. Сер. Біологія*. 2017. Вип. 1 (68). С. 138–146.
3. Триліс В. В. Досвід боротьби з «цвітінням» природних водойм за допомогою внесення концентрату хлорелли (*Chlorella vulgaris* beijer.). *Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнар. наук.-практ. конф. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 198–200.
4. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Дніпропетровської області за 2019 рік / Дніпропетровська обласна держ. адміністрація. URL: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/605/06f/47b/60506f47bd3cb255698190.pdf (дата звернення: 10.11.22).
5. Дані моніторингу (за адміністративно-територіальним принципом) : Дніпропетровська область : з 01.01.2012 до 10.06.2021. *Державне агентство водних ресурсів України* : веб-сайт. URL: http://monitoring.davr.gov.ua/Reporting (дата звернення: 10.11.22).

УДК 628.19
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.5

АНАЛІЗ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

Луньова О.В., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
ke_kham@ztu.edu.ua

У статті розглянуто стан забезпеченості водними ресурсами Житомирської області, основні показники використання і відведення води та стан забруднення поверхневих вод. Стан задоволення потреб людини якісною питною водою є однією з глобальних проблем сучасності. Її актуальність обумовлена тим, що якісна питна вода стає дедалі більш дефіцитним ресурсом, з огляду на невпинне зростання чисельності населення планети. Полютанти, потрапивши у водне середовище мають здатність тривалий час зберігатися та мігрувати екологічними ланцюжками, надходячи в організм з водою та продуктами харчування.

Метою статті є аналіз стану водного середовища в Житомирській області та його вплив на організм людини. Для втілення зазначеної мети застосовували комплекс наукових методів, зокрема: аналіз статистичних даних та звітних матеріалів, узагальнення, тощо.

Попри очищувальні споруди, забруднюючі речовини потрапляють до водних об'єктів. Як джерела питного водопостачання в Житомирській області використовуються річки Тетерів й Гнилоп'ять, що належать до суббасейну середнього Дніпра та річки Случ й Уж, які відносяться до суббасейну річки Прип'ять. Суттєві перевищення спостерігається за такими показниками як: залізо загальне, нітрати, нітрити, синтетичні поверхнево-активні речовини, хлориди, фосфати, цинк, хром, марганець. Зміна концентрації зазначених речовин мала переважно сезонний характер. Найбільш суттєві перевищення були за показником залізо загальне. Проте цей показним переважним чином зумовлений природною геохімічною обстановкою і значно менше залежить від техногенного впливу.

Вплив водних ресурсів, на організм людини займає значну роль, оскільки при вживання забрудненої питної води можуть виникати патологічні зміни в організмі людини при тривалому та регулярному її вживанні. Хімічні речовини, які забруднюють воду можуть викликати алергічну та імунотоксичну дію, а також володіти токсичними, мутагенними, канцерогенними та модифікуючими властивостями. Розглянуто вплив основних забруднювачі питних джерел централізованого водопостачання регіону на стан здоров'я населення. Погіршення якості води чинить негативний вплив не лише на представників водного середовища, але й на стан здоров'я людини, оскільки можливе виникнення тяжких захворювань та отруєнь. Особливо страждає система травлення, сечовидільна, дихальна та серцево-судинна. *Ключові слова:* довкілля, екологічна безпека, водні ресурси, забруднюючі речовини, якість водних ресурсів, здоров'я населення.

The analysis of water resources state in Zhytomyr region and their impact on the human body. Lunova O., Herasymchuk O., Kagukina A.

The article examines the state of water resources in the Zhytomyr region, the main indicators of water use and drainage, and the state of surface water pollution. The state of satisfying human needs with high-quality drinking water is one of the global problems of today. Its relevance is due to the fact that high-quality drinking water is becoming an increasingly scarce resource, given the constant growth of the world's population. Pollutants, once in the aquatic environment, have the ability to be stored for a long time and migrate through ecological chains, entering the body with water and food.

The purpose of the article is to analyze the state of the water environment in the Zhytomyr Region and its impact on the human body. A set of scientific methods was used to realize the specified goal, in particular: analysis of statistical data and reporting materials, generalization, etc.

Despite treatment facilities, pollutants enter water bodies. The sources of drinking water supply in the Zhytomyr Region are the Teteriv and Hnylopyat rivers, which belong to the middle Dnieper sub-basin, and the Sluch and Uzh rivers, which belong to the Pripyat river sub-basin. Significant excesses are observed for such indicators as: total iron, nitrates, nitrites, synthetic surfactants, chlorides, phosphates, zinc, chromium, and manganese. The change in the concentration of these substances was mainly seasonal in nature. The most significant excesses were in terms of total iron. However, this ostentatious phenomenon is predominantly determined by the natural geochemical environment and is much less dependent on technogenic influence.

It is held that the influence of water resources on the human body plays a considerable role since the use of contaminated drinking water can entail pathological changes in the human body given its long-term and regular use. Water-polluting chemical substances cause allergic and immunotoxic effects, they possess toxic, mutagenic, carcinogenic and modifying properties. The article considers the pollutants' influence in the region's centralized water supply drinking sources on the population's health. The deterioration of water quality has a negative impact not only on representatives of the aquatic environment but also on human health, as the risk of serious diseases and poisonings is very high. The study concludes that such human body systems as digestive, urinary, respiratory, and cardiovascular systems are affected to the largest extent. *Key words:* environment, ecological safety, water resources, pollutants, quality of water resources, public health.

Постановка проблеми. Проблема забруднення водних об'єктів розглядається, як найважливіший прояв глобальної екологічної кризи. Перелік відомих забруднюючих речовин наближається до 20 млн. найменувань, десятки тисяч яких високотоксичні [1]. В сучасних поколінь людей не вироблено механізми

захисту від їх агресивного впливу на організм. Щорічне техногенне навантаження на всі об'єкти біосфери – сотні мільйонів тонн хімічних речовин, які стають відходами у технологічних процесах промисловості, сільського господарства, транспорту, наростаюче антропогенне розсіювання хімічних речовин змінює не лише природний хімічний склад повітря, води, ґрунту та рослин, але й викликає забруднення біосередовищ організму, що є причиною появи численних екопатогенних ефектів у стані здоров'я населення [2].

Актуальність дослідження. Пріоритетні з позицій небезпеки для здоров'я людини хімічні сполуки, які повсюдно поширені, стійко зберігаються в об'єктах навколишнього середовища, мігрують в екологічних ланцюжках, надходячи в організм з водою, та продуктами харчування. У переліку таких речовин – основні забруднювачі великого міста (оксиди азоту, сірки, вуглецю, завислі речовини), важкі метали, полі хлоровані біфеніли, пестициди, поліароматичні вуглеводні та багато інших. З опадами дані хімічні сполуки потрапляють в водойми та ґрунти. Більшість пріоритетних забруднювачів високотоксичні, вони мають політропну та специфічну дію на організм людини, викликаючи найважчі і віддалені за часом мутагенні та канцерогенні ефекти [3]. Людство давно переступило межу припустимого екологічного ризику, що здатне викликати різноманітні порушення в організмі, внаслідок денатурованого природного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хвороби населення, які безпосередньо пов'язані з вживанням неякісної питної води, в складі якої містяться речовини, що здатні викликати токсичні ефекти, в тому числі канцерогенні та мутагенні складають близько 80% [4]. Як зазначають автори [1, 3] вплив водних ресурсів на стан здоров'я людини залежить від певних факторів, а саме якість підземних та поверхневих вод та якість води централізованого водопостачання. В науковій праці [2] стверджують, що забруднення питної води хімічними речовинами при постійному її вживанні зумовлює розвиток патологічних станів організму. Цінною для нашого дослідження є думка про те, що вживання води, яка містить шкідливі речовини, може призвести до фізіологічних змін та патологічних наслідків для організму людини [3].

В таких умовах **метою статті** є аналіз стану водного середовища в Житомирській області та його вплив на організм людини. Для втілення зазначеної мети застосовували комплекс наукових методів, зокрема: аналіз статистичних даних та звітних матеріалів, узагальнення, тощо.

Викладення основного матеріалу. Поверхневі водні ресурси в Житомирській області формуються з місцевого стоку у річковій мережі на власній території, за рахунок атмосферних опадів, а також транзитного стоку, який надходить із суміжних областей. Центральне водопостачання населення області здійснюється в таких населених пунктах: м. Житомир – р. Тетерів, м. Бердичев – частково з р. Гнилоп'ять і частково з артезіанських свердловин, м. Коростень – р. Уж, м. Звягель – р. Случ, м. Малин – р. Ірша. Водозабезпечення міст Овруч, Радомишль, Коростишів, Андрушівка, Баранівка, селищ міського типу Чуднів, Попільня, Любар, Ружин та інших населених пунктів області і потреб сільськогосподарського виробництва здійснюється в основному з підземних джерел [5].

В структурі водокористування області (рис. 1) найбільшими споживачами питної води є житлово-комунальне господарство, промисловість та сільське господарство [6]. Водозабезпеченість стоком на одну людину у 2019 році становила – 0,9 тис. м³/чол [7].

Скиди стічних вод у поверхневі водні об'єкти області за 2021 рік надходили із 164 точкових джерел. Загалом у 2021 році у поверхневі водойми відведено забруднених зворотних (стічних) вод, що на 10,8 % більше порівняно з 2020 роком [6, 8]. Від загального об'єму стічних вод, які потребують очищення на очисних спорудах 93,9 % були відведені в поверхневі водні об'єкти як нормативно очищені, решта 6,1 % – не досягли нормативної очистки стоків.

Для дослідження якості та рівня забрудненості поверхневих вод річок Житомирської області, що використовуються, як джерела питного водопостачання використовувалися дані басейнового управління річки Прип'ять за 2020-2021 роки, які знаходяться у вільному доступі [9].

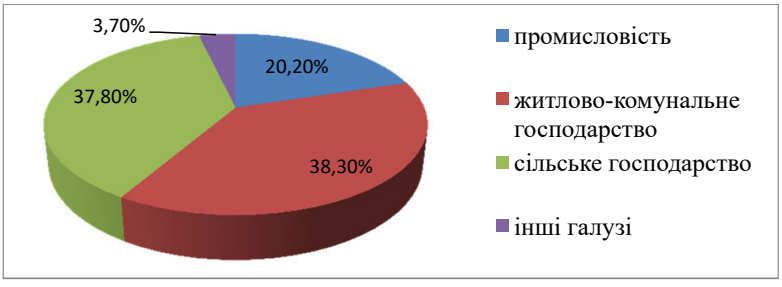


Рис. 1. Структура водокористування Житомирської області за 2021 рік

Встановлено, що найбільшими джерелами питного водопостачання області є річки: Тетерів, Гнилоп'ять, Случ та Уж. Станом на 2021 рік основними речовинами, які забруднюють водне середовище в Житомирській області є: залізо загальне, нітрати, нітрити, синтетичні поверхнево-активні речовини, хлориди, фосфати, цинк, хром, марганець (табл. 1). При цьому має місце зниження забруднюючих речовин, які потрапили у поверхневі водойми за такими речовинами як: сульфати та азот амонійний [6].

Зміна концентрацій зазначених речовин має виражений сезонний характер. Водночас вміст заліза загального значною мірою не пов'язаний з техногенним забрудненням водойм, а зумовлений природною геохімічною обстановкою (рис. 2).

У межах забруднення навколишнього середовища передусім розглядають групи хімічних забруднювачів, найнебезпечніших здоров'ю населення. Критерії такої небезпеки складаються із сукупності параметрів, що випливають із фізико-хімічних властивостей речовин: токсичність, мутагенні, канцерогенні та модифікуючі властивості, алергічна та імунно-токсична дія та ін.

Міграція ксенобіотиків в біосфері дозволяє об'єднати шляхи потрапляння їх в організм людини В таких умовах екологічною небезпекою є те, що фітопланктон має здатність їх поглинати та по харчовому ланцюгу передавати людині. Ксенобіотики потрапляють в організм людини переважно через шлунково-кишковий тракт з харчовими продуктами, водою та медикаментами.

Для нормального функціонування організму людини необхідний збалансований обмін мікроелементами, порушення якого може призвести до важких захворювань та отруєнь [10]. При постійному надходженні з питною водою в організм заліза, відбувається його накопичення в печінці, що призводить до порушення її функцій. В питних водозаборах вміст заліза загального може перевищувати ГДК від 1,1 рази до 4,5 рази, що негативно позначається на стані здоров'я населення.

Внаслідок потрапляння фосфору в водойми відбувається евтрофікація водойм. При надмірному надходження в організм людини фосфору відбуваються негативні обмінні процеси, які провокують патологічні стани в організмі.

Нітрати мають властивість відновлюватися до нітритів. Нітрити взаємодіють з гемоглобіном. В результаті утворюється метгемоглобін, що спричиняє порушення клітинного дихання. При надходженні в організм нітратів відбувається зниження вмісту вітамінів, це призводить до погіршення обміну речовин в організмі. Також, нітрати призводять до виникнення ракових пухлин в шлунково-кишковому тракті.

Таблиця 1

Середньорічні концентрації речовин в контрольних створах водних об'єктів Житомирської області за 2021 рік (в одиницях кратності відповідних ГДК)

Місце спостереження за якістю води	Показники складу та властивостей				
	хлориди	нітрати	фосфати	марганець	залізо
р. Тетерів, питний в/з м. Житомира	0,08	0,01	0,01	0,84	1,29
р. Уж, питний в/з м. Коростеня	0,09	0,01	0,01	1,04	2,68
р. Гнилоп'ять питний в/з м. Бердичева	0,14	0,02	0,02	0,90	1,0
р. Случ, питний в/з м. Звягель	0,09	0,01	0,02	0,94	1,66

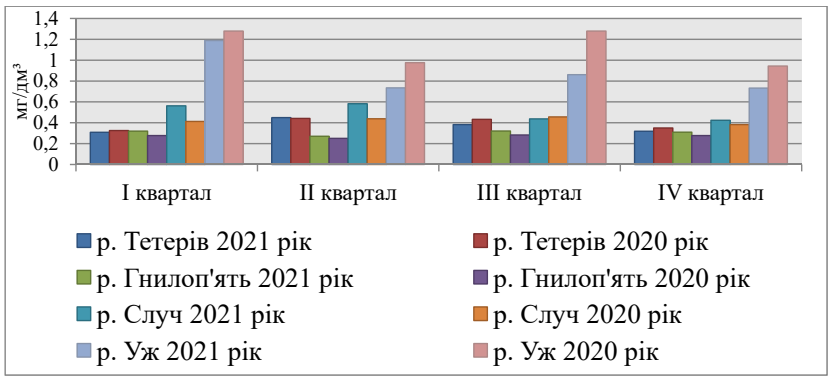


Рис. 2. Динаміка зміни концентрації заліза загального у водозаборах питного водопостачання області у 2020–2021 роках

При вживанні питної води з перевищеним вмістом марганцю призводить до пригнічення роботи центральної нервової системи, та є однією з причин розвитку хвороби Паркінсона. Також, виникають патології серцево-судинної системи та розвиток мутагенних й алергічних реакцій.

Синтетично поверхнево-активні речовини належать до 3-го та 4-го класу небезпеки, тобто є помірно- та малотоксичними речовинами, чинять подразнюючу дію на шкіру та слизову оболонку органів дихання й очей.

Оскільки основним методом знезаражування води у процесі водопідготовки є хлорування, то варто звернути у вагу на його вплив на людський організм. Вплив сполук хлору на організм людини провокує численні захворювання шлунково-кишкового тракту, дихальної, серцево-судинної, сечової системи та опорно-рухового апарату. Також, є ризик виникнення онкологічних захворювань та змін в організмі на генетичному рівні. Даний вплив пояснюється можливістю хлору входити в хімічні реакції з органічними і неорганічними речовинами, утворюючи імунотоксичні, мутагенні, канцерогенні речовини токсини та отрути.

Висновки. Результати аналізу якості поверхневих вод Житомирщини, що використовуються, як джерела питного водопостачання показали, що суттєві перевищення спостерігається за такими показниками як:залізо загальне, нітрати, нітрити, синтетичні поверхнево-активні речовини, хлориди, фосфати, цинк, хром, марганець. Зміна концентрації зазначених речовин мала переважно сезонний характер. Найбільш суттєві перевищення були за показником залізо загальне. Проте цей показним переважним чином зумовлений природною геохімічною обстановкою і значно менше залежить від техногенного впливу. Погіршення якості води чинить негативний вплив не лише на представників водного середовища, але й на стан здоров'я людини, викликаючи патологічні зміни в організмі людини при тривалому та регулярному її вживанні. Особливо страждає система травлення, сечовидільна, дихальна та серцево-судинна. Екологічний ризик буде виявлятися мінімальним, лише в тому випадку, якщо антропогенне втручання у будь який поверх біосфери ґрунтуватиметься на пізнанні та правильному використанні законів розвитку природи. Тому є потреба в підвищенні рівня обізнаності для сприяння визначення засобів покращення здоров'я населення та екологічного стану навколишнього середовища.

Література

1. Лолоцька О. В., Кондратюк В. А., Кучер С. В. Якість питної води як одна з детермінант громадського здоров'я в західному регіоні України. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2019. № 1 (79). С. 12–18.
2. Михайленко В. Л. Якість питної води – фактор, що детермінує стан здоров'я людини (на прикладі Одеської області). *Досягнення біології та медицини*. 2015. № 2 (26). С. 67–70.
3. Андрусишина І.М. Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення (огляд літератури). *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті.* 2015. № 1(16). С. 22–31.
4. Чернега А. М. Гордієнко О. А. Дослідження складу питної води з джерел децентралізованого водопостачання. *Матеріали XLIV науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ.* (Вінниця, 3–6 березня 2015 р.) Вінниця. 2015.
5. Водозабезпеченість Житомирської області URL: https://eprdep.zht.gov.ua/rd_VR_4-1-2.htm (дата звернення: 19.11.2022).
6. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2021 році. URL: https://cutt.ly/PM0QBi7 (дата звернення 10.11.2022).
7. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту програми розвитку агропромислового комплексу Житомирської області на 2021-2027 роки. URL: https://cutt.ly/jM0W68P (дата звернення: 21.11.2022).
8. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2020 році. URL: https://cutt.ly/7M0WlEo (дата звернення 09.11.2022).
9. Басейнове управління водних ресурсів річки Прип'ять. URL: https://buvrzt.gov.ua/yakist.html (дата звернення: 23.11.2022).
10. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Приходько А.П., Соболєва В.Г. Суспільна думка щодо якості питної води та ризику для здоров'я населення. *Екологічні науки*. 2021. № 4(37). С. 28–32.

УДК 574.2
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.6

РАДІОЕКОЛОГІЧНІ МОНІТОРИНГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІХТІОФАУНИ ПЕРШОТРАВЕНСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Маренков О.М., Корженевська П.О., Нестеренко О.С.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна,72, 49010, м. Дніпро
gidrobions@gmail.com, polinka@3g.ua, nefesst@gmail.com

Проведено дослідження радіонуклідів природного і штучного походження (^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) у тканинах та органах риб Першотравенського водосховища. Дослідження проводили на статевозрілих особинах карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch, 1782), карася звичайного (золотого) (*Carassius carassius* Linnaeus, 1758) та ляща звичайного (*Abramis brama* Linnaeus, 1758), які були вилучені у Першотравенському водосховищу під час промислових і контрольно-наукових виловів у весняний період 2021 року. Питому активність радіонуклідів визначали на сцинтиляційному спектрометрі гама–випромінювання СЕГ–001 «АКП–С» та спектрометрі бета–випромінювання СЕБ–01–150 у сертифікованій лабораторії санепідемстанції. Найвищі показники відзначили для ^{40}K, а саме в лусковому покриві сріблястого карася. У значній кількості він накопичується в м'язах ляща та карася золотого. Питома активність ^{232}Th була найвищою в кістках ляща та золотого карася. Радіоізотоп ^{226}Ra накопичується у більшій мірі в кістках золотого карася та ляща, а в організмі сріблястого карася він розподілявся дифузно по всіх тканинах. У кісткових тканинах ляща та золотого карася однаково та у значній кількості накопичується ^{137}Cs, а у сріблястого карася цей елемент розподіляється дифузно по всіх тканинах та органах. ^{90}Sr накопичується в однакових кількостях в кістковій тканині ляща та золотого карася. Рівень вмісту досліджуваних радіоізотопів в іхтіофауні Першотравенського водосховища не перевищував ГДК для риби як харчового продукту, але промисел риби, під впливом негативних антропогенних чинників, потребує постійного моніторингу вмісту радіонуклідів в екосистемах для оцінки надходження цих радіонуклідів в організм людини з рибною продукцією. Отримані результати свідчать, що рибна продукція є придатною для споживання людиною, а радіоекологічну ситуацію в Першотравенському водосховищі можна вважати задовільною. *Ключові слова:* радіоекологічний моніторинг, лящ, сріблястий карась, золотий карась, гідробіоценоз.

Radioecological monitoring studies of ichthyofauna of the Pershotravensky reservoir. Marenkov O., Korzhenevska P., Nesterenko O.

A study of radionuclides of natural and artificial origin (^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) in the tissues and organs of fish of the Pershotravensky Reservoir was conducted. The studies were conducted on sexually mature individuals of prussian carp (Carassius gibelio Bloch, 1782), common (golden) carp (Carassius carassius Linnaeus, 1758) and common bream (Abramis brama Linnaeus, 1758), which were removed from the Pershotravensky Reservoir during industrial and control scientific catches in the spring period of 2021. The specific activity of radionuclides was determined on a SGE-001 «AKP-S» gamma-radiation scintillation spectrometer and a SBE-01-150 beta-radiation spectrometer in a certified laboratory of a sanitary epidemiological station. The highest indicators were noted for ^{40}K, namely in the scale of prussian carp. It accumulates in significant quantities in the muscles of bream and crucian carp. The specific activity of ^{232}Th was highest in the bones of bream and crucian carp. Radioisotope ^{226}Ra accumulates to a greater extent in the bones of crucian carp and bream, and in the body of prussian carp it was distributed diffusely throughout all tissues. In the bones of bream and crucian carp, ^{137}Cs accumulates equally and in significant quantities, and in prussian carp this element is diffusely distributed throughout all tissues and organs. ^{90}Sr accumulates in equal amounts in the bone tissue of bream and crucian carp. The level of the content of the studied radioisotopes in the ichthyofauna of the Pershotravensky Reservoir did not exceed the MAC for fish as a food product, but fishing, under the influence of negative anthropogenic factors, requires constant monitoring of the content of radionuclides in ecosystems to assess the entry of these radionuclides into the human body with fish products. The obtained results indicate that fish products are suitable for human consumption, and the radioecological situation in the Pershotravensky Reservoir can be considered satisfactory. *Key words:* radioecological monitoring, bream, prussian carp, crucian carp, biocenosis.

Постановка проблеми. У проведенні радіоекологічного моніторингу водних об'єктів України важливими є дослідження питомої активності та накопичення радіонуклідів у організмах промислових видів риб, що входять до раціону харчування людини. У сучасних економічних умовах збільшується попит на комплексне рибогосподарське використання водойм, що має значні перспективи. Постає реальна можливість створення збалансованого промислового навантаження зі збереженням аборигенної іхтіофауни та одночасно збереження природного біологічного різноманіття гідроекосистем малих водойм регіону [8, 12].

Дніпропетровська область характеризується напруженою радіоекологічною ситуацією, яка ускладнюється роботою підприємств усіх ланцюгів ядерно-паливного циклу, пов'язаними з гірничою та металургійною промисловістю регіону [11]. Діяльність таких підприємств створює загрозу виникнення радіоактивних забруднень через можливість розповсюдження штучних радіонуклідів [18].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз дослідження радіоекологічного стану водних об'єктів Дніпропетровської області за останні роки [1, 2, 6, 17, 19, 20, 22, 23], а також дані попередніх досліджень [21] дозволяє сформулювати

загальні тенденції щодо вмісту радіоактивних елементів у організмах промислових риб області.

Першотравенське водосховище знаходиться у північно-західній частині Дніпропетровської області, у 10 км. від гирла р. Самоткань. Водопостачання водосховища частково відбувається за рахунок накопичення поверхневих вод із площі басейну р. Самоткань, а в цілому – шляхом надходження водних мас через систему вище розташованих руслових ставків та водойм-накопичувачів Вільногірського гірничо-збагачувального комбінату (ВГЗК) [9]. На теперішній час на території північно-західної частини Дніпропетровської області функціонують підприємства, які пов'язані із виробництвом титанового та цирконієвого концентратів, мінеральних смол і фосфорних добрив тощо. Така продукція технологічно пов'язана із процесом виробництва відходів із підвищеним вмістом ізотопів радію, торію і урану, а також дочірніми продуктами їх розпаду [10]. Таким чином, Першотравенське водосховище є значно трансформованою водною екосистемою, що знаходиться під впливом негативних антропогенних чинників [6, 14].

Актуальність дослідження. Актуальність моніторингу накопичення радіонуклідів у тканинах і органах промислових видів риб Першотравенського водосховища визначається необхідністю оцінки вмісту токсикантів у гідробіонтах, які мають харчове значення. Дані про акумулювання та розподіл в тканинах риб мають значення для вирішення багатьох наукових та практичних завдань [3]. Одним із таких є контроль за якістю харчової рибної продукції та моніторинг біологічного стану водного середовища [16]. Вивчення розподілу радіоактивних елементів у прісноводних екосистемах також становить значний практичний та теоретичний інтерес для дослідження загальних закономірностей міграції, концентрування радіонуклідів у гідробіоценозах та участі в цих процесах живих організмів [7]. Такі дослідження сприяють поглибленому розумінню та прогнозуванню наслідків радіонуклідного забруднення та вивченню процесів природного самоочищення водних екосистем [13], дозволяють отримати реальні кількісні показники міграційного перенесення радіонуклідів у ті чи інші елементи екосистеми.

Беручи до уваги особливу актуальність радіоекологічних досліджень, метою роботи було дослідження та порівняльний аналіз накопичення радіоактивних речовин природного і штучного походження (^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) в тканинах риб Першотравенського водосховища.

Методи дослідження. Дослідження проводили на статевозрілих особинах карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch, 1782), карася звичайного (золотого) (*Carassius carassius* Linnaeus, 1758) та ляща звичайного (*Abramis brama* Linnaeus, 1758), які були вилучені у Першотравенському водосховищу під час промислових і контрольно-наукових виловів у весняний період 2021 року.

Проби тканин та органів висушували при температурі +105°С до постійної маси, а потім спопеляли при температурі +450°С до отримання білої золи. Вміст радіонуклідів визначали на сцинтиляційному спектрометрі гама-випромінювання СЕГ–001 «АКП–С» та спектрометрі бета-випромінювання СЕБ–01–150 в сертифікованій лабораторії. Активність радіонуклідів виражена в Бк/кг природної сирої ваги [15].

Коефіцієнт озолення визначали за формулою:

$$K = \frac{C - A}{B - A} \times 100\%,$$

де К – суха речовина, %; А – маса чашки Петрі, г; В – маса чашки Петрі з наважкою до висушування, г; С – маса чашки Петрі з наважкою після висушування, г.

Концентрацію радіонуклідів розраховували за формулою:

$$C = \frac{K \times j \times v}{P},$$

де С – концентрація радіонуклідів в пробі, Бк/кг; j – концентрація радіонукліду в концентрованій пробі, Бк/кг; *v* – об'єм розведеної проби, мл; Р – вага золи (або сухої тканини), г; К – коефіцієнт озолення, г золи/г сирої ваги.

Статистичний аналіз даних проводили за допомогою стандартного пакету програм Microsoft Excel.

Виклад основного матеріалу. Карась сріблястий (*Carassius gibelio* Bloch, 1782). За результатами досліджень виявлено, що найбільша кількість штучних радіоізотопів міститься в лусці карася сріблястого: ^{137}Cs – 7 Бк/кг, ^{90}Sr – 3,2 Бк/кг. Найменший рівень накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs виявили у тканині серця – 0,6 Бк/кг та 2,2 Бк/кг відповідно. Загалом, за значенням питомої активності вміст ^{137}Cs у тканинах карася сріблястого зменшувався у такій послідовності: луска>шкіра>зябра>м'язи>печінка>кістки>гонади>серце. ^{90}Sr містився у тканинах та органах сріблястого карася у такій послідовності в порядку зменшення: луска>зябра>печінка>м'язи>шкіра>гонади>кістки>серце (рис. 1).

Серед радіонуклідів природного походження найбільшу питому активність має ^{40}K. Найбільшу кількість ^{40}K виявлено в лусці – 115 Бк/кг, ^{232}Th – в печінці карася – 37 Бк/кг, ^{226}Ra – в зябрах – 40,3 Бк/кг (рис. 2).

Для природніх радіоізотопів можна побудувати наступні послідовності накопичення в тканинах та органах у порядку зменшення:

^{40}K: луска>шкіра>кістки>зябра>м'язи>печінка>гонади>серце;

^{232}Th: печінка>м'язи>кістки>серце>гонади>зябра>луска>шкіра;

^{226}Ra: зябра>луска>шкіра>м'язи>кістки>гонади>печінка>серце.

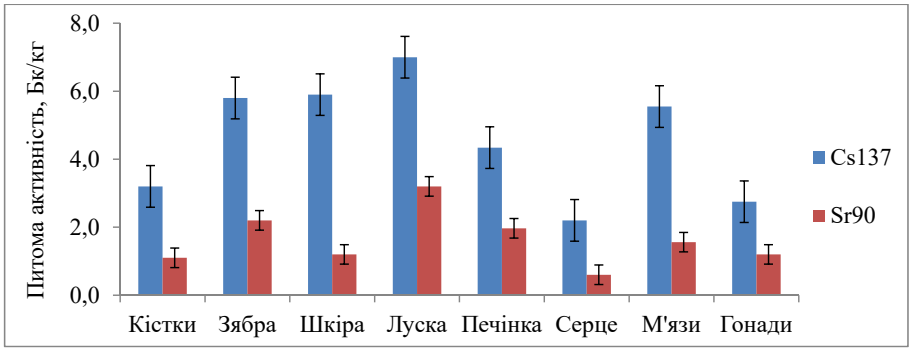


Рис. 1. Накопичення штучних радіонуклідів в тканинах та органах карася сріблястого Першотравенського водосховища

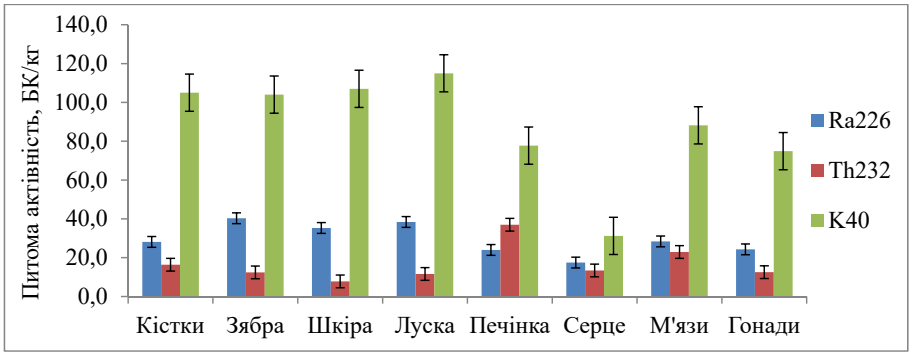


Рис. 2. Накопичення природніх радіонуклідів у біологічних тканинах карася сріблястого Першотравенського водосховища

Золотий карась (*Carassius carassius* Linnaeus, 1758). У тканинах золотого карася найбільшу кількість ^{137}Cs виявлено в кістках – 8 Бк/кг, ^{90}Sr в м'язах – 3,2 Бк/кг. Найменші показники ^{137}Cs та ^{90}Sr відзначались в шкірі – 1,9 та 0,8 Бк/кг відповідно (рис. 3).

Для штучних радіоізотопів можна побудувати наступні послідовності вмісту в органах та тканинах у порядку зменшення:

^{137}Cs : кістки>м'язи>печінка>луска>зябра>гонади>шкіра;

^{90}Sr : м'язи>кістки>гонади>печінка>луска>зябра>шкіра.

Серед природних елементів найвищий рівень ^{40}K виявлено у м'язовій тканині золотого карася – 107 Бк/кг, ^{232}Th та ^{226}Ra найбільше накопичуються у кістках – 56,2 Бк\кг та 44,3 Бк/кг відповідно. Найменша кількість радіоізотопів відзначалась в шкірі карася: ^{40}K – 39,7 Бк/кг, ^{232}Th – 7 Бк/кг та ^{226}Ra – 16,5 Бк/кг (рис. 4).

За рівнями вмісту природних радіонуклідів у тканинах золотого карася можна побудувати наступні послідовності у порядку зменшення:

^{40}K: м'язи>кістки>луска>печінка>гонади>зябра>шкіра;

^{232}Th: кістки>печінка>зябра>гонади>луска>м'язи>шкіра;

^{226}Ra: кістки>луска>м'язи>печінка>зябра>гонади>шкіра.

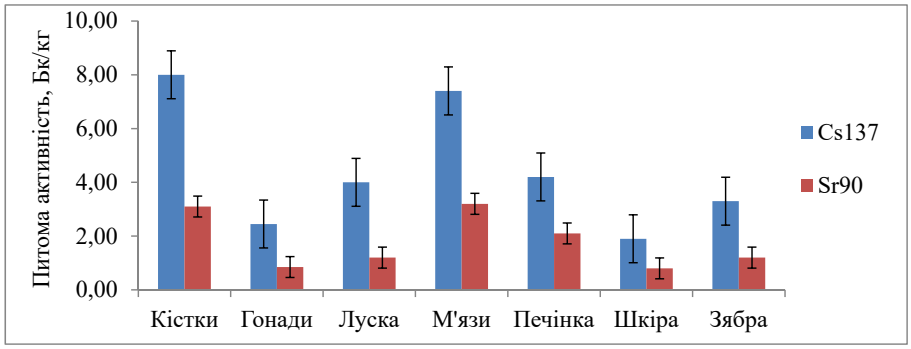


Рис. 3. Накопичення штучних радіонуклідів в тканинах та органах золотого карася Першотравенського водосховища

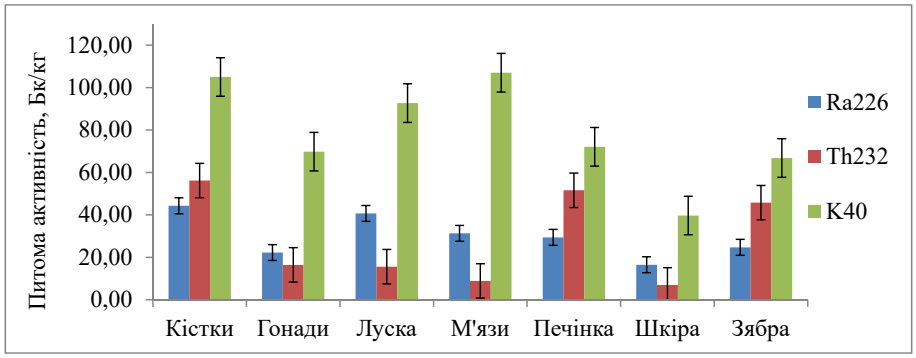


Рис. 4. Вміст радіоізотопів природного походження в тканинах та органах золотого карася Першотравенського водосховища

Лящ звичайний (*Abramis brama* Linnaeus, 1758). Аналіз дослідження показав, що найвищі показники питомої активності ^{137}Cs та ^{90}Sr виявлено в кістках – 8 Бк/кг та 3,1 Бк/кг відповідно. Найменші рівні накопичення штучних радіонуклідів виявлено у лусці: ^{137}Cs – 2,1 Бк/кг , ^{90}Sr – 0,9 Бк/кг. Таким чином, ^{137}Cs та ^{90}Sr містився у досліджуваних тканинах ляща у такій послідовності в порядку зменшення: кістки>м'язи>луска>шкіра (рис. 5).

За результатами досліджень вмісту природних радіонуклідів в тканинах ляща звичайного виявилено наступне: показник ^{40}K був найбільшим в м'язових тканинах ляща – 110 Бк/кг; питома активність ^{232}Th та ^{226}Ra була високою в кістках – 51,6 Бк/кг та 42,3 Бк/кг відповідно (рис. 6).

Найменші показники активності серед природних радіонуклідів у досліджуваних тканинах ляща були: ^{226}Ra – 12,5 Бк/кг у шкірі, ^{232}Th – 5,8 Бк/кг в м'язах та ^{40}K – 38,6 Бк/кг у шкірі. Для природніх радіоізотопів можна побудувати наступні рівні накопичення в тканинах та органах у порядку зменшення:

^{40}K: м'язи>кістки>луска>шкіра;

^{232}Th: кістки>луска>шкіра>м'язи;

^{226}Ra: кістки>луска>м'язи>шкіра.

Виходячи із результатів дослідження видно, що лящ та золотий карась однаково та в достат-

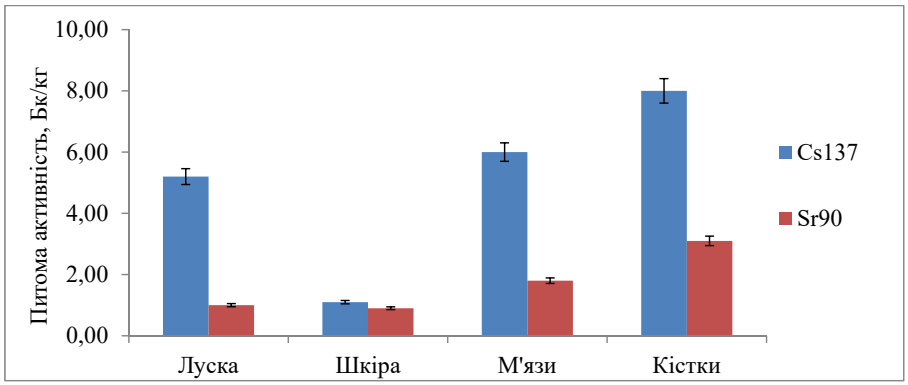


Рис. 5. Накопичення штучних радіонуклідів в тканинах ляща звичайного Першотравенського водосховища

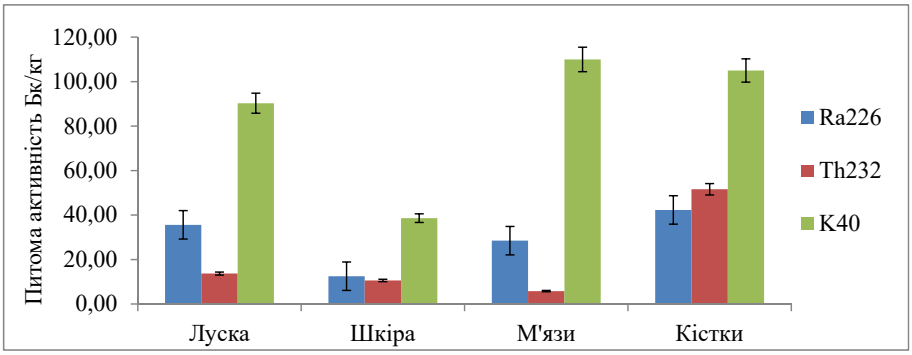


Рис. 6. Вміст радіонуклідів природного походження в тканинах та оранах ляща звичайного Першотравенського водосховища

ній кількості накопичують ^{137}Cs у кістках, тоді як в організмі сріблястого карася даний елемент розподіляється дифузно по всіх органах. Питомі активності ^{137}Cs в рибах коливалися від 1,1 Бк/кг у шкірі ляща до 8 Бк/кг у кістках ляща та золотого карася (рис. 7).

У кістковій тканині ляща та золотого карася ^{90}Sr накопичується в однакових кількостях. У м'язах золотого карася та лусці сріблястого вміст ^{90}Sr знаходиться на високому рівні (рис. 8).

Стронцій-90 дуже близький у хімічному відношенні до кальцію, який, потрапляючи до тваринного організму, відкладається в тканинах, що містять кальцій, головним чином у кістках [4]. Питома активність ^{90}Sr становила від 0,8 Бк/кг у шкірі золотого карася до 3,2 Бк/кг у м'язах золотого карася та лусці сріблястого карася.

Щодо накопичення природних радіоактивних речовин тканинами та органами риб, то виявилось, що найбільші показники має радіоізотоп ^{40}K, у достатній кількості він накопичується в м'язах ляща та карася золотого. У організмі сріблястого карася найвищим рівнем накопичення ^{40}K відзначився лусковий покрив – 115 Бк/кг. Отже, вміст ^{40}K коливався від 38,6 Бк\кг у шкірі ляща до 115 Бк/кг в лусці карася сріблястого. (рис. 9).

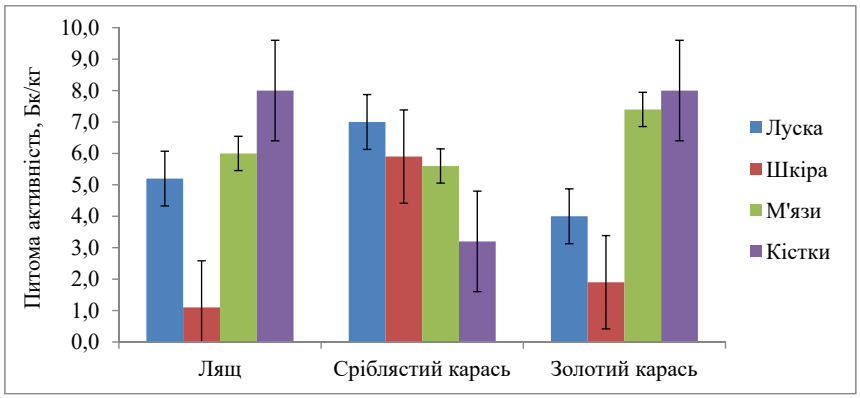


Рис. 7. Вміст ^{137}Cs в тканинах риб Першотравенського водосховища

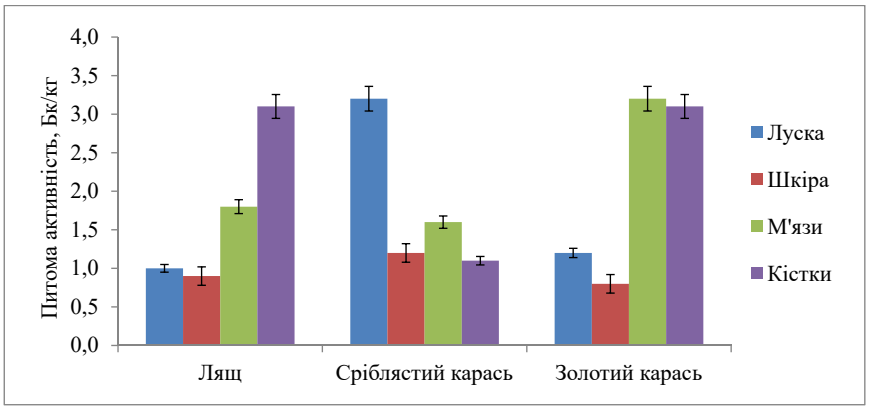


Рис. 8. Накопичення ^{90}Sr в тканинах риб Першотравенського водосховища

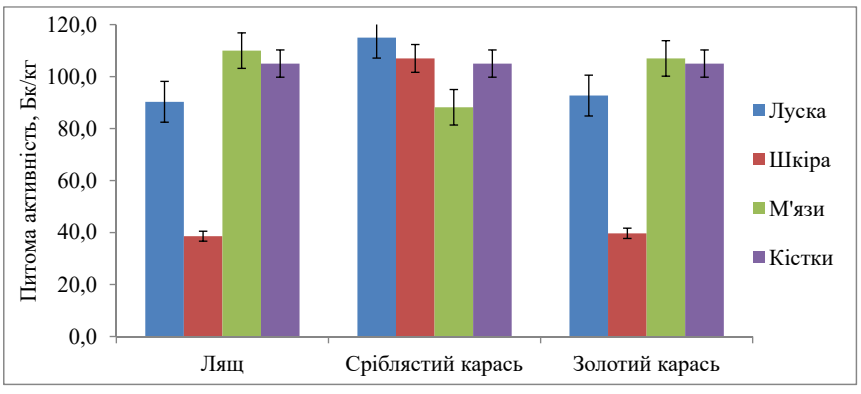


Рис. 9. Накопичення ^{40}K у тканинах риб Першотравенського водосховища

Радіоізотоп ^{226}Ra мав найвищі показники у кістковій тканині ляща та золотого карася – 42,3 Бк/кг та 44,3 Бк/кг відповідно. У тканинах сріблястого карася ^{226}Ra розподілявся дифузно та в достатній кількості у всіх органах. Вміст ^{226}Ra коливався від 12,5 Бк/кг в шкірі ляща до 44,3 Бк/кг в кістках золотого карася (рис. 10).

Лящ та золотий карась в достатній кількості накопичують ^{232}Th в кістковій тканині – 51,6 Бк/кг та 56,2 Бк/кг відповідно. У тканинах сріблястого карася ^{232}Th знаходяться на однаково невисокому рівні. Вміст ^{232}Th коливався від 5,8 Бк/кг у м'язах ляща до 56,2 Бк/кг у кістках золотого карася (рис. 11).

Концентрація радіоактивних елементів у рибах залежить від багатьох факторів, у тому числі від хімічної природи радіоізотопів та взаємодії з іншими компонентами водного середовища. Радіонукліди, що надійшли в організм риб, концентруються залежно від своїх хімічних властивостей у різних органах та тканинах. Так, ^{137}Cs, подібний за хімічним складом з калієм, концентрується в м'язах риб, а ^{90}Sr, що є аналогом кальцію, накопичується в кістковій тканині риб. Відрізняються ці радіонукліди і за швидкістю виведення з організму, значно повільніше виводиться ^{90}Sr, локалізований у кістковій тканині риб, ^{137}Cs порівняно швидко виводиться з м'язів. Таким чином, риби, забруднені радіоізотопами, можуть стати небезпечними джерелами зараження інших тварин, у тому числі людини.

Головні висновки. У значних кількостях у тканинах всіх видів промислових риб Першотравенського водосховища спостерігаються техногенно-підсилені радіонукліди. У залежності від виду риб тенденцію до накопичення штучних радіоізотопів, таких як ^{137}Cs та ^{90}Sr, має кісткова та м'язова тканина, а також лусковий покрив. Лящ та золотий карась накопичують ^{137}Cs кістках в однакових кількостях, але вже в організмі сріблястого карася цей елемент розподіляється дифузно по всіх органах. Стронцій-90 накопичується в однакових кількостях в кістковій тканині ляща та золотого карася.

Серед природних радіонуклідів найвищі показники були визначені для ^{40}K, а саме в лусковому покриві сріблястого карася. Показники ^{232}Th були найвищими в кістках ляща та золотого карася. Радіоізотоп ^{226}Ra знаходився на найвищому рівні в кістках золотого карася та ляща, а вже в організмі сріблястого карася він розподілявся дифузно по всіх тканинах.

Отримані результати свідчать, що рибна продукція є придатною для споживання людиною, а радіоекологічну ситуацію в Першотравенському водосховищі можна вважати задовільною [5]. Таким чином, рівень вмісту досліджуваних радіоізотопів

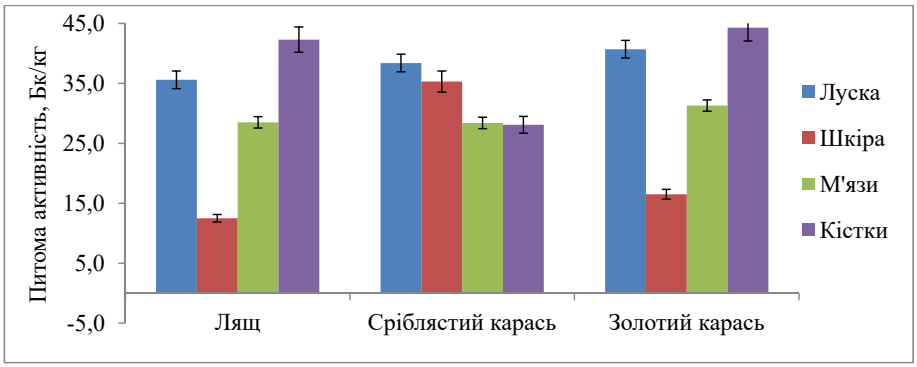


Рис. 10. Вміст ^{226}Ra у тканинах риб Першотравенського водосховища

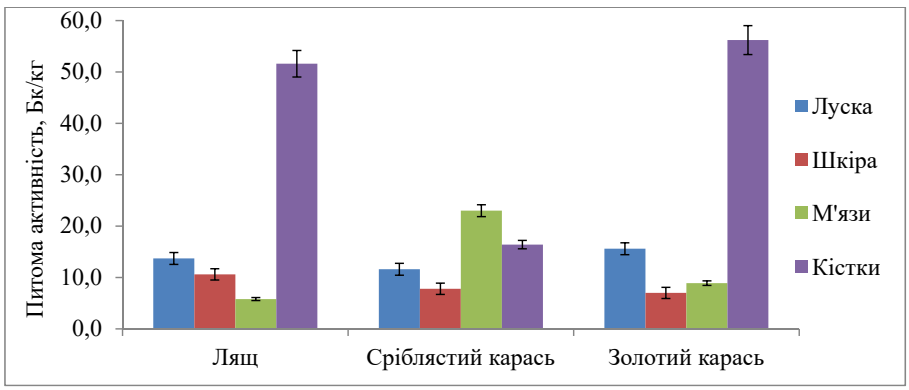


Рис. 11. Вміст ^{232}Th у тканинах риб Першотравенського водосховища

в іхтіофауні Першотравенського водосховища не перевищував ГДК для риби як харчового продукту, але промисел риби, під впливом негативних антропогенних чинників, потребує постійного моніторингу вмісту радіонуклідів в екосистемах для оцінки надходження цих радіонуклідів в організм людини з рибною продукцією.

Перспективи використання результатів дослідження. Дослідження дозволяє зробити висновки про тенденції та обсяги накопичення радіонуклідів різного походження у біологічних тканинах з різним рівнем метаболізму.

Отримані фактичні дані можуть бути використані при виконанні систематичних досліджень закономірностей розподілу та міграції радіонуклідів в водних екосистемах Придніпровського регіону, а також у контексті комплексних радіоекологічних моніторингових досліджень.

Література

1. Ананьєва Т.В., Клименко О.Ю., Федоненко О.В. Особливості накопичення радіонуклідів білим товстолобиком. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*. 2019. № 2. С. 23–26.
2. Ананьєва Т.В., Шаповаленко З.В. Рівні вмісту дозоформуючих радіонуклідів у молоді окуня (Perca fluviatilis) Запорізького водосховища. *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи)*. 2019. № 11(2). С. 161–166.
3. Беляев В.В., Волкова Е.Н., Пришляк С.П., Пархоменко А.А. Особенности радиоактивного загрязнения олиготрофных водоемов. Наук. записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. *Серія: Біологія. Спец. випуск: Гідроекологія*. 2015. № 3–4 (64). С. 48–50.
4. Білоконь Г., Ананьєва Т., Просяник Ю. Моніторингові дослідження накопичення радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr рибами Запорізького водосховища. *Вісник Львівського національного університету. Серія: Біологія*. 2014. № 67. С. 123–128.
5. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР–97). МОЗ України. Комітет з питань гігієнічного регламентування НКРЗУ. Київ. 1997. 38 с.
6. Дворецький А.І., Байдак Л.А., Сапронова В.О. До питання про сучасний радіоекологічний стан водойм Придніпров'я. *Науково-організаційний комітет конференції.* 2019. 75 с.
7. Дворецький А.І., Сапронова В.О., Байдак Л.А., Маренков О.М., Білоконь Г.І., Просяник Ю.І., Зайченко О.Ю. Радіоекологія водойм Придніпров'я. Київ. 2016. 108 с.
8. Гейна К.М. Стан та динаміка поповнення промислового запасу іхтіофауни пониззя р. Дніпро. *Рибогосподарська наука України*. 2019. № 1. С. 17–27.
9. Харитонов М.М. Екологічна оцінка якості води річки Самоткань у районі видобутку поліметалічних руд. *Agrology*. 2019. № 2(1). С. 22–26.
10. Корнілович В., Стрелко В., Кошик Ю., Павленко В. Еколого=хімічні проблеми виобутку та перероблення уранової сировини. *Вісник НАН України*. 2010. № 10. С. 8–14.
11. Кузьменко М.І. Радіоеклогічна ситуація у водоймах України. *Наукові записки Тернопільського національного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія.* 2010. № 2. С. 301–304.
12. Лисиченко Г.В., Ковач В.Е. Мировой опыт реабилитации бывших урановых производств. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2013. № 6. С. 4–12.
13. Новіцький Р.О. Сучасна характеристика іхтіофауни каналу «Дніпро–Донбас». *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Біологія*. 2015. № 25. С. 191–195.
14. Пилипенко О.С., Капля О.І., Бєліков А.С. Аналіз стану радіаційного забруднення хвостосховищ режимної території колишнього уранового виробництва ВО «ПХЗ». *Вісник ПДАБА: до 80-річчя Придніпровської академії будівництва та архітектури.* 2010. № 8. С. 36–41.
15. Романенко В.Д. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. Київ. 2006. 403 с.
16. Шерман І.М., Гейна К.М., Кутіщев С.В, Кутіщев П.С. Екологічні трансформації річкових гідроекосистем та актуальні проблеми рибного господарства. *Рибогосподарська наука України*. 2013 № 4. С. 5–16.
17. Ткаченко К.Ю., Скальський О.С., Бугай Д.О., Лаврова Т.В., Процак В.П., Кубко Ю.І., Авіла Р., Зонор Б.Ю. Моніторинг техногенного забруднення підземних і поверхневих вод у зоні впливу уранових хвостосховищ Придніпровського хімічного заводу (м. Кам'янське). Геологічний журнал. 2020. № 3(372). С. 17–35.
18. Aitsi-Selmi A., Murray V. Chernobyl Disaster and Beyond: Implications of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. Prebosp Dasaster Med. 2016, 31, 1–5.
19. Ananieva TV. Shapovalenko ZV. The content of artificial and natural radionuclides in tissues of the Rercidae fish from the Dnipro Reservoir. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2019. Vol. 9(3). P. 304–308.
20. Ananieva Tamila, Sharamok Tetiana, Marenkov Oleh, Fedonenko Olena. Environmental Characteristics by Eco-Sanitary and Toxic Criteria of the Cooling Pond of Zaporizhzhya Nuclear Power Plant (Ukraine). *International Letters of Natural Sciences*. 2019. Vol. 70. P. 1–10.
21. Korzhenevska P.O., Sharamok T.S., Beletska O.V. Environmental status of the taromsky fisheries (Ukraine). *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*. 2019. № 2. P. 129–140.
22. Marenkov O., Korzhenevska P., Golub I. Accumulation of radionuclides of natural and artificial origin by fish of the Pervotravensk reservoir. *Ecological Science*. 2022. № 3(42). P. 42–48.
23. Marenkov, O. M., & Nesterenko, O. S. Radionuclides content in tissues and organs of pumpkinseed Lepomis gibbosus (Linnaeus, 1758) from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir. *International Letters of Natural Sciences*. 2020. № 79. P. 16–22.

УДК 502.172(477.43-751.3):911.373
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.7

ОСОБЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ПОДІЛЬСЬКІ ТОВТРИ»

Мудрак О.В.[1], **Дем'янюк О.С.**[2], **Андрусяк Д.В.**[2]
[1] Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»
вул. Грушевського, 13, 21000, м. Вінниця
[2] Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України
вул. Метрологічна, 12, 03143, м. Київ
ov_mudrak@ukr.net, demolena@ukr.net, kampodi@ukr.net

Через екологічні, економічні і соціальні наслідки пожежі є однією з головних загроз для природних екосистем, особливо розташованих поблизу урбанізованих територій. Найбільший в Україні, густо заселений сільськими поселеннями, національний природний парк (НПП) «Подільські Товтри», незважаючи на попереджувальні інформаційні заходи та штрафні санкції, демонструє стабільність кількості пожеж впродовж певних періодів року. Мета поданої статті виявити особливості виникнення пожеж на території національного природного парку «Подільські Товтри»та провести соціологічні дослідження, що дозволять проаналізувати ставлення сільського населення парку до пожеж в природних екосистемах. Задля досягнення поставленої мети послуговувалися даними Державної служби надзвичайних ситуацій, матеріалами Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, статистичними системами в інтернет ресурсах для вивчення динаміки зміни інтересів населення, частоти і типів запитів. Дані польових досліджень та фотодокументи збиралися впродовж 2018–2022 років. Як метод дослідження використовували соціологічне опитування сільського населення національного природного парку «Подільські Товтри» та працівників Державної служби надзвичайних ситуацій. В ході проведених досліджень було виявлено комплекс поведінкових проблем, мотивів, поглядів, особливостей сприйняття людьми різних вікових категорій. Такий підхід дозволив проаналізувати як думку окремих осіб, так і загальну тенденцію поведінки населення у поводженні з вогнем у сільській місцевості, розташованій на території національного парку, що у подальшому дасть можливість розробки програми ефективного управління пірогенними загрозами. На основі проведеного дослідження зроблено висновок, що формування екологічної відповідальності і зміни усталеної поведінки мешканців сільських громад потрібно формувати через освіту для сталого розвитку їх громад з огляду на віковий рівень, інформування, профілактичну роботу та залучення фахівців для надання практичних рекомендацій.
Ключові слова: природні екосистеми, сільські поселення, пожежі, антропогенний вплив, соціоекологічне анкетування.

Features of the occurrence of fires on the territory of the National Nature Park "Podilski Tovtry". Mudrak O., Demianiuk O., Andrusiak D.
Due to its ecological, economic and social consequences, fires are one of the main threats to natural ecosystems, especially those located near urbanized areas. The largest in Ukraine, densely populated with rural settlements, the "Podilski Tovtry" National Natural Park (NPP), despite warning information measures and fines, demonstrates the stability of the number of fires during certain periods of the year. The purpose of the submitted article is to reveal the peculiarities of the occurrence of fires in the territory of the "Podilski Tovtry" national nature park and to conduct sociological research that will allow analyzing the attitude of the rural population of the park to fires in natural ecosystems. In order to achieve the goal, we used the data of the State Emergency Service, materials of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, statistical systems in Internet resources to study the dynamics of changes in the interests of the population, the frequency and types of requests. Field research data and photo documents were collected during 2018–2022. A sociological survey of the rural population of the "Podilski Tovtry" National Nature Park and employees of the State Emergency Service was used as a research method. In the course of the conducted research, a complex of behavioral problems, motives, views, peculiarities of perception by people of different age categories was revealed. This approach made it possible to analyze both the opinion of individuals and the general tendency of the population's behavior in dealing with fire in rural areas located on the territory of the national park, which in the future will make it possible to develop a program for effective management of pyrogenic threats. On the basis of the conducted research, it was concluded that the formation of environmental responsibility and changes in the established behavior of residents of rural communities should be formed through education for the sustainable development of their communities, taking into account the age level, informing, preventive work and involving specialists to provide practical recommendations. *Key words:* natural ecosystems, rural settlements, fires, anthropogenic impact, socioecological survey.

Постановка проблеми. Пожежі в природних екосистемах можна назвати одним з самих яскравих прикладів негативного антропогенного впливу, тому культура поводження з вогнем в умовах глобальної зміни клімату набуває особливого значення у відносинах людей та природних територій.

Незважаючи на зусилля, що докладаються працівниками Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, природоохоронних і громадських організацій задля зростання обізнаності українського суспільстві про негативні впливи пожеж на природні екосистеми, частина населення нехтує ризиками, пов'язаними з ними.

Особливо актуальною ця проблема є для об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) країни.

Актуальним є проведення досліджень на виявлення особливостей сприйняття сільським населенням, що проживає в межах заповідного об'єкту, ризику виникнення пожеж у природних екосистемах з вини людини. Це необхідно для того, щоб перейти до підвищення рівня їхньої екологічної освіти й інформування та прийняття певної моделі моніторингу і контролю. Слід додати, щоб мати успіх у реалізації цієї програми необхідно дослідити причини та особливості виникнення пожеж у кожному регіоні окремо.

Актуальність дослідження. Метою запропонованої роботи є виявлення причин виникнення пожеж на території національного природного парку (НПП) «Подільські Товтри» та проведення відповідних соціологічних досліджень, що дозволить проаналізувати ставлення сільського населення, яке проживає на території парку, до пожеж в його природних екосистемах.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями. Відповідно до даних, зібраних Європейською інформаційною системою лісових пожеж (EFFIS), 2022 рік став роком, сповненим кліматичних рекордів, таких як хвилі спеки і посухи (рис. 1). Надзвичайно високі температури значно збільшили ризики лісових пожеж. Наразі Європа подолала нову позначку: цього року через лісові пожежі в країнах ЄС згоріло 657 988 гектарів (дані на 17.08.2022 р.), що є абсолютним рекордом [1].

Така кількість знищених територій є найвищим показником з моменту початку реєстрації (2006 р.). Цього року руйнівні пожежі відбулися не лише в країнах Середземномор'я, а й у широтах, розташованих північніше. Так, за площею 245 061 гектарів, зруйнованих пожежами, що більше ніж утричі перевищує середню за останні 10 років, лідирує Іспанія. За нею йдуть Румунія, де спалено 150 528 гектарів, і Португалія, де згоріло 75 277 гектари природних екосистем [2].

Зміна клімату зіграла ключову роль у поширенні пожеж через послаблення та тепловий стрес лісових екосистем, збільшення кількості сухої рослинності. Зміни клімату послаблюють і піддають стресу лісові екосистеми, збільшуючи кількість і безперервність сухої рослинності, а отже, її горючість. На думку експертів Міжурядової групи ООН зі зміни клімату, пожежі в природних екосистемах стали глобальною загрозою, екологічною та соціальною трагедією, яка щороку спустошує мільйони гектарів, вбиваючи мільйони рослин і тварин [3]. Незважаючи на особливо несприятливі кліматичні умови головною першопричиною виникнення пожеж все ж вважають діяльність людини.

Навіть без явного наміру можна нанести шкоду природі, викликати пожежу: викинути недопалок, залишити тліючі вуглинки вогнища. Проте, Національна лісова корпорація (Corporación Nacional Forestal) Іспанії, що збирає дані про пожежі з 2002 по теперішній час стверджує, що: з вини людини сталось 99,7% пожеж, при чому у 31,4% пожежі були навмисними. З них на спалювання відходів припадає 3,7% [4].

Іспанські дослідники ще у 2004 р. вказували на дуже високий рівень навмисності (53%) [5, 6], що дає уявлення про існування серйозних соціально-економічних конфліктів, які десятиліттями залишаються невирішеними. Як бачимо, рівень навмисності зменшився, однак залишився на значному рівні. Серед інших, однією з вирішальних причин називають широке використання вогню як засобу вирішення господарсько-побутових проблем в сільській місцевості. Здійснювані безконтрольно, без

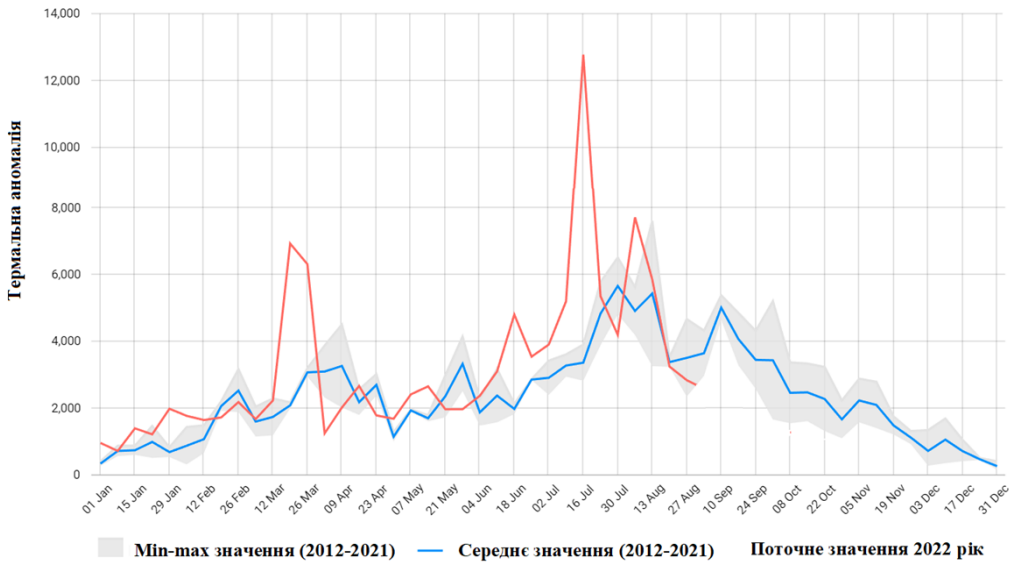


Рис. 1. Кількість теплових аномалій 2022 р. у порівнянні з середнім значенням теплових аномалій за останні 10 років (2012–2021 рр.) [1]

врахування наслідків, спалювання органічних відходів також називають однією з найбільших загроз лісам планети.

Серед інших причин, що з високою ймовірністю можуть спровокувати пожежі називають наслідки рекреаційного використання лісових і сільських територій: походи, риболовля, сільський туризм, спортивні заходи тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження на терені впливу пірогенного фактора на природні екосистеми (Archibald et al., 2018; Bowman et al., 2009; Pausas, Keeley, & Schwilk, 2017) варіюють у своїх висновках від уявлення про вогонь, як руйнівну та незворотну силу (Balch et al., 2018; Stevens-Rumann et al., 2018), так і про вогонь як невід'ємний фундаментальний процес для більшості наземних екосистем планети (He & Lamont, 2018; Pausas & Bond, 2019). Проте усі вони, в основному, схиляються до думки що пожежі формуються діями людини [6-12].

Австралійські дослідники національного природного парку New South Wales [13] вказують на те, що пожежі були частиною австралійських екосистем впродовж мільйонів років і, як результат, екосистеми та їх флора і фауна еволюціонували під дією певних пожежних режимів, але й для них зміна пожежного режиму за межі еволюційно адаптованих порогів може призвести до збоїв функціонування цих екосистем. У результаті спостерігаються структурні зміни і локальне вимирання деяких видів і заселення цих територій іншими. Часті пожежі розглядаються ними як ключовий загрозливий процес, що може змінити структуру рослинності та середовище існування (оселища) тварин, вплинути на накопичення палива та змінити потоки поживних речовин та енергії.

Розгляду пожеж у сільських районах, дотичних до природних екосистем, присвячені праці і ряду американських дослідницьких груп [14–16]. У США спостерігається підвищений ризик виникнення лісових пожеж через вторгнення людських поселень у дику природу і, таким чином, розширення кордону між дикою природою і селитебними ландшафтами з підвищеною ймовірністю загоряння екосистем з вини людини, наявності палива і віддаленістю від засобів пожежогасіння.

Питання пожеж у природних екосистемах НПП України широко висвітлюються у телевізійних новинних каналах та періодичній пресі, обговорюються на різних рівнях від місцевих до парламентських, вносяться зміни у законодавство, проте наукових публікацій бракує. Така робота розпочата для НПП «Подільські Товтри» (О.В. Мудрак, Д.В. Андрусяк, 2022). Запропонована стаття є продовженням викладу отриманих результатів щодо впливу пірогенного фактора на природні екосистеми через висвітлення дослідження причин виникнення пожеж саме на території цього парку [17].

Матеріали і методи досліджень. У дослідженні використані дані Державної служби надзвичайних ситуацій, матеріали офіційного веб-сайту Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, статистичні системи інтернет-ресурсів, нормативно-правові акти, пошукові послуги статистичних систем в інтернет ресурсах для вивчення динаміки зміни інтересів населення, частоти та типів запитів, власні польові дослідження [18].

Дані польових досліджень і фотодокументи збиралися впродовж 2018–2022 років. Розглядалася статистика пошукових фраз та історія запитів у розрізі одного і п'яти років. Як метод дослідження використовували також структуроване інтерв'ю «віч-на-віч» [19] у цільових групах сільського населення НПП «Подільські Товтри» і працівників Державної служби надзвичайних ситуацій.

Географія дослідження відбувалася в Кам'янець-Подільському районі Хмельницької області, що входить до складу НПП «Подільські Товтри». Це дозволило в максимально короткі терміни опитати велику кількість людей і отримати різносторонню інформацію про об'єкт дослідження так, як бачить її респонденти. Таким чином, стало можливим виявити комплекс поведінкових проблем, мотиви, погляди, особливості сприйняття тощо. Такий підхід дозволив проаналізувати думку окремих осіб, а також загальну тенденцію поведінки населення у поводженні з вогнем у сільській місцевості, що дало можливість програмувати попереджувальні заходи.

Виклад основного матеріалу. Особливістю НПП «Подільські Товтри» є надзвичайно багатий світ біорізноманіття, але, разом з тим, надзвичайно тісний контакт з людськими поселеннями, насамперед – з сільськими селитебними ландшафтами. Територія НПП «Подільські Товтри» густо заселена. Окрім одного міста (Кам'янця-Подільського – адміністративного центру парку) і 4 селищ міського типу територія парку, площею 261 316 га, нараховує 196 сільських поселень. Це землі відведені під житлову забудову та ведення присадибного господарства, навколо них агроценози виробників сільськогосподарської продукції тощо. Така кількість антропогенно змінених ділянок парку з їх жителями не можуть не впливати на природні екосистеми. Прикладом того є проблема взаємоіснування сільських поселень та природних екосистем при поводженні з відходами людської життєдіяльності.

У сільській місцевості питання очищення ділянок приватної забудови та дотичних до неї територій від побутових і городніх (органічних) відходів, сухостою вирішується маловитратним за часом та фізичними силами методом спалювання. Через що часто виникають пожежі. Сільські поселення України, як і Європи загалом, старіють на фоні загального зменшення кількості жителів, тому паліями у більшості випадків виступають люди старшого покоління. Вони ж і переважають серед жертв пожеж.

Запізніла реакція на розвиток пожежі, відсутність засобів або активних мереж зв'язку, переляк також призводять до поширення вогню на великих площах. Загалом, людську поведінку у надзвичайних ситуаціях важко передбачити, тим більш людей поважного віку. Упродовж зимового періоду присадибні ділянки селян накопичують сміття, захаращуються часто через нестачу фізичних сил та матеріальних можливостей. Люди старшого віку більш прив'язані до власних домоволодінь, менше часу проводять на дотичних до села природних територіях, що зменшує ймовірність вчасно побачити тління сухої трави, полум'я вогнища навмисно або ненавмисно розпаленого іншими людьми, що можуть розвинутись до розмірів пожежі.

Подібні висновки зроблені і американськими дослідниками [15]. У сільській місцевості, де частка жителів похилого віку була приблизно на 85% вище ніж у містах, спостерігалась більша частота пожеж. Такі пожежі характеризувались більшою випаленою площею і більш низьким соціально-економічним статусом. Представники молодого покоління села все частіше надають перевагу часу проведеному за комп'ютером, ніж прогулянці у природі. Так, через малу відвідуваність природних територій, місцевими жителями упускаються моменти розвитку пожеж, спричинених туристами через викинуті недопалки, полишені вогнища тощо.

Разом з відтоком молодого населення до більш урбанізованих екосистем, зростає і зворотний процес. Все більше міських жителів мають бажання пасивно споглядати природу, активно відпочити на природі. Частина з них постійно відвідує облюбовані куточки природи, але більшість з них у пошуках нових вражень освоює у якості неорганізованих туристів або їх груп все нові території. Як правило, це особливо охоронювані, що вражають красою і нестандартністю. Вони не знайомі з місцевими видами флори і фауни, не знають їхньої созологічної цінності, тому і не мають дбайливого ставлення.

Ще однією проблемою є те, що сільське населення з покоління в покоління проявляло прив'язаність до старих звичок, вірувань щодо поводження з вогнем. В той час як умови проживання і характеристики оточуючого середовища невпинно змінюються, з'являються нові ризики, сільське населення не готове зробити кроки щоби попередити виникнення пожеж у природних екосистемах парку, більш того продовжує провокувати їх.

Для НПП «Подільські Товтри» характерний весняний пік пожежної активності. Найбільша кількість пожеж фіксується у березні-квітні. Саме у цей час відбуваються від 60 до 80% великих пожеж із захопленням значних територій. Їх особливість – усі вони спровоковані сільським населенням. Чому саме цей період року? Після завершення зими, сходу снігового покриву щорічне генеральне весняне прибирання після холодних місяців стало для багатьох українців традицією. У містах з 1 квітня по 30 квітня проводяться місячники благоустрою з гаслом «Чиста громада – це насамперед, показник культури мешканців, які проживають в ній». Прибираються береги річок, території навколо житлових будинків, підприємств і організацій, водоохоронні зони і заповідні об'єкти. Це організовані колективні екологічні акції. І якщо зібране у містах сміття (ТПВ) вивозять працівники комунальних підприємств, то у сільській місцевості весь тягар прибирання лежить на плечах господарів домоволодінь. Українське село характеризується тим, що кожна сім'я має власний окремий будинок з прилеглою земельною ділянкою площею від 25 до 40 соток землі (у середньому). Накопичене за осінній та зимовий період сміття (в основному опале листя, суха трава) спалюється на городах або поза територією домоволодіння. Це відбувається у період, коли рослини ще не проснулись, не з'явилась молода зелена трава. Таким чином, сміття спалюється в умовах безпосереднього контакту з сухим травостоєм. У етнічних традиціях українського народу є особливість виділяти спеціальні дні для прибирання. Це тиждень до Великодня. Господині за тиждень до свята починають вичищати свій будинок та двір, щоб зустрічати його у чистоті. «Кожен день мав свої функції: Понеділок – білили в хатах. Вівторок – прибирали. Середа – прали і прасували. Четвер (Чистий) – купались до схід сонця, вимітали подвір'я, вичищали курник» [20]. Християнські вірування тісно пов'язані з древніми язическими, у яких ретельне прибирання з використанням вогню – це символ вимітання зими, а разом з нею хвороб і загалом різного типу зла. Сучасні українці роблять це з практичного і естетичного погляду. Свої поправки внесла зміна кліматичних умов у бік більш раннього приходу весни. Тому прибирання від сміття розпочинається одразу після сходження снігового покриву без акцентування на певній даті, але обов'язково перед Великоднем. Розглянутий нами весняний період 2020 р. поданий на рис. 2, що є практично аналогічним для інших років.

За два-чотири тижні, що передують Великодню відбувається найбільша кількість пожеж – 76%. Впродовж Вербної неділі їх кількість різко зменшується. Підтвердженням наших висновків є й відсутність підпалів сухостоїв і сміття у недільні дні. Разом з вкоріненою практикою спалювання, пожежі у природних екосистемах, спричинені навмисними підпалами не залишають байдужими українців (більш молоде покоління). Що дана тема є значимою свідчить кількість запитів в Інтернеті (рис. 3).

Числові значення, представлені на графіку, показують частку запитів за ключовими словами у загальній кількості запитів, виконаних за час з 2017 по 2021 роки. За відсутності достатньої кількості даних відображається значення, що дорівнює нулю. Так, активність була проявлена у 2018 р. (березень-квітень, серпень), 2019 р. (лютий-квітень, липень, вере-



Рис. 2. Статистика періодичності виникнення значних пожеж в екосистемах НПП "Подільські Товтри" на прикладі весняного періоду 2020 року (кількість підпалів по дням)

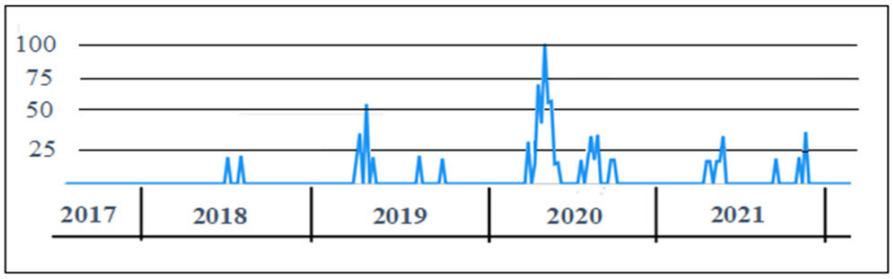


Рис. 3. Інтерес із часом до теми «Підпал трави»

сень), 2020 р. (лютий-травень, липень-вересень), 2021 р. (лютий-травень, серпень, листопад-грудень).

Інформаційний графік, окрім весняного періоду масового палу, виділяє періоди спекотної погоди липня і серпня, коли відбувається самозаймання сміття та спалювання господарських відходів. Спалюють органічні відходи після прибирання городини у жовтні та листопаді. Отже, піки запитів по часу практично збігаються з пожежами, що відбулися. Це є свідченням зацікавленості громадян у цій тематиці загалом та у обставинах виникнення і наслідках пожеж. Тематика запитів українських користувачів: природні пожежі, лісові пожежі, підпал трави, пожежі в лісі, сухостій, спалювання сухої трави. Найбільший інтерес викликала тема «підпал трави». Пошук у статистичних інтернет ресурсах частоти запитів за ключовими словами (і у словосполученнях, синонімах і близьких темах) з додаванням НПП «Подільські Товтри» результатів не дав. Що, нажаль, є свідченням розмежування приналежності території пожежі до території НПП. Тобто, відсутній акцент на тому, що пожежа у наслідок підпалу сухої трави відбувалась на території ботанічного чи орнітологічного заказника, що вогнем можливо охоплені види, які знаходяться на межі зникнення тощо. Вираженим є підвищення активності запитів у зв'язку із змінами законодавства щодо посилення штрафних санкцій, що підтверджує зацікавленість у темі. Слід зазначити, що користувачі при формуванні запитів часто використовують терміни, відмінні від тих, які використовують автори наукових статей та фахівці державної служби надзвичайних ситуацій при описі цих проблем, що позбавляє їх частини інформації і є свідченням недостатнього рівня (відсутності) екологічної освіти.

Іспанія, згадана вище [2], що у Європі найбільш страждає від чисельних та масштабних пожеж, дуже серйозно ставиться до тематичної екологічної освіти з питань пірогенного впливу [21]. Серед конкретних кампаній є спроба змінити поведінкові звички, що викликають лісові пожежі, сприяння обізнаності та участі суспільства в профілактиці [22]. Для цього, здійснюються такі заходи, як публікація інформаційних та навчальних матеріалів для різних груп населення, поради місцевим адміністраціям. Такий досвід варто перейняти.

Висновки. Враховуючи результати досліджень, можна зробити висновок, що мешканці сільських поселень НПП «Подільські Товтри» у більшості своїй не усвідомлюють ризики своєї поведінки для природних екосистем. Наразі необхідно посилити профілактичну роботу серед мешканців сільських поселень щодо запобігання пожежам, недопустимості спалювання відходів і сухостою. Доречно широко інформувати населення про те, що вони проживають на території НПП, де пожежі у природних екосистемах якого мають катастрофічні наслідки для представників біоти.

Особливу увагу слід приділяти людям старшого віку, підходи до інформування яких та надання базових знань з екологічної освіти повинні бути продуманими і відмінними від підходів до молодого покоління. Побороти усталені звички вкрай складно, але і вкрай необхідно. Екологічну відповідальність, зміну поведінки мешканців сільських громад потрібно формувати через освіту для сталого розвитку, використовувати різного роду засоби інформування, здійснювати профілактичну роботу і залучати фахівців для надання практичних рекомендацій. Пошукові системи можуть бути деяким індикатором моніторингу інтересу громадськості щодо теми пожеж та їх наслідків на територіях об'єктів природо-заповідного фонду загалом та НПП «Подільські Товтри» зокрема.

Література

1. Seasonal trend for the European Union. *Thermal anomalies.* URL: https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics
2. Récord histórico de superficie quemada en Europa en 2022, con España a la cabeza. URL: https://www.epe.es/es/medioambiente/20220817/record-historico-superficie-quemada-europa-14296811
3. Fires, forests, and the future. *WWF International*, 2020. URL: https://www. worldwildlife.org/publications/fires-forests-and-the-future
4. Determinación de Causa y Origen de Incendios Forestales. URL: https://www-prevencionincendiosforestales-cl.translate.goog/investigacion-de-incendios-forestales/causas-de-incendios-forestales/historico/?_x_tr_sl=es&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc
5. Chuvieco E., Martín M.P. Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales – CSIC. C*olección de Estudios Ambientales y Socioeconómicos.* 2004. № 4. URL: https://www.researchgate.net/publication/271193789_El_factor_ humano_en_los_incendios_forestales_Analisis_de_factores_socio-economicos_relacionados_con_la_incidencia_de_incendios_forestales_en_Espana.Archibald S., Lehmann C.R., Belcher C.M. Biological and geophysical feedbacks with fire in the Earth system. *Environmental Research Letters*. 2018. №413. URL: https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ead
6. Bowman D., Balch J.K., Artaxo P. Fire in the Earth system. *Science*, 2009. P. 481–484. DOI: 10.1126/science.1163886
7. Pausas J.G., Keeley J.E., Schwilk D.W. Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology,* 2017. P. 289–297. URL: https://doi.org/10.1111/1365-2745.12691
8. Balch J., Schoennagel T., Williams A. Switching on the big burn of 2017. *Fire*. 2018. P.17. URL: https://doi.org/10.3390/fire1010017
9. Stevens-Rumann C.S., Kemp K.B., Higuera P.E. Evidence for declining forest resilience to wildfires under climate change. *Ecology Letters*, 2018. P. 243–252. URL: https://doi.org/10.1111/ele.12889
10. He T., Lamont B.B. Baptism by fire: The pivotal role of ancient conflagrations in evolution of the Earth's flora. National Science Review. 2018. P. 237–254. URL: https://doi.org/10.1093/nsr/nwx041
11. Pausas J.G., Bond W.J. Humboldt and the reinvention of nature. *Journal of Ecology*. 2019. № 107(3). P. 1031–1037. URL: https://doi.org/10.1111/1365-2745.13109
12. Living with Fire in NSW National Parks. A strategy for managing bushfires in national parks and reserves 2012–2021. *Report pollution and environmental incidents.* Office of Environment and Heritage, Sydney, NSW 2012. P. 48. URL: https://www.environment.nsw.gov.au/-/media/OEH/Corporate-Site/Documents/ Parks -reserves-and-protected-areas/Fire/living-with-fire-in-nsw-national-parks-strategy-2012-2021-120690.pdf
13. Radeloff V.C, Helmers D.P, Anu Kramer H. Rapid growth of the US wildland-urban interface raises wildfire risk. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2018. № 115(13). URL: doi: 10.1073/pnas.1718850115
14. Shahir M, Scaduto E, Jin Y. Disproportionate Impacts of Wildfires among Elderly and Low-Income Communities in California from 2000–2020. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021 № 8. P. 392. URL: https://doi.org/10.3390/ijerph18083921
15. Gabbe C.J, Pierce G, Oxlaj E. Subsidized Households and Wildfire Hazards in California Environ Manage. 2020. Vol. 66(5): P. 873–883. DOI:10.1007/s00267-020-013402. URL: http://link.springer.com/article/10.1007/s00267-020-01340-2
16. Мудрак О.В., Андрусяк Д.В. Вплив пірогенного фактора на природні екосистеми національного природного парку «Подільські Товтри». *Агроекологічний журнал. 2022.* № 2. С. 124–138. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263328
17. Prochko A.L., Tishchenko V.I. The relationship of interest in science and statistics of the popularity of scientific queries on the Internet. *Proceedings of the Seventh International Conference.* 2017. P. 456–461.
18. Кушніренко О., Петренко-Лисак А., Шутюк О. Як досліджувати публічні простори в Україні: напрями і методи. *Практичний посібник*. К.: ВАДЕКС, 2020. 38 с.
19. У звичаях, традиціях народу ти душу України пізнавай. URL: http://bibvas.ucoz.ua/faxivcam_dopom/y_zvichajax/u_zvichajakh-tradicijakh_ narodu_ti_dushu_ukrajini_.pdf
20. Carracedo M, Incendios forestales y gestión del fuego en Cantabria. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Santander, 2015. URI: http://hdl.handle.net/10902/6541
21. Pinto P.M., Ondurria D.V. La educación como herramienta en la prevención de incendios forestales. Tabanque: Revista pedagógica. 2004. Vol. 18, P. 189–206.

УДК 556.182:502.52:504.058:504.38
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.8

ПРИРОДНІ ВОДИ ШАЦЬКОГО ПООЗЕР'Я В КОНТЕКСТІ ЗМІН КЛІМАТУ

Яцюк М.В., Сидоренко О.О., Цвєтова О.В., Тураєва О.В., Нечай О.М.
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук
вул. Васильківська, 37, 03022, м. Київ
mv_jatsiuk@ukr.net, 63059@ukr.net, turaieva.olga@gmail.com, water_2019@ukr.net

Проаналізовано стан природних вод Шацького поозер'я в умовах змін клімату. Зазначено, що головними водоносними горизонтами території Шацького національного природного парку, які мають водогосподарське значення і беруть безпосередню участь у формуванні живлення озер, є водоносні горизонти, що залягають у піщаних четвертинних і підстилаючих їх мергельно-крейдяних відкладах та служать основним вододжерелом для населення. Наголошено, що основний вплив на кліматичний режим території Шацького НПП мають метеорологічні чинники та географічне розташування. Проаналізований гідрологічний режим водних об'єктів та гідрогеологічний стан областей формування та живлення. Зазначено, що спостерігається незначне підвищення рівнів ґрунтового та напірного водоносних горизонтів, а, відповідно, і поверхневих, що пояснюється, переважно, дією атмосферних чинників. Зазначено, що хімічний склад води озер Шацької групи протягом десятиріч залишається достатньо стабільним і формування його складу визначається не тільки особливістю водного живлення озер, але й рівнем антропогенного навантаження на акваторію. Встановлено, що негативний вплив змін клімату на водозабезпечення групи Шацьких озер посилює неефективне функціонування наявного фонду меліоративних систем. Доведено, що головними чинниками цього є конструктивна недосконалість (неможливість реалізації функції подвійного регулювання) та незадовільний технічний стан за низького рівня експлуатації і зношеність, що потребує невідкладних заходів з їх модернізації та реконструкції з метою зміни їх цільового призначення з переважного забезпечення функції водовідведення на реалізацію функції водорегулювання шляхом акумуляції, перерозподілу та мінімізації відведення стоку. Встановлено, що для поліпшення стану та водозабезпеченості Шацького поозер'я необхідна розробка та реалізація заходів із запобігання та мінімізації можливого впливу шкідливої дії вод, розроблення комплексних підходів і заходів з оптимізації водокористування, поліпшення якості води, збереження та відтворення водних ресурсів, забезпечення сталого використання і розвитку об'єктів природно-заповідного фонду. *Ключові слова:* зміни клімату, природні води, рівні ґрунтових вод, Шацьке поозер'я.

Natural waters of the Shatsk lake in the context of climate change. Yatsiuk M., Sydorenko O., Tsvyetova O., Turaieva O., Nechay O.
The article analyzes the state of natural waters of Shatsk lake in the context of climate change. It is noted that the main aquifers of the territory of the Shatsk National Nature Park, which have water-economic importance and are directly involved in the formation of lake nutrition, are aquifers that lie in sandy quaternary and underlying marl-cretaceous sediments and serve as the main water source for the population. It was determined that meteorological factors and geographical location have the main influence on the climatic regime of the territory of Shatsky NPP. Analyzed hydrological regime of water bodies and hydrogeological state of areas of formation and feeding. It is noted that there is a slight increase in the levels of ground and pressure aquifers, and, accordingly, surface aquifers, which is mainly due to atmospheric factors. It is established that one of the most important characteristics of natural waters is their chemical composition, the change of which in time allows to conclude about the impact of various factors on natural waters in general. It is noted that the chemical composition of the water of the lakes of the Shatsk group has remained stable enough for decades and the formation of its composition is determined not only by the peculiarity of the water supply of the lakes, but also by the level of anthropogenic load on the water area. It is established that the negative impact of climate change on the water supply of the Shatsk Lakes group is exacerbated by the inefficient functioning of the existing fund of land reclamation systems. The main reasons for this are constructive imperfection (impossibility to implement the function of dual regulation) and unsatisfactory technical condition due to low level of operation and deterioration, which requires urgent measures for their modernization and reconstruction in order to change their intended purpose from the predominant provision of the drainage function to the implementation of the water regulation function by accumulation, redistribution and minimization of runoff. It was established that in order to improve the condition and water supply of the Shatsk lake, it is necessary to develop and implement measures to prevent and minimize the possible impact of harmful effects of water, develop integrated approaches and measures to optimize water use, improve water quality, conserve and restore water resources, ensure sustainable use and development of natural reserve fund objects. *Key words:* climate change, natural waters, groundwater levels, Shatsk lake.

Постановка проблеми. Природні води району Шацьких озер є унікальним об'єктом охорони, що вимагає постійної оцінки і прогнозу режиму їхніх рівнів і гідрохімічних характеристик, зміни яких залежать як від природних чинників, так і від антропогенної діяльності в басейні р. Західний Буг, до якого належить Шацьке поозер'я. Його територія знаходиться на вододільному просторі басейнів річок Західний Буг і Прип'ять, що практично збігається з межами Шацького національного природного парку (НПП). Тут знаходяться 24 озера загальною площею 6354,6 га (13 % від площі Шацкого НПП).

Особливість району розташування природного парку в тому, що його водо-джерела практично не пов'язані з оточуючими річками, – Прип'яттю і Західним Бугом. Водні ресурси формуються як за

рахунок місцевого живлення атмосферними опадами, так і за рахунок вод мергельно-крейдових відкладів. Для даного району територія живлення ґрунтових вод збігається зі сферою їхнього поширення. Розвантаження відбувається завдяки частковому дренуванню мережі природних і штучних водотоків, витрат на поповнення озер, а також шляхом евапотранспірації.

В останні роки зафіксована тенденція значних перепадів кількості опадів по місяцях протягом року. Окрім того, є низка антропогенних чинників, що викликають певну стурбованість через підвищення інтенсивності експлуатації напірних підземних вод крейди, масштабної зміни умов живлення ґрунтового водоносного горизонту (інтенсивне приватне сільськогосподарське використання прилеглих до озера земель), що не спостерігалося раніше, і, зокрема, продовження розробки Хотиславського кар'єру будівельних матеріалів з потужним водовідливом підземних вод.

Мета роботи. Аналіз гідрологічного та гідрохімічного режиму, умов та особливостей формування водозабезпеченості Шацького поозер'я.

Методологія. Застосовано аналітичний і польовий методи дослідження. Для оцінки стану природних вод, визначення вірогідності негативних впливів проведені гідрологічні та гідрогеологічні заміри, аналітичні розрахунки водних балансів, гідрохімічний аналіз. Спостереження за режимом рівня і хімічним складом природних вод здійснюються у мережі спостережних свердловин на ґрунтові (в четвертинних відкладах) і напірні (в верхньокрейдяних відкладах) водоносні горизонти, за рівнями озер по реперах, прив'язаних до куща свердловин, а також по раніше визначених колодязях.

Викладення основного матеріалу. Найвагомішим чинником негативного впливу на водозабезпеченість Шацького поозер'я є зміни клімату. Сучасний клімат Полісся України відзначається нерівномірним розподілом по території потеплінням, особливо у зимові та літні місяці. За останні 120 років середня річна температура повітря у Поліссі підвищилася на 1,8 °С (метеостанція Світязь). За результатами спостережень по метеорологічній станції Світязь за період спостережень з 1985 по 2021 рр. встановлено, що найбільше опадів випало у 2010 р. (863,0 мм), а найменше – у 1986 р. (471,2 мм). За період з 1985 по 2021 рр. найвища середньорічна температура спостерігалася у 2019 р. (+10,4°С), найнижча – у 1987 р. (+6,0°С). Динаміка температури повітря та опадів протягом 2020-2021 рр. відрізнялася від багаторічних даних (рис. 1). Так, середньорічна температура повітря підвищилася у 2020 р. на 0,6°С, за період спостережень у 2021 р. – на 1,1°С, отже , порівняно з нормою за аналогічний період 2021 р., показники середньомісячних температур повітря трохи нижчі, аніж у 2020 р.

Гідротермічні умови території визначаються за окремими показниками температурного стану та режиму зволоження ґрунту і повітря, а також комплексним показником – гідротермічним коефіцієнтом Селянинова (ГТК), результати розрахунків якого показують, що за останнє десятиліття найкритичнішими були 2018 та 2019 рр. (ГТК дорівнював 1,01 та 0,95, відповідно), що свідчить про аридизацію клімату. Але вже у 2021 р. цей показник збільшився і становив 1,8, що пояснюється аномальною кількістю опадів у травні, липні і серпні, тобто за класифікацією Селянинова така територія класифікується як зона надмірного зволоження, що є типовим для зони Полісся. Отже, можна зробити висновок про нерівномірність випадіння опадів, що не сприяє затриманню їх на території водозбору, призводить до збільшення стоку по руслах річок і осушувальним системам та до дефіциту водних ресурсів.

Гідрологічною особливістю території Шацького національного природного парку є тісний гідравлічний та динамічний взаємозв'язок водоносних горизонтів, які не мають чітко відображеного водонепроникного шару. Така закономірність свідчить про те, що порушення хоча б одного компоненту водного режиму призводить до погіршення стану усіх складових водної екосистеми. Зміни гідрологічної

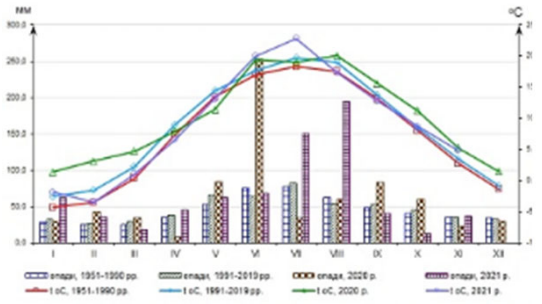


Рис. 1. Динаміка середньо-багаторічних даних температури повітря і опадів та даних 2020–2021 рр. (метеостанція Світязь)

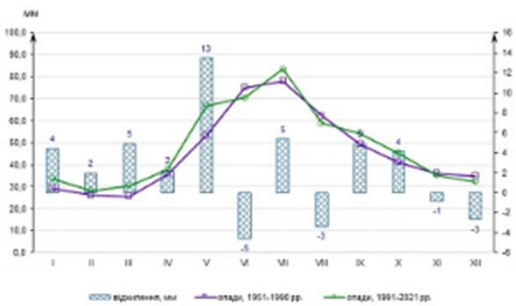


Рис. 2. Зміна кількості опадів у 1991–2021 рр. відносно кліматичної норми (1951–1990 рр.) (метеостанція Світязь)

ситуації призведуть до перерозподілу водних мас, що, в свою чергу, призведе до змін природного стану водно-болотних комплексів, які, згідно Рамсарської конвенції, мають міжнародне значення з 1995 року як частина Міжнародного біосферного резервату «Західне Полісся».

Живлення ґрунтових вод відбувається за рахунок атмосферних опадів шляхом інфільтрації і, дещо в меншій кількості, завдяки притоку поверхневих вод у період повеней та паводків. На окремих ділянках поозер'я, де в озерах відсутня зона замулювання, живлення ґрунтових вод відбувається шляхом перетоку напірних вод верхньокрейдяного водоносного горизонту.

Спостереження за рівнями підземних та ґрунтових вод на території Шацького НПП здійснюються по створах спостережних свердловин оз. Пісочне – оз. Мошно (№№ 4у, 4н, 5у, 6у) та оз. Люцимер – с. Плоске (№№ 12у, 13у, 14у, 15у). За рівнем підземних вод – по «кущах» свердловин біля оз. Мошно (№№ 4у, 4н), біля оз. Світязь (№№ 12у, 13н), біля оз. Чорне Велике (№№ 2у, 2н) (свердловини по «кущах» – одна за рівнем ґрунтових вод, інша – за рівнем напірних вод) (рис. 3–4).

Аналізуючи гідрологічний та гідрогеологічний стан території, що склався протягом 2021 року, необхідно відмітити, що спостерігається невелике підвищення, порівняно з 2019 р., рівнів ґрунтового та напірного водоносних горизонтів, а, відповідно, і поверхневих. Це пояснюється, переважно, дією атмосферних чинників.

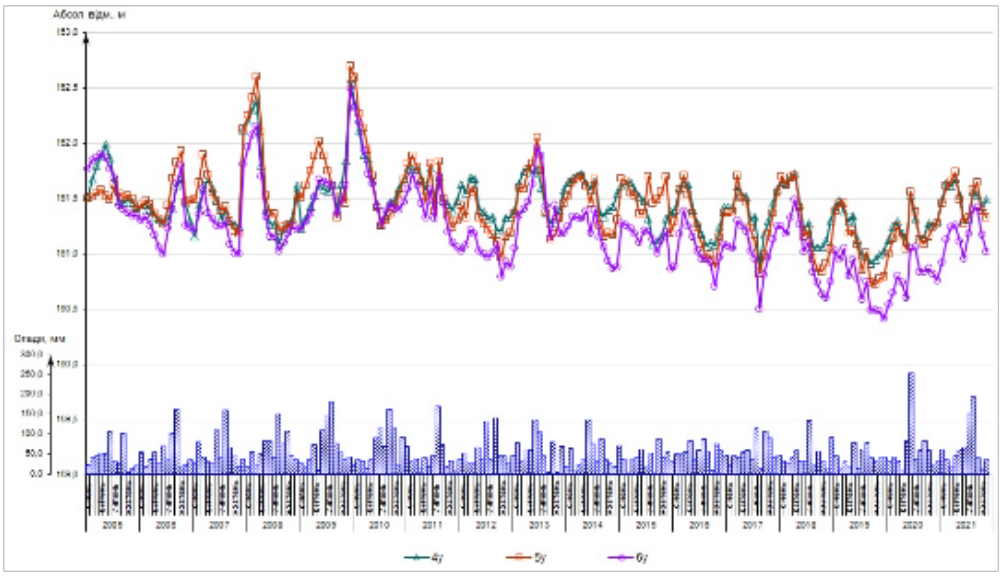


Рис. 3. Графіки коливань рівнів грунтових вод четвертинних відкладів по свердловинах 4у, 5у, 6у

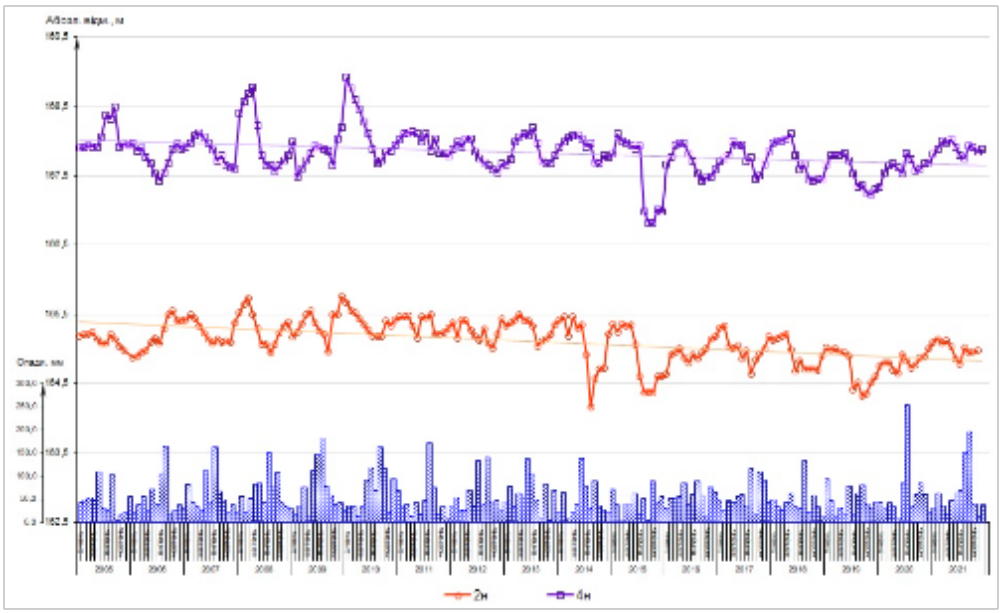


Рис. 4. Графіки коливань рівнів напірних вод крейдяних відкладів по свердловинах 2н, 4н

Середній рівень озера Світязь за 2020 р. – 163,05 м, максимальний – 163,19, мінімальний – 162,95 м. За 11 місяців 2021 року середній рівень води в озері становив – 163,3 м н.р.м, максимальний – 163,32, мінімальний – 163,13 м (рис. 5–6). Для порівняння: найвищий рівень спостерігався в 1999 році – 163,76, а найнижчі рівні озера Світязь спостерігались в 1973 (162,91 м) та 1974 (162,96 м) роках після проведення осушувальних меліорацій, але надалі рівень стабілізувався і коливання відбувались відповідно до сезонів року та циклічно «сухі – мокрі» роки, залежно від метеорологічних умов. Дуже низький рівень у озері спостерігався і у жовтні 2019 р. – 162,94 м.

Починаючи з 2014–2015 рр. в озері спостерігається зниження рівня води, особливо мінімального багаторічного, що неможливо пояснити тільки змінами кліматичних умов (див. рис. 6). Очевидно, що на гідрологічний режим озера впливають також техногенні чинники.

Одна з найважливіших властивостей природних вод – це їхній хімічний склад, зміна якого в часі дозволяє зробити висновок про вплив різних чинників на природні води в цілому.

Хімічний склад води озер Шацької групи протягом десятиріч залишається достатньо стабільним і на його складі позначаються не тільки особливості

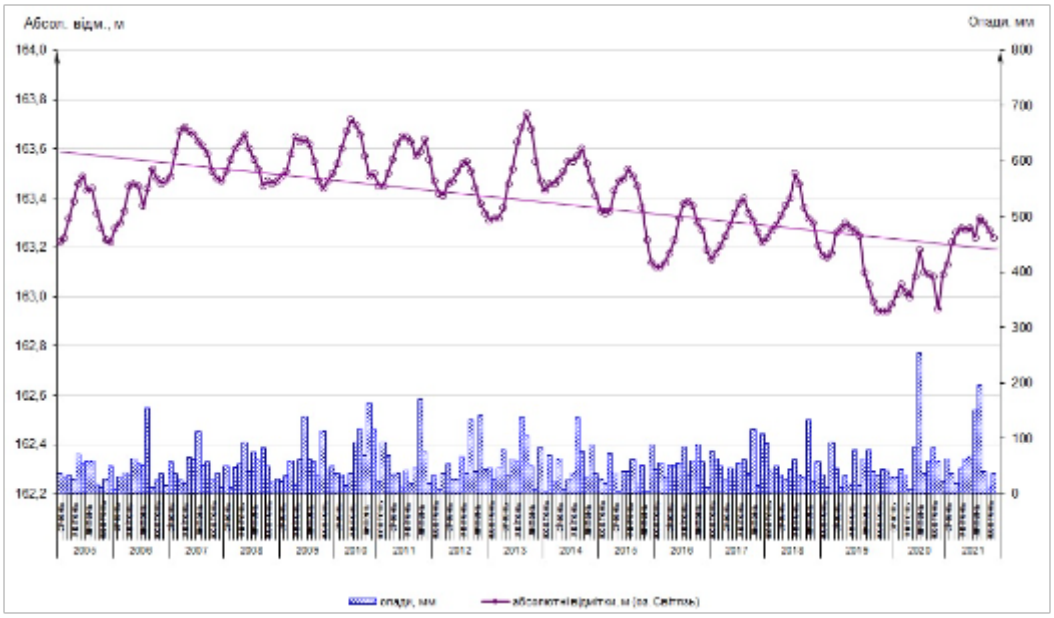


Рис. 5. Графіки коливань рівня води в озері Світязь за багаторіччя

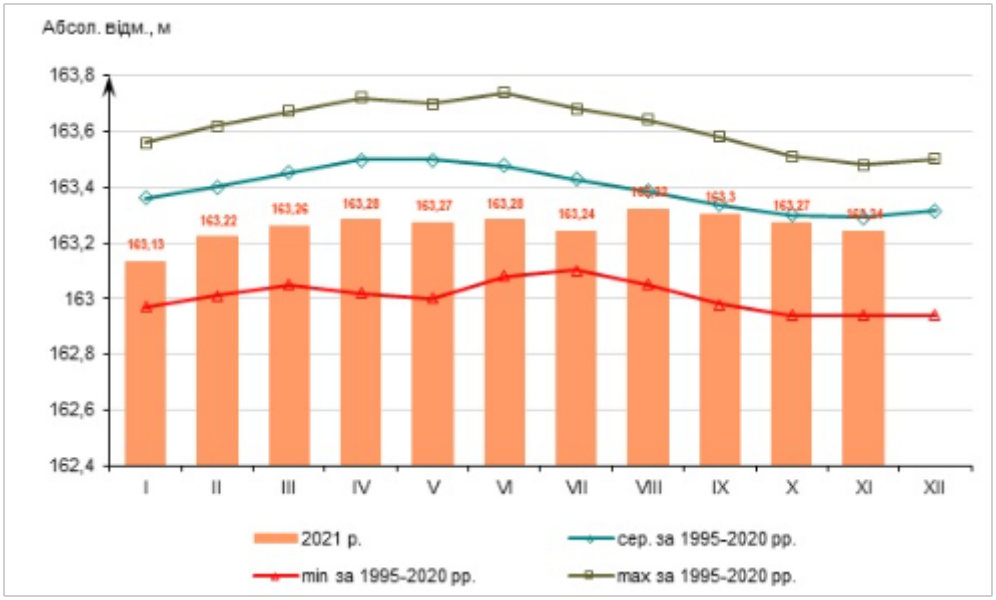


Рис. 6. Динаміка середньомісячних рівнів води в озері Світязь за 1995–2021 рр.

водного живлення озер, але і рівень антропогенного навантаження на акваторію.

В усіх озерах Шацької групи в хімічному складі переважають гідрокарбонати та кальцій. Вміст у воді сульфат- і хлор-іонів незначний. Трапляються незначні перевищення вмісту нітрит-іонів і хлору у воді озера Світязь, що спричинене попаданням органічних стоків з населених пунктів. В той же час всі компоненти знаходяться в межах гранично-допустимих норм.

Озера Шацького НПП належать до маломінералізованих з невисокою загальною мінералізацією вод – 110,5–392 мг/дм^3. Водневий показник pH коливається в межах 6,9–7,4, що свідчить про загальну нейтральність природних вод. Вміст мінеральних форм азоту в озерних водах незначний. Багаторічними спостереженнями визначено підвищений вміст заліза як у поверхневих, так і в підземних водах. Вміст заліза в озерах відмінний і коливається від 0,9 мг/дм^3 в оз. Кримно, до 0,1 мг/дм^3 в оз. Пісочне.

Хімічний склад води озер певним чином узгоджується з їхнім генезисом. Озеро старичного походження Мошно хоча і має однаковий з іншими озерами хімічний склад води, але характеризується значно меншою мінералізацією, ніж озера карстового або льодовикового походження. Карстові озера, що живляться напірними водами, мають загальні з ними властивості хімічного складу, переважаючими компонентами якого є HCO_3^- і Ca^{2+}. Однак мінералізація їхньої води нижча, ніж напірних, що обумовлено , переважно, впливом атмосферних опадів.

Причини змін у хімічному складі визначаються, значною мірою, властивостями ґрунтів, через які фільтруються атмосферні опади. Процес самоочищення для ґрунтових вод незначний і забруднюючі речовини можуть залишатися у водоносному горизонті тривалий час, переміщуючись на великі відстані. Контроль хімічного складу вод досить важливий, тому що ліквідувати забруднення підземних вод дуже важко, легше його попередити, особливо там, де є накопичення або безконтрольне використання мінеральних добрив і отрутохімікатів, а також невпорядковане збереження відходів з ферм, відсутність каналізаційної мережі в населеному пункті. Внаслідок зазначеного забруднення ґрунтові та підземні води стають непридатними для споживання.

Негативний вплив змін клімату на водозабезпечення групи Шацьких озер також посилює неефективне функціонування наявного фонду меліоративних систем (рис. 7), головними причинами якого є конструктивна недосконалість (неможливість реалізації функції подвійного регулювання) та незадовільний технічний стан через низький рівень експлуатації і зношеність. Технологічна спрямованість меліоративних систем переважно на водовідведення в умовах значного зменшення надходження води є дуже важливим чинником посилення процесів обміління озер, що потребує невідкладних заходів з модернізації та реконструкції наявних меліоративних систем з метою зміни їх цільового призначення з переважного забезпечення функції водовідведення на реалізацію функції водорегулювання шляхом акумуляції, перерозподілу та мінімізації відведення стоку.

Висновки. На сьогодні найвагомішим чинником впливу на природні води Шацького поозер'я є зміни клімату, що підтверджується зміною величини гідротермічного коефіцієнта, що характеризує збалансованість водонадходження та випаровування, величина якого для території Шацького поозер'я знаходиться у межах 0,95–1,01. Це свідчить

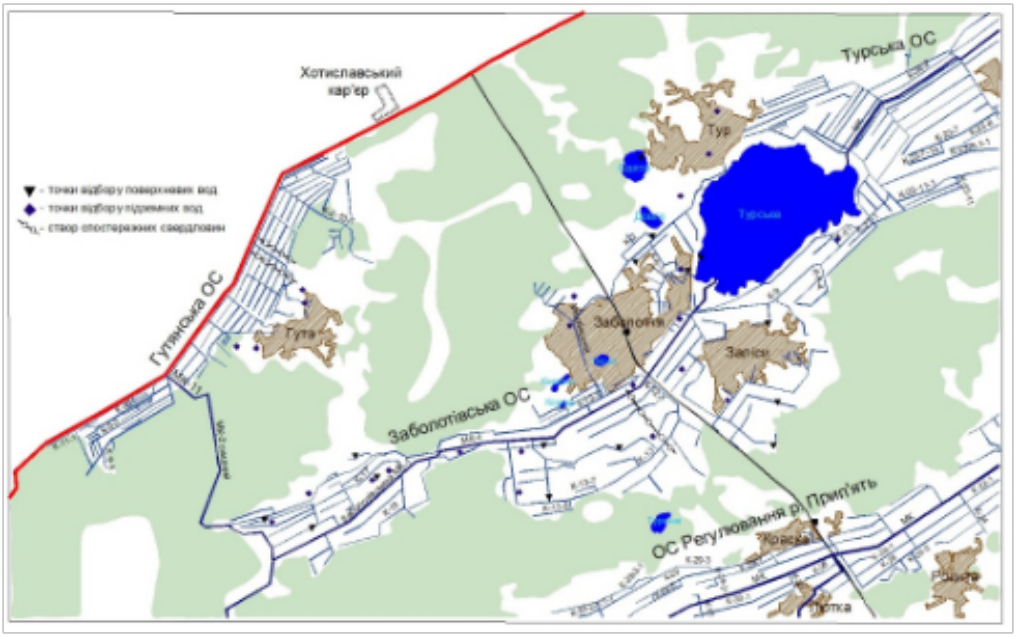


Рис. 7. Карта-схема розташування осушувальних систем

про наявність стійкого процесу аридизації клімату, внаслідок якого переважання водонадходження, що було характерним до 2018 року, змінилося на переважання випаровування. Антропогенний вплив та кліматичні зміни спричинили підвищення випаровування з поверхні, а зливовий і нерівномірний характер опадів не сприяє накопиченню їх на території водозбору, що призводить до наростаючого дефіциту водних ресурсів, особливо у літній період.

Аналіз даних спостережень за гідрологічними, гідрогеологічними і гідрохімічними режимами ґрунтових і напірних вод по мережі існуючих свердловин показав, що коливання рівнів вод синхронні і відображають залежність від кліматичних умов. З'ясовано, що сучасна амплітуда коливань рівнів води (2021 р.) у спостережних свердловинах не перевищує критичної величини. Гідроекологічна ситуація на території Шацького НПП є стабільною, не спостерігається значних та різких перепадів рівнів, хоча у деяких свердловинах намічається тенденція до зниження рівнів ґрунтових та напірних вод, що не виключає впливу водовідливу з кар'єру.

Хімічний склад води озер Шацької групи протягом десятиріч залишається достатньо стабільним і на показники якого впливають не тільки особливості водного живлення озер, але й рівень антропогенного навантаження на акваторію.

Для покращення водозабезпеченості території Шацького поозер'я необхідні розробка та реалізації комплексних підходів і заходів з оптимізації водокористування, підвищення рівня ефективності функціонування меліоративних систем, запобігання та мінімізації можливого впливу шкідливої дії вод і посух, збереження та відтворення водних ресурсів, поліпшення якості води, підвищення екологічної стійкості та збалансованого розвитку території Шацького поозер'я, збереження водних екосистем як унікальних складових навколишнього природного середовища.

Література

1. Алексеєвський В.Є., Бондар О.І. Параметри і критерії оцінки стану елементів навколишнього природного середовища в зоні можливого впливу Хотиславського кар'єру на території України. Київ–Луцьк, 1994. 38 с.
2. Система наблюдений (мониторинг) в зоне возможного влияния Хотиславского карьера / Ред. В.Е. Алексеевский. Киев–Минск, 1994. 35 с.
3. Завершення спостережень, консервація мережі і узагальнення даних по фонових показниках в зоні можливого впливу Хотиславського кар'єру Малоритського КБМ [Текст] : звіт про НДР (закл.) / Інститут гідротехніки і меліорації НААН; керівн. В.Є. Алексеєвський; викон.: О.В. Цвєтова [та ін.]. Київ, 1999. 80 с.
4. Формування режиму природних вод району Шацьких озер в сучасних умовах / за ред. М.І. Ромащенко, Ю.Й Бахмачук. Київ : Аграрна наука, 2004. 94 с.
5. Проведення моніторингових досліджень стану природного середовища на території Волинської області в зоні можливого впливу кар'єру будівельних матеріалів «Хотиславський» (Республіка Білорусь) [Текст] : звіт про НДР (закл.) / Інститут гідротехніки і меліорації НААН; керівн. М.В. Яцюк; викон.: О.О. Сидоренко [та ін.]. Київ, 2020. 73 с.
6. Залеський І.І., Зузук Ф.В., Мельничук В.Г., Матеюк В.В., Бровко Г.І. Шацьке поозер'я. Геологічна будова та гідрогеологічні умови: монографія. Луцьк : Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки, 2014. Т. 1. 190 с.
7. Яцюк М.В., Сидоренко О.О., Цвєтова О.В., Тураєва О.В. Моніторинг та особливості гідрогеологічних та гідрологічних умов Шацького поозер'я в сучасних кліматичних умовах. *Sciences of Europe*. 2021. № 67. С. 51–59.
8. Хомік Н.В. Водні ресурси Шацького національного природного парку: сучасний стан, охорона, управління. Київ : Аграрна наука, 2013. 239 с.

УДК 911.9:62-253.7
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.9

КЛІМАТИЧНІ ЧИННИКИ ТА ЇХНЯ РОЛЬ У РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Лопушанська М.Р., Іванов Є.А.
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів
mariia.lopushanska.agrn@lnu.edu.ua, yevhen.ivanov@lnu.edu.ua

Кліматичні чинники відіграють важливу, нерідко вирішальну, роль у розвитку сонячної енергетики у різних природних ландшафтах Львівської області. Серед кліматичних чинників, що впливають на вибір місця будівництва сонячних електростанцій є такі показники як температура атмосферного повітря, інсоляція сонячної радіації, альбедо земної чи техногенної поверхні, затіненість ділянки та хмарність.

Львівська область розташована у межах помірного кліматичного поясу, а клімат регіону визначено як помірно континентальний. Для оптимальної роботи фотомодулів існують фіксовані параметри, які залежать від умов їхнього тестування STC чи NOCT. Середньорічні температури атмосферного повітря у регіоні становлять +4–8 °С, а показники інсоляції – 958–1 141 кВт/м^2. Тривалість снігового періоду коливається від трьох у рівнинній до шести місяців – у гірській місцевостях.

Виробництво електроенергії від сонячних панелей залежать від правильно обраних кутів їх нахилу. Оптимальні кути нахилу фотомодулів для регіону влітку становлять 30°, у весняно-осінній період – 50°, а взимку – 70°. Глобальне опромінення під оптимальним кутом у Львівській області становить 3 640 Вт/м^2, мінімальне – 3 310 Вт/м^2, а максимальне – 3 720 Вт/м^2. Середні значення питомої вихідної фотоелектричної потужності становлять 3,06 кВт·год/кВт, тоді як мінімальні – 2,81 кВт·год/кВт, а максимальні – 3,12 кВт·год/кВт.

Найкращими територіями для розміщення наземних сонячних станцій у Львівській області є відкриті рівнинні місцевості, на яких відсутні лісові масиви та інші природно-господарські об'єкти, що можуть служити джерелами затінення фотомодулів. У гірській місцевості спостерігаємо менш сприятливі умови для розміщення сонячних станцій, зокрема через особливості форм рельєфу та високу хмарність. Оптимальними площами для встановлення фотомодулів вважаємо дахи будинків та інших приміщень з метою ефективного використання територій і мінімізації впливу на довкілля. *Ключові слова:* сонячна енергетика, клімат, температура, інсоляція, альбедо, затіненість, хмарність, фотомодуль.

Climate factors and their role in the solar energy development in the Lviv region. Lopushanska M., Ivanov Ye.

Climate factors play an important, often crucial, role in the solar energy development in different natural landscapes of the Lviv region. Among the climate factors that influence the construction choice of the site of solar power plants, the main factors are such as air temperatures, solar radiation insolation, albedo of the earth or man-made surface, shading of the site and cloudiness.

The Lviv region is located within the temperate climate zone, and the climate of the region is defined as the temperate continental one. In order to obtain some optimal operation of photomodules, there are fixed parameters that depend on the conditions of their STC or NOCT testing. The average annual air temperature in the region is +4–8 °C, and the insolation indicators are 958–1,141 kW/m^2. The snow period duration varies from three months in the plains to six months in the mountainous areas.

Electricity production from solar panels depends on the correct angles of their inclination. The optimal angles of inclination of photomodules for the region in summer are 30°, in spring and autumn – 50°, and in winter – 70°. The global irradiation at the optimal angle in the Lviv region is 3,640 W/m^2, the minimum is 3,310 W/m^2 and the maximum is 3,720 W/m^2. The average values of specific output photovoltaic power are 3.06 kW·h/kW, while the minimum vales are 2.81 kW·h/kW and the maximum ones are 3.12 kW·h/kW.

The best areas for the placement of ground-based solar stations in the Lviv region are open plains, where there are no forests and other natural and economic objects that are able to serve as sources of shading for photomodules. In mountainous areas, we observe less favorable conditions for the placement of solar stations, in particular due to the peculiarities of relief forms and high cloudiness. We consider the roofs of buildings and other premises to be the optimal areas for the placement of photomodules in order to efficiently use the areas and minimize the impact on the environment. *Key words:* solar energy, climate, temperature, insolation, albedo, shading, cloudiness, photomodule.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток людства призвів до зростання потреб в електроенергії, якої у багатьох регіонах світу не вистачає. У зв'язку з глобальними викликами перед суспільством виникла необхідність пошуку нових альтернативних видів енергетики, які б компенсували її нестачу та дозволили мінімізувати негативний вплив на природне середовище. Одним із таких видів відновлюваних джерел є сонячна енергетика. Проте значним недоліком сонячних електростанцій вважається мінливість обсягів виробництва залежно від кліматичних умов певних територій. Тому важливим етапом вже на стадії їхнього проектування вважаємо врахування кліматичних особливостей з метою отримання максимальної ефективності виробництва електроенергії за мінімального впливу на довкілля.

Понад 75 % виробництва електроенергії у Львівській області припадає на Добротвірську теплову електростанцію, яку відносять до традиційної «брудної» енергетики [1]. В останні практично 10 років ситуація змінюється, зокрема у регіоні з'являються й нові сонячні електростанції (СЕС) [2]. Розвиток сонячної енергетики робить актуальним питання оцінювання кліматичних чинників у регіоні та визначення їхньої ролі.

Актуальність дослідження. У процесі планування розміщення сонячних електростанцій слід врахувати не лише економічну доцільність встановлення, а й природні особливості місцевості. Вважаємо недоцільним будівництво сонячних електростанцій у лісових масивах, в яких деревами створюється затінення для фотомодулів та погіршується їхня робота, а у разі відсутності байпас-діоду, призводить до зниження генерації або навіть припинення роботи фотомодулів. Важливо також враховувати інсоляцію у межах місцевостей, де планується будівництво та оптимальний кут нахилу фотомодулів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У 2003 р. прийнято Закон України «Про альтернативні джерела енергії» [3], у якому зазначено, що до цих джерел відноситься й сонячна енергетика. У 2017 р. схвалено Енергетичну стратегію України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [4], в якій зазначається, що важливим пріоритетом держави є стимулювання розвитку сонячної енергетики, зокрема шляхом будівництва дахових колекторів та електростанцій для приватних домогосподарств.

Станом на 2021 р. у Львівській області обліковано понад 1 300 сонячних електростанцій приватних домогосподарств [5]. У межах рівнинної частини регіону спостерігаємо оптимальні кліматичні умови для розміщення сонячних електростанцій. Важливо збільшити частку дахових СЕС, оскільки важливою їх перевагою є можливість використання дахів та звільнення корисних площ земельних ділянок, що необхідні для наземних СЕС. У містах встановлення дахових СЕС допомагає у боротьбі із глобальними кліматичними змінами та забезпечує можливості автономного джерела електроенергії.

У статті проаналізовано вплив кліматичних чинників на можливості розташування сонячних електростанцій у Львівській області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальні проблеми впливу кліматичних умов на розміщення сонячних електростанцій займались науковці Херсонського національного університету [6], НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» [7], Львівського національного університету природокористування [8], Інституту відновлюваної енергетики НАН України [9]. Іноземні дослідники і виробники фотомодулів та інверторів регулярно публікують інформацію щодо нових технологій та прогрес розвитку галузі [10].

Метою роботи є оцінювання впливу кліматичних чинників на розвиток сонячної енергетики у Львівській області, визначення потенційних місць розміщення об'єктів для забезпечення максимальної ефективної роботи станції при мінімальному впливі на природне середовище.

Новизна. Узагальнено геодані з електронних геоінформаційних ресурсів (SolarGIS, Global Solar Atlas, Deutscher Wetterdienst) та визначено ділянки для потенційного розміщення об'єктів сонячної енергетики у Львівській області.

Методологічне значення. Використано геодані Департаменту паливно-енергетичного комплексу та енергозбереження Львівської ОДА [5], SolarGIS [11], Global Solar Atlas [12], Deutscher Wetterdienst [13] та інформацію із сайтів підприємств, які займаються будівництвом та експлуатацією об'єктів сонячної енергетики [14], українських та іноземних фахових видань. Здійснено аналіз та узагальнення зібраних геоданих, розглянуто кліматичні чинники та їхній вплив на розвиток сонячної енергетики у Львівській області. Дослідження є важливими для визначення потенційних ділянок будівництва сонячних електростанцій на шляху до декарбонізації виробництва електроенергії у Львівській області.

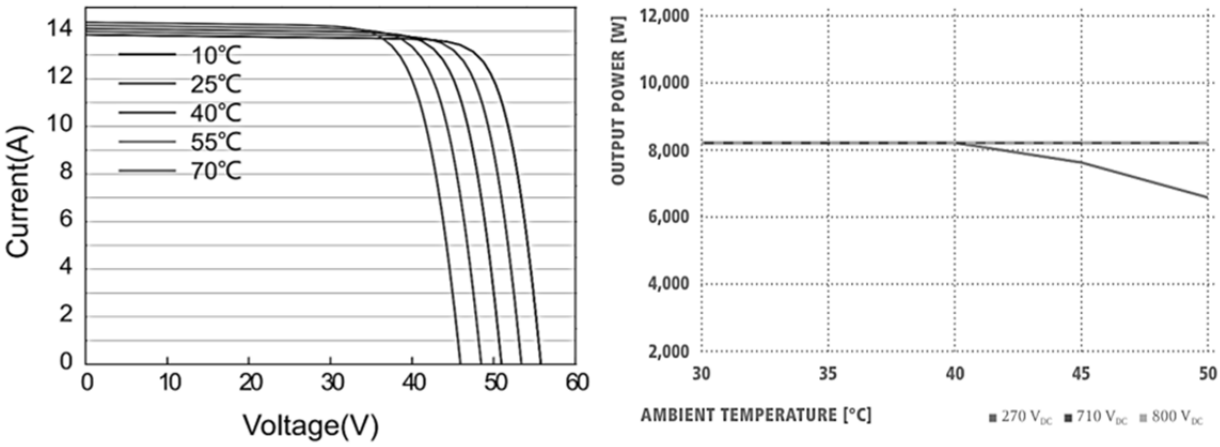
Викладення основного матеріалу. Для розвитку сонячної енергетики головними чинниками виступають температура повітря, інсоляція (глобальне горизонтальне і глобальне нахилене випромінювання), альбедо підстилаючої поверхні, сніговий покрив, хмарність та висота Сонця над горизонтом.

Львівська область розташована у межах помірного кліматичного поясу, а клімат регіону визначено як помірно континентальний. Для оптимальної роботи фотомодуля існують фіксовані параметри, які відображені в його паспорті. Вони залежать від умов тестування фотомодулів.

Умови STC (Standart Test Conditions) є стандартними умовами тестування за ідеальної роботи фотомодуля (інсоляція 1 000 Вт/м^2, температура 25 °С). Ці умови взято для ясного весняного чи осіннього полудня, за умови, що промені падають на поверхню фотомодуля під прямим кутом.

Умови NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) є номінальними умовами роботи фотомодуля за нормальних умов експлуатації (інсоляція 800 Вт/м^2, температура 20 °С, швидкість вітру 1 м/с). Під час випробувань фотомодуль виставлено під кутом 45° з орієнтацією на південь [15].

Температура атмосферного повітря відіграє суттєву роль у роботі СЕС. Зі збільшенням температури фотомодуля зменшується його потужність, що призводить до зниження загальних об'ємів виробництва електроенергії станцією. Розглянемо на прикладі вольт-амперної характеристики для фотомодуля JAM78S30 580-605 MR (рис. 1а). Потужність



а) *б)*

Рис. 1. Залежності параметрів фотомодулів від кліматичних чинників: а) сили струму і напруги від температури фотомодуля JAM78S30 580-605 MR [16]; б) потужності інвертора FroniusPrimo 8.2-1 від температури [17]

фотомодуля за температури комірки 10 °С становить 748 Вт, за температури 25 °С – 737 Вт, за температури 70 °С – 630 Вт [16].

Зі збільшенням температури повітря зменшується потужність інвертора, а для їх охолодження використовують додаткове обладнання. Для оптимальної роботи інвертор ховають у місцях без прямого попадання сонячних променів, а їх перегрів сприяє зменшенню вихідної потужності станції (рис. 1б) [17].

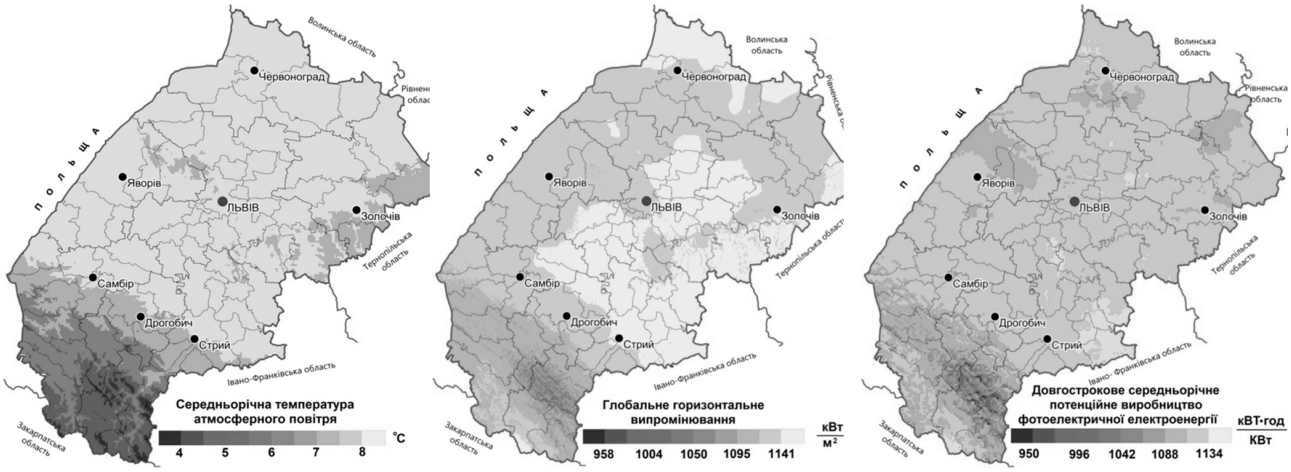
Середньорічні температури атмосферного повітря у Львівській області згідно з даними SolarGIS змінюються від +4 (гірська частина) до 8 °С (рівнинна частина) (рис. 2а). У гірській частині регіону зафіксовано мінімальні значення температури на метеостанціях Турка (-31,7 °С) і Славське (-33,6 °С), а на рівнинній частині – на метеостанціях Львів і Рава-Руська (-32,4 °С). Абсолютний мінімум температури повітря на Львівщині зареєстровано на метеостанції Турка (-39,0 °С). У свою чергу абсолютний максимум температури повітря у регіоні зафіксовано на метеостанції Дрогобич (+38,1 °С) [18]. Враховуючи показники температури повітря у Львівській області, можна оцінити умови як оптимальні для будівництва електростанцій, що не призведять до сильного перегрівання фотомодулів та інверторів.

Інсоляція (глобальне горизонтальне випромінювання) є потоком сонячної радіації, що під прямим кутом надходить на земну поверхню від сонячних променів за світловий день та вимірюється у кВт/м^2. Згідно з геоданими ресурсу SolarGIS [11], середньорічні показники інсоляції у регіоні змінюються від 958 (Сколівська, Славська, Козівська, Турківська і Східницька громади) до 1 141 кВт/м^2 і вище у рівнинній частині області (рис. 2б).

Для нормальної роботи фотомодулів за NOCT умовами необхідно, щоб інсоляція перевищувала 800 Вт/м^2. Середні показники інсоляції у Львівській області становлять 3 100 Вт/м^2, а мінімальні – 2900 Вт/м^2 [11]. Загалом, для оптимальної роботи нових сонячних електростанцій у регіоні достатньо обсягу глобального горизонтального випромінювання.

Виробництво електроенергії від сонячних панелей залежатиме від кута їхнього нахилу. Оптимальним кутом нахилу у широтах області є 30–35°. Глобальне нахилене опромінення під оптимальним кутом у Львівській області становить 3 640 Вт/м^2, мінімальне – 3 310 Вт/м^2, а максимальне – 3 720 Вт/м^2 [11]. На основі геоданих SolarGIS, у регіоні визначено показники питомої вихідної фотоелектричної потужності (рис. 2в). Середні значення на Львівщині становлять 3,06 кВт·год/кВт, тоді як мінімальні – 2,81 кВт·год/кВт, а максимальні – 3,12 кВт·год/кВт [22] (рис. 3).

Альбедо (відбивна здатність поверхні) є здатністю земної або техногенної поверхонь відбивати чи розсіювати сонячні промені та визначають у відсотках. У свою чергу, в іноземних працях це безрозмірний показник, що змінюється від 0 до 1. При цьому нульове значення відповідає чорній поверхні, яка повністю поглинає радіаційне випромінювання. Альбедо не є постійним для певної території, оскільки земна поверхня має власні показники. Показники альбедо у 5 % (0,05) відповідають чорному асфальтному покриттю і водним об'єктам, 10 % (0,10) – лісовим масивам і парковим зонам, 15 % (0,15) – забудованим міжбудинковим просторам, 20 % (0,20) – дахам будинків, 25–30 % (0,25–0,30) – трав'яному покриву 30 % (0,30) – піщаному покриву, 90 % (0,90) – свіжому сніговому покриву [21, 22]. Для врахуванням відбивної здатності розроблено спеціальний вид двосторонніх (Bifacial) сонячних панелей (рис. 4). За умови використання особливостей відбиваючої поверхні ці панелі збільшують обсяги виробництва електроенергії на 25 % [23].



а) б) в)

Рис. 2. Кліматичні чинники розвитку сонячної енергетики у Львівській області [11, 19]: а) середньорічна температура повітря; б) інсоляція (глобальне горизонтальне випромінювання); в) довгострокове середньорічне потенційне виробництво фотоелектричної електроенергії

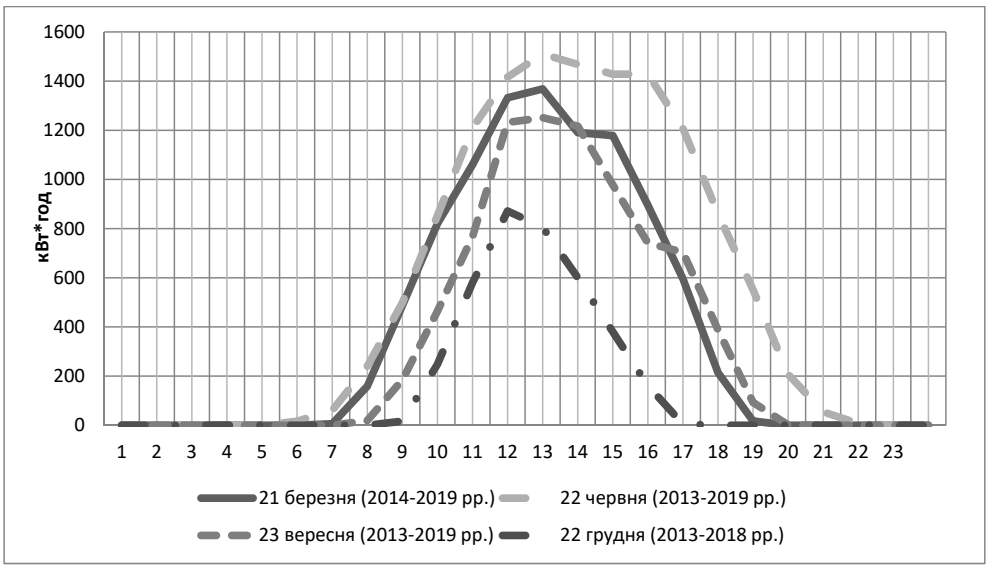


Рис. 3. Виробництво електроенергії на Самбірській СЕС у дні рівнодення і сонцестояння (2013–2019 рр.) [20]

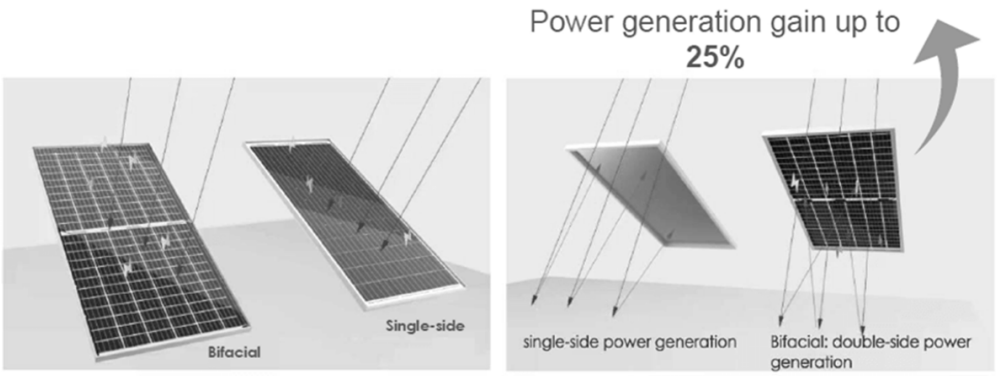


Рис. 4. Порівняльна характеристика односторонніх та двосторонніх фотомодулів сонячних панелей [23]

Особливо високі показники альбедо властиві для вкритої снігом земної поверхні. Згідно з даними Німецької служби погоди (Deutscher Wetterdienst) [13], тривалість снігового періоду у Львівській області коливається від трьох у рівнинній до шести місяців – у гірській місцевостях. Перший сніг у регіоні випадає переважно у листопаді та залишається на земній поверхні до лютого-березня – у рівнинній і до квітня – у гірській місцевостях.

Затіненість території є іншим важливим кліматичним чинником, що впливає на виробництво сонячної енергії. Через виникнення затінення поверхні та відсутність сонячного випромінювання зменшується ефективність роботи фотомодулів і він взагалі не зможе виробляти електроенергію (вночі, або при вкритті снігом).

Хмарність також суттєво впливає на ефективність роботи фотомодулів. Згідно з даними Німецької служби погоди [13], у Львівській області показник хмарності залежно від року коливається від 37,5 до 62,5 % у літній період та понад 75 % взимку. Середньорічний показник хмарності у регіоні становить 50–75 %, а кількість похмурих днів – від 150 до 200 днів.

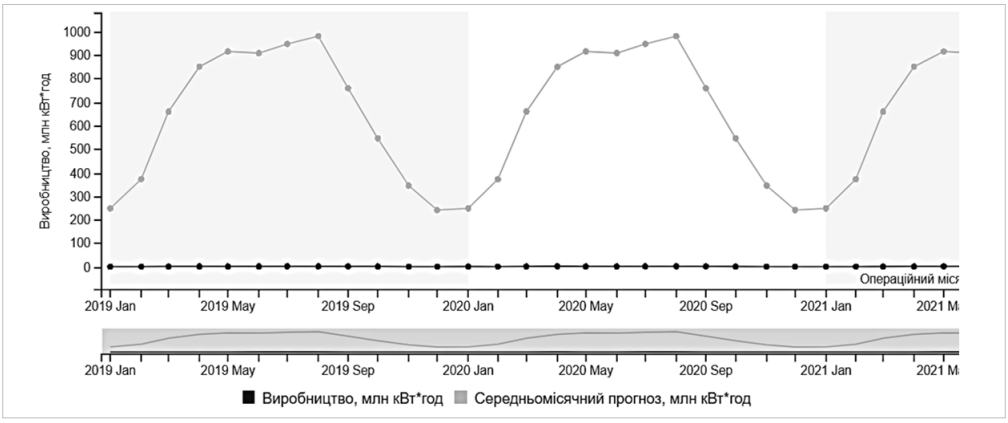
У свою чергу, кількість годин із сонячним світлом на Львівщині становить до 400 год. взимку і до 800 год. влітку – у гірській і до 1 000 год – у рівнинній частині регіону. Середньорічна кількість годин із сонячним світлом у Львівській області сягає 2 000 год. – у гірській і до 2 250 год. – у рівнинній його частині [13]. На прикладі Бориславської СЕС розглянемо обсяги виробництва електроенергії на сонячних електростанціях у регіоні (рис. 5а). Як бачимо, найбільше обсяги виробництва припадають на квітень-серпень (понад 800 млн кВт·год), коли тривалість сонячного випромінювання є більшою, а найменше – на грудень-січень (до 300 млн кВт·год).

Кут нахилу фотомодулів є ще одним важливим параметром, який значною мірою впливає на ефективність роботи сонячних електростанцій у Львівській області. Він залежить від висоти Сонця над горизонтом. Цей кут можна змінювати залежно від пори року. Запропонований оптимальний кут нахилу фотомодулів для регіону влітку становить 30°, у весняно-осінній період – 50°, а взимку – 70° (рис. 5б) [25].

Висновки. Пропонуємо на розгляд такі головні висновки і рекомендації:

1. Кліматичні чинники відіграють важливу, нерідко вирішальну, роль у розвитку сонячної енергетики у Львівській області. Серед цих чинників виокремимо такі показники як середньорічні температури атмосферного повітря, інсоляція сонячної радіації, альбедо земної чи техногенної поверхні, затіненість ділянки та хмарність.

а)



б)

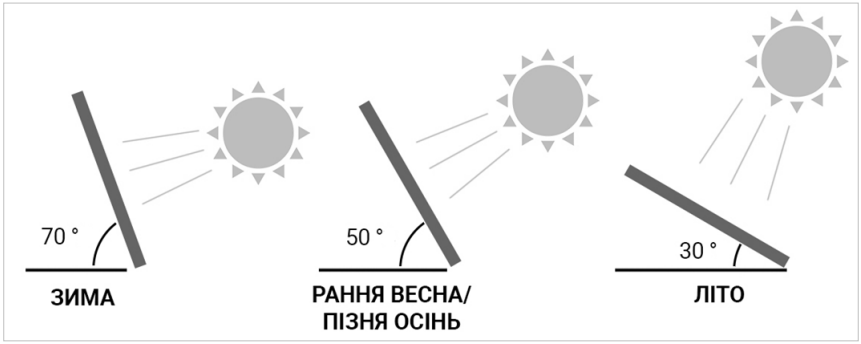


Рис. 5. Залежність обсягів виробництва сонячної енергії у Львівській області від кліматичних параметрів: а) графік виробництва електроенергії на Бориславській СЕС [24]; б) оптимальний кут нахилу фотомодулів [25]

2. Найкращими територіями для розміщення наземних сонячних станцій у Львівській області є відкриті рівнинні місцевості, на яких відсутні лісові масиви та інші природно-господарські об'єкти, що можуть служити джерелами затінення фотомодулів. У гірській місцевості спостерігаємо менш сприятливі умови для розміщення сонячних станцій, зокрема через особливості форм рельєфу та високу хмарність.

3. Найоптимальнішими площами для розміщення фотомодулів вважаємо дахи житлових будинків і великих виробничих приміщень з метою ефективного використання територій і мінімізації впливу на довкілля.

Література

1. Геоекологія Львівської області: монографія / за заг. ред. Є. Іванова. Львів : Простір-М, 2021. 606 с.
2. Lopushanska M., Krychevska D., Ivanov E., Pylypovych O. Geography, current state and development prospects of renewable energy facilities in Western Ukraine (example of Lviv region). *Geo Decade 2020-2030*: International Geographic Conference (24–26 November 2020, Sofia, Bulgaria): Book of abstracts. Sofia, 2020. P. 41–43.
3. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20 лютого 2003 р. № 555-IV. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2003. № 24. ст. 155. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text
4. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р / Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text
5. Департамент паливно-енергетичного комплексу та енергозбереження Львівської ОДА: офіційний сайт. URL: https://loda.gov.ua/departament_palyvno_energetychnogo_kompleksu_ta_energozberezhennya
6. Андронова О., Курак В. Оптимізація розміщення приймачів сонячної енергії рядами для кліматичних умов півдня України. *Відновлювана енергетика.* 2020. № 2 (61). С. 41–53. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.2(61).45-53.
7. Дёмин Д., Гаевская А., Гаевский О. Фактор потери мощности фотоэлектрических модулей при их взаимном затенении и оптимизация улов наклона и расстояния между рядами модулей. *Відновлювана енергетика.* 2019. № 4 (59). С. 37–48. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4(59).37-48.
8. Гальчак В., Боярчук В., Сиротюк В., Сиротюк С. Параметри прямого потоку сонячної енергії при ясному небі з урахуванням прозорості атмосфери. *Відновлювана енергетика.* 2019. № 2 (57). С. 22–31. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2(57).22-31.
9. Рєзцов В., Матях С., Кудреватих О. Інтерактивна карта потенціалу сонячної енергії України. *Відновлювана енергетика.* 2018. № 4 (55). С. 34–42. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2018.4(55).34-42.
10. Hu P. T., Negnevitsky M., Kashem M. A. Loading Capabilities Assessment of Power Transmission Lines. *Faculty of Engineering and Information Sciences – Papers*: Part A. 4409. URL: https://ro.uow.edu.au/eispapers/4409
11. SolarGIS: офіційний сайт. URL: https://solargis.com
12. Global Solar Atlas: офіційний сайт. URL: https://globalsolaratlas.info/map
13. Deutscher Wetterdienst: офіційний сайт. URL: https://www.dwd.de
14. Еко-Оптіма: офіційний сайт. URL: http://www.ecooptima.com.ua/#projects
15. Технічні характеристики Vitovolt 300 та їхні значення Viessmann. URL: https://serviceportal.viessmann.ua/articles/tehnicni-harakteristiki-vitovolt-300-ta-ihni-znacenna
16. Harvest the Sunshine. Deep Blue 3.0. JA Solar JAM78S30 580-605 MR. URL: https://www.jasolar.com/uploadfile/2022/0513/20220513051007792.pdf
17. Fronius. Fronius Primo 8.2-1: офіційний сайт. URL: https://220volt.com.ua/uploads/shop_product/1678/58/738.pdf
18. Львівська область: природні умови та ресурси: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів: В-во Старого лева, 2018. 592 с.
19. Solensy. Сонячна інсоляція в Україні: офіційний сайт. URL: https://solensy.com.ua/sonyachna-insolyacziya
20. Статистичні дані виробництва електроенергії у дні рівнодень та сонцестоянь (2013-2019 рр.) та щомісячного виробництва (2016–2018 рр.) Самбірської сонячної електростанції (ТОВ «Еко-оптіма»).
21. Sweeney A., West R. P., O'Connor C. Parameters Affecting the Albedo Effect in Concrete. *Semantic Scholar*. URL: https://www.ecocem.co.uk/wp-content/uploads/2016/08/ECL019_Parameters_Affecting_the_Albedo_Effect_in_Concrete.pdf
22. The Albedo Concept in Solar Panels. *AmeriSolar Panels Manufacturer*. URL: https://www.weamerisolar.eu/albedo-in-solar-panels.
23. Rodríguez L. Bifacial modules: the future of solar PV? A comprehensive guide on financial and technical performance of the next hot thing in solar. *Rated Power*. URL: https://ratedpower.com/blog/bifacial-modules
24. Платформа Energo.ua: офіційний сайт. URL: https://www.energo.ua
25. Оптимальний кут для сонячних панелей. *Сонячна енергія*: інтернет-магазин. URL: https://sun-energy.com.ua/articles/kut_paneli

УДК 628.4.04
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.10

ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ ХІМІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН

Сталінська І.В.
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків
stalinskaairina5@gmail.com

Проаналізовані причини накопичення хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР) в Україні. Охарактеризовано вплив даних речовин на довкілля. Названі фактори, що ускладнюють ситуацію щодо поводження з некондиційними ХЗЗР в Україні. Доведено, що заборонені до використання ХЗЗР, які використо-вуються після закінчення термінів зберігання – це група хімічних речовин, які відносяться до стійких органічних забруднювачів (СОЗ), що є надзвичайно токсичними та небезпечними хімічними сполуками. Виявлено, що на сьогодні в Україні немає екологічно безпечних технологій утилізації такого типу небезпечних відходів. Проаналізовано способи знешкодження некондиційних та заборонених ХЗЗР, що використовуються в даний час у світовій практиці. З усіх існуючих методів найбільш екологічно ефективним є спалювання в спеціальних високотемпературних печах, обладнаних сучасними системами очищення димових газів та контролю за викидами і небезпечними рештками. Встановлено, що температура термічного знищення має бути понад 1000 °С; а геометрія гарячої зони печі для спалювання ХЗЗР повинна забезпечити перебування газів у зоні високих температур понад 2 с при необхідному вмісті кисню в зоні реакцій термічного знищення ХЗЗР >6 %. Розроблено нову еколого-економічно ефективну технологію та обладнання для знищення рідких та твердих ХЗЗР шляхом дозованого вдування їх у факельну зону пальників цементних і аналогічних випалювальних печей. Дана технологія передбачає попередню підготовку твердих ХЗЗР за допомогою їх подрібнення з подальшим дозуванням та змішуванням з вторинним повітрям для подачі в пальник печі. Дисперсна суміш «повітря-ХЗЗР» одночасно з утворенням подається стисненим повітрям в теплообмінний апарат, який використовує тепло газів, що відходять від цементної печі, і далі вдувається в піч. Суміш спалюють у факелі топкових газів при t = 1400–1650 ºС протягом 7-8 с, що забезпечує повне розкладання всіх токсичних діоксино- та фураноподібних сполук. Потім продукти згоряння пропускаються через теплообмінні апарати для нагрівання дисперсної суміші та повітря дуття і направляються на традиційне газоочищення. *Ключові слова:* утилізація, хімічні засоби захисту рослин, заборонені до використання, сільськогосподарські підприємства, стійкі органічні забруднювачі, цементна випалювальна піч, дисперсна суміш, факел, технологія, устаткування.

Technology of disposal of chemical means of plant protection. Stalinska I.
The reasons for the accumulation of chemical plant protection products (CPPs) in Ukraine were analyzed. The impact of these substances on the environment is characterized. It has been proven that the banned CPPs, which are used after the expiration of the storage period, are a group of chemicals that belong to persistent organic pollutants (POPs), which are extremely toxic and dangerous chemical compounds. The negative impact of POPs on the environment and human health has been assessed. The methods of disposal of prohibited CPPs, which are currently used in world practice, are analyzed. Of all the existing methods, the most environmentally effective is burning in special high-temperature furnaces equipped with modern systems for cleaning flue gases and controlling emissions. It is established that the temperature of thermal destruction should be over 1000 °C; and the geometry of the hot zone of the furnace for burning CPPs should ensure the stay of gases in the high-temperature zone for more than 2 seconds («the 2-second rule») with the required oxygen content in the reaction zone of thermal destruction of CPPs >6%. A new ecologically and economically effective technology and equipment has been developed for the destruction of liquid and solid hazardous wastes by blowing them into the flame zone of the burners of cement and similar firing furnaces. This technology involves pre-preparation of solid CPPs by grinding them with subsequent dosing and mixing with secondary air for supply to the furnace burner. The mixture is burned in a flue gas torch at t = 1400–1650 ºC for 7-8 seconds, which ensures complete decomposition of all toxic dioxin- and furan-like compounds. Then the combustion products are passed through heat exchangers for heating the dispersed mixture and blowing air and are sent to traditional gas cleaning. *Key words:* utilization, chemical plant protection products, prohibited for use, agricultural enterprises, persistent organic pollutants, cement kiln, dispersed mixture, torch, technology, equipment.

Нагромадження хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР) на території України розпочалося ще за часів Радянського Союзу, коли Україна була країною з розвинутим сільським господарством, що передбачало централізоване постачання значних обсягів добрив та пестицидів в український аграрний сектор. Слід відмітити, що серед ХЗЗР, які використовувались в Україні, перевага надавалась тим, що мали в своєму складі найбільш стійкі для довкілля компоненти, так як вони найбільш ефективно впливали на підвищення врожаїв, але в той же час були надзвичайно небезпечні для людини та довкілля. Згодом було прийнято рішення щодо заборони використання таких ХЗЗР. Крім того, застосування техніки сівозмін призвело до зменшення потреби в хімікатах, а обмежений термін їх придатності – до утворення некондиційної продукції. Заборонені ХЗЗР, разом з непридатними до використання, тими, що втратили маркування, або використання яких було обмежено, почали у великій кількості накопичуватись на територіях сільськогосподарських підприємств і почали становити реальну загрозу для довкілля (потрапляти

у водні об'єкти, ґрунти, атмосферне повітря) та здоров´я населення прилеглих територій. Питання щодо подальшого поводження з ними на той час не вирішувалось і вони продовжували зберігатись на спеціалізованих складах сільсько-господарських підприємств (рис. 1).

До того ж з початком процесів реформування аграрного сектору економіки України ситуація ускладнюється наступними факторами:

1) відсутні вичерпуючі дані про стан наявних ХЗЗР;

2) довгострокове зберігання ХЗЗР призводить до хімічних реакцій та утворення нових сполучень з невідомими властивостями.

3) багато місць і ємкостей для зберігання ХЗЗР не відповідають технічним, екологічним та санітарно-гігієнічним вимогам;

3) значна частина ХЗЗР не упізнана або знаходиться у вигляді сумішей невідомого хімічного складу;

4) наявні ХЗЗР часто змішані з відходами будматеріалів зруйнованих складських приміщень та підстилаючої поверхні;

5) *місця зберігання непридатних та заборонених до використання* ХЗЗР *піддаються розкраданню та потерпають від пожеж;*

6) юридичні особи та організації – власники ХЗЗР або ж їх правонаступ-ники ухиляються від встановленого Законом порядку поводження з цими речовинами [1–7].

Відомо, що заборонені до використання ХЗЗР, які використовуються після закінчення термінів зберігання – це група хімічних речовин, які відносяться до стійких органічних забруднювачів (СОЗ), що є надзвичайно токсичними та небезпечними хімічними сполуками. Їм властиві чотири загальні властивості:

1. Висока стійкість у навколишньому природному середовищі (НПС) – стійкість до фотохімічного та мікробіологічного окислення.

2. Здатність до біоакумуляції, яка обумовлена високою ліпофільністю, що дозволяє небезпечним хімічним сполукам накопичуватися в жирових тканинах і просуватися харчовими ланцюгами.

3. Здатність до переміщення в НПС на великі відстані (з повітряними та водними потоками або мігруючими видами тварин).

4. Здатність викликати віддалені ефекти (канцерогенні, мутагенні та ін.).

До переліку СОЗ входять деякі сполуки з класу так званих поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), поліхлоровані дифеніли (ПХД), поліхлоровані дібензо-п-діоксини (ПХДД), поліхлоровані дібензофурани (ПХДФ), а також пестициди, в тому числі ДДТ і гексахлорбензол.

Так склалося, що на сьогоднішній день в Україні немає екологічно безпечних технологій утилізації такого типу небезпечних відходів як СОЗ. До 2015 року вони експортувалися в країни ЄС, які мають необхідні потужності для екологічно безпечного знищення ХЗЗР. Але через законодавчі прогалини механізм транскордонного перевезення відходів в рамках Базельської конвенції у нас було заблоковано. То ж на даний час проблема залишається критичною і поставити остаточну крапку у її вирішенні можливо лише за умови повного знешкодження непридатних ХЗЗР на спеціалізованих підприємствах.

В результаті проведених теоретичних досліджень [1–5] виявлено, що з усіх існуючих методів



Рис. 1. Характерний стан місць розміщення некондиційних ХЗЗР у регіонах України

знешкодження непридатних ХЗЗР найбільш екологічно ефективним є спалювання в спеціальних високотемпературних печах, обладнаних сучасними системами очищення димового газу та контролю за викидами і небезпечними рештками.

Як показує аналіз науково-технічної літератури, патентів на винаходи та результатів світового та вітчизняного досвіду [1–4], термічне знищення складних галогеновмісних органічних речовин, у т.ч. некондиційних ХЗЗР, при Т=600–850°С супроводжується утворенням твердих відходів в обсязі до 25–30% від вихідного об'єму, які до того ж містять високотоксичні речовини, і вимагають знешкодження або спеціального режиму поховання та значної кількості високотоксичних діоксино-фураноподібних проміжних газоподібних сполук.

Таке низькотемпературне спалювання ХЗЗР, особливо при повільному їх нагріванні в результаті поступового розігріву, не дозволяє широко та безпечно використовувати термічні агрегати для спалювання некондиційних ХЗЗР через утворення діоксинів, фуранів та ПАВ як у процесі термічного знищення, так і в процесі подальшого охолодження відхідних газів.

При цьому процес формування діоксино- і фураноподібних сполук (ДФС) з некондиційних ХЗЗР, що неповністю розклалися, виглядає наступним чином [6]:

– окислювальний піроліз галогеновмісних органічних речовин зі складу відходів, які знищуються:

$$C_nH_m + O_2 \rightarrow z\,C_{n-x}H_{m-y}O\,; \qquad (1)$$

– утворення сажі та синтез газу при високих температурах:

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2\,; \qquad (2)$$

– гетерогенний каталітичний синтез нових проміжних галогеновмісних органічних сполук і радикалів (R), їх сорбція на поверхні аерозолів сажі:

$$CO + H_2 \rightarrow CH_x + \text{ПАВ} + \text{ДФС} + \text{неогранічні сполуки} + R, \qquad (3)$$

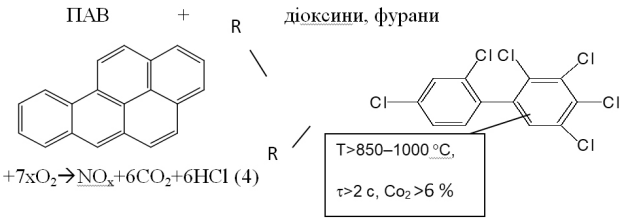
– синтез діоксиноподібних сполук, їх сорбція на поверхні частинок сажі у відхідних газах при $T \le 600 - 850°C$.

Багатьма вченими країн Європи, США, Канади, України та ін. [6] було встановлено, що повне та остаточне знищення галогеновмісних органічних речовин, що входять до складу некондиційних ХЗЗР у процесі їх термічного знищення і високотоксичних діоксиноподібних вторинних сполук, які утворюються при цьому, наприклад, ПАВ, відбувається тільки при дотриманні наступних технологічних параметрів:

– температура термічного знищення має бути понад 1000 °С;

– згідно з Нормативами ЄС, геометрія гарячої зони печі для спалювання ХЗЗР повинна забезпечити перебування газів у зоні з Т>850 °С протягом понад 2 с («правило 2 секунд») при необхідному вмісті кисню в зоні реакцій термічного знищення некондиційних ХЗЗР >6 %.

За цих умов відбувається повне розкладання складних галогенвміщуючих сполук в газах і основних обпалюваних матеріалах і не створюються передумови для їх регенерації в газах, що відходять з термічного агрегату (4). Хоча, виконати комплекс цих умов на практиці дуже важко.



Після аналізу способів знешкодження некондиційних та заборонених ХЗЗР, що використовуються в даний час у світовій практиці, нами було розроблено нову еколого-економічно ефективну технологію та обладнання для знищення рідких та твердих ХЗЗР шляхом дозованого вдування їх у факельну зону пальників цементних та аналогічних випалювальних печей (спільно зі струменем вторинного повітря, що подається в пальник) [5–7].

Для забезпечення миттєвого високотемпературного нагріву некондиційних ХЗЗР, що знищуються, і усунення явища повторного утворення діоксинів, фуранів і ПАВ необхідне безпосереднє введення знищуваних ХЗЗР у факел паливного пальника випалювальної печі, де температура досягає 1600 °С.

Дана технологія передбачає попередню підготовку твердих ХЗЗР за допомогою їх подрібнення до 300 мкм з подальшим дозуванням та змішуванням з вторинним повітрям для подачі в пальник печі. Підготовка рідких ХЗЗР здійснюється шляхом дозування та створення повітряно-крапельної суміші з розміром крапель до 400 мкм.

Дана дисперсна суміш «повітря-ХЗЗР» одночасно з утворенням подається стисненим повітрям в теплообмінний апарат, який використовує тепло газів, що відходять від цементної печі, і далі вдувається в піч. Повітря дуття з нагрітою дисперсною сумішшю «повітря-ХЗЗР» подається в піч при масовому співвідношенні від 1:0,01 до 1:0,1. Суміш спалють у факелі топкових газів, що виходить із пальникового пристро печі, при t = 1400–1650 °С протягом 7–8 с, що, в свою чергу, забезпечує повне розкладання всіх токсичних діоксино- та фураноподібних сполук. Після чого продукти згоряння пропускаються через теплообмінні апарати для нагрівання дисперсної суміші «повітря-ХЗЗР» і повітря дуття і направляються на традиційне газоочищення (рис. 2).

Слід відмітити, що розроблений спосіб дозволяє (без використання додаткової каталітичної обробки) забезпечити повне розкладання токсичних компонен-

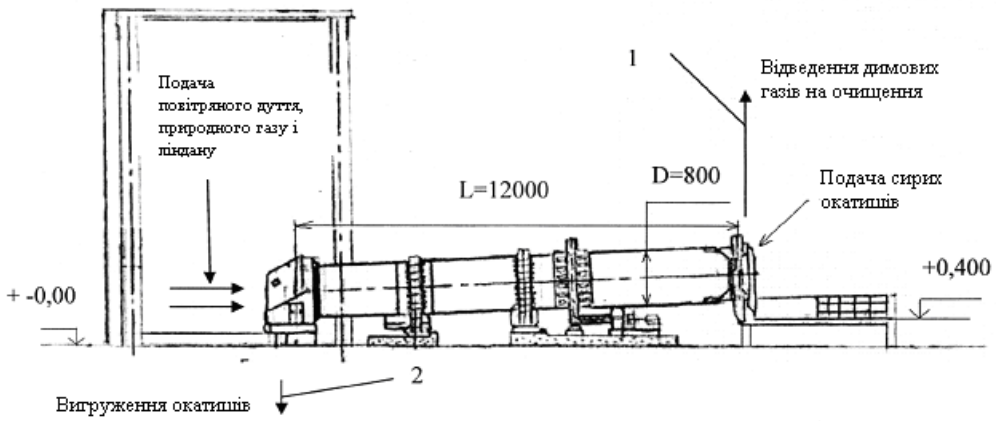


Рис. 2. Принципова апаратно-технологічна схема дослідно-промислових випробувань технології термічного знищення відходів

тів ХЗЗР з утилізацією хімічного тепла, яке вноситься ними в пічний агрегат, що, в свою чергу, заощаджує первинне паливо.

Для підтвердження наведеного способу в якості знешкоджуваного ХЗЗР було обрано високотоксичний хлорорганічний пестицид γ-гексахлорцикло-гексан (технічне найменування – ліндан). Для оцінки екологічної ефективності розробленої технології проведено аналіз на вміст органічних складових у контрольних пробах сирих окатишів і окатишів, які випалені при вдуванні ліндану в пальниковий пристрій печі. Одночасно відбирали і аналізували проби відхідних газів. Загальний об'єм відібраних від печі газів склав 100 л.

Дослідження проб окатишів проводили на хроматографі «Кристал Люкс 4000». Встановлено, що при спалюванні проби залишковий вміст токсичних органічних компонентів не реєструється. Більш детальна інформація щодо досліджень та хроматограми представлені в статтях [5, 7].

При вимірюванні температури в печі використовували термопари вольфрамренієві з діапазоном температур 0–1800 С та оптичний пірометр.

Для експериментальних досліджень сконструйовано струминний диспергатор (рис. 3), конструктивні параметри якого надано у таблиці 1.

На рис. 4 наведена схема контролю температур у різних зонах факела па льникового пристрою печі.

Екологічна ефективність розробленої технології, що підтверджена дослідно-промисловими випробуваннями в умовах Харківського дослідного цементного заводу (див. рис. 5), дозволила використати її як основу при розробці технологічного рішення промислової установки термічного знищення некондиційних ХЗЗР(див. рис. 6).

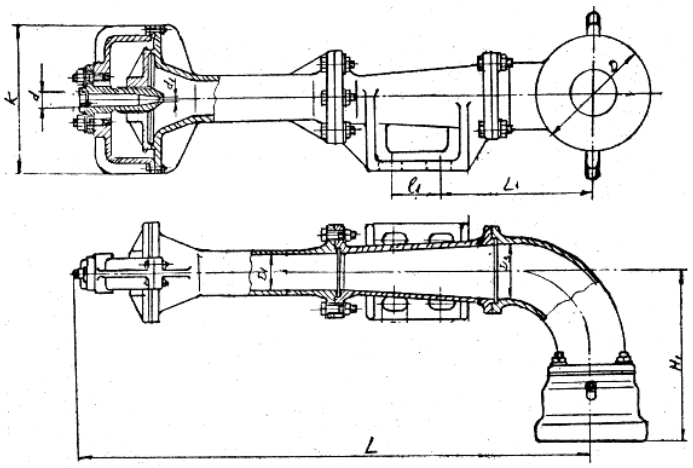


Рис. 3. Схема дослідно-промислового струминного диспергатора

Таблиця 1

Розміри проточної частини струминного диспергатора, мм

D	D_1	D_3	d	d_1	K	L	l_1	H_1
136	90	104	54	18	390	555	65	290

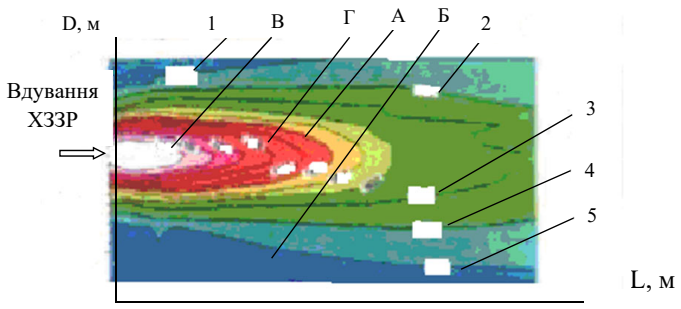


Рис. 4. Схема різних зон факелу цементної печі при спалюванні некондиційних ХЗЗР: А – факел газового пальника; Б – шар обпалюваного клінкеру; В – високотемпературна зона факела; Г – частки знешкоджуваного ХЗЗР; 1 – 4 точки виміру температури та відбору проб газової фази; 5 – точка виміру температури та відбору проб твердої фази (клінкера)



Рис. 5. Загальний вигляд дослідно-промислової обпалювальної печі 1 – відведення димових газів; 2 – обертова обпалювальна піч; 3 – розвантажувальна голівка і пальниковий пристрій печі; 4, 5 – вузол подання природного газу в пальник печі; 6 – вузол вдування ХЗЗР і повітря в пальник печі; 7 – щит КВП і А установки

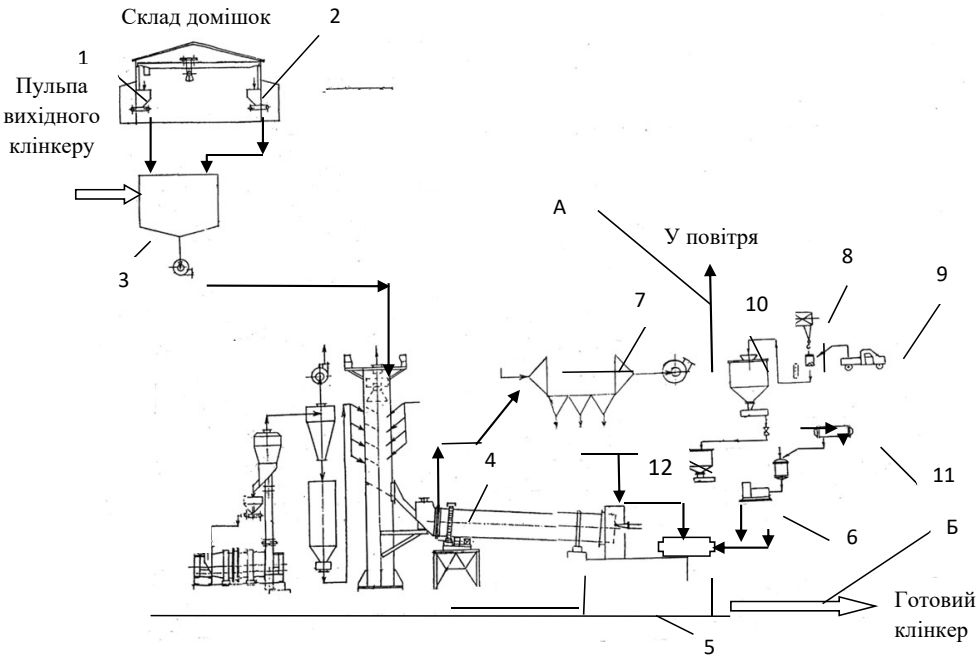


Рис. 6. Схема промислової установки для реалізації технології знищення СВП і некондиційних ХЗЗР в пальнику цементної печі
Існуюче обладнання: 1, 2 – бункери шлаку і золи; 3 – шламовий басейн; 4 – барабанна випалювальна піч; 5 – холодильник; 6 – система пневмотранспорту; 7 – електрофільтр. Обладнання, що встановлюється: 8 – тельфер; 9 – автотранспорт доставки саморозвантажувальних контейнерів з ХЗЗР; 10 – приймальний бункер ХЗЗР з дозатором; 11 – диспергатор ХЗЗР; 12 – збірка рідких ХЗЗР з дозатором. А, Б – точки відбору проб відхідних газів і обпаленого клінкеру

Розроблені на комплексній базі результатів виконаних досліджень технічні рішення процесів і обладнання, що забезпечують реалізацію єдиної, актуальної науково-технічної задачі мінімізації екологічно небезпечного впливу на НПС некондиційних ХЗЗР, запатентовані в Україні [8]. У результаті виконаних теоретичних та експериментальних досліджень запропонованого в роботі методу термічного знищення – в пальнику печі обпалення цементного клінкеру – ХЗЗР підтверджено висунуте теоретичне припущення про повне і безповоротне розкладання усіх токсичних сполук, що містяться в знищуваних відходах, до нетоксичних неорганічних компонентів.

Література

1. Сталінський Д.В., Касімов О.М., Варнавська І.В. Сучасні проблеми поводження з непридатними пестицидами і агрохімікатами. *Екологія та здоров'я людини. Охорона повітряного та водного басейнів. Утилізація відходів*: зб. наук. пр. XV Міжнар. наук.-практ. конф. ДП «УкрНТЦ «Енергосталь». Харків: 2007. С. 259–262.
2. Варнавська І.В. Заборонені та непридатні до використання пестициди і агрохімікати: стан та проблеми. *Вісник НУВГП: зб. наук. пр*. 2007. Вип. 3 (39). С. 34–40.
3. Варнавская И.В. Проблемы Украины при обращении с непригодными пестицидами и агрохимикатами. *Вісн. НУВГП: зб. наук. пр*. 2007. Вип. 4(40). Ч. 1. С. 32–37.
4. Варнавская И.В., Касимов А.М. Проблема стойких органических загрязнителей (СОЗ) в условиях Украины. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук, ст. IV Міжнар. наук.-практ. конф., УкрНДІЕП, Харків. 2008. Т. П. С. 22–26.
5. Варнавская И.В. Экологическая эффективность обезвреживания некондиционных химических средств защиты растений в горелочном устройстве цементной печи. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. ст. VI Міжнар. наук.-практ. конф. УкрНДІЕП (Алушта, АР Крим, 6–11 вересня 2010 р.). Харків. 2010. Т. 2. С. 3–10.
6. Варнавская И.В., Сталинский Д.В., Касимов А.М. Технология уничтожения особо опасных отходов. *Экология и промышленность*. 2010. № 2. С. 60–64.
7. Варнавская И.В. Сталинский Д.В., Касимов А.М., Щербань Н.Г. Разработка и эколого-гигиеническая оценка технологии обезвреживания химических средств защиты растений в горелочном устройстве цементной печи. *Экология и промышленность*. 2008. № 4. С. 33–39.
8. Спосіб спалювання стійких органічних забруднювачів: пат. 30485 Україна: МПК[8] F23G7/00. A62D3/00. № u 2007 12847; заявл. 20.11.07; опубл. 25.02.08. Бюл. № 4. 5 с.

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА

УДК 378:504.03
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.11

КОНЦЕПЦІЯ СТАЛОГО ЕКОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ І КЛІМАТИЧНОЇ НЕЙТРАЛЬНОСТІ ТА ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЯ В ОСВІТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

Плаван В.П., Моргулець О.Б., Іщенко О.В., Коляда М.К.
Київський національний університет технологій і дизайну
вул. Немировича-Данченка, 2, 01011, м. Київ
plavan.vp@knutd.edu.ua

У роботі на прикладі Київського національного університету технологій та дизайну представлено досвід реалізації концепції сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в освітній діяльності для зменшення або уникнення негативного впливу на довкілля. Показано, що освітня діяльність вже відіграє важливу роль у вирішенні екологічних проблем, не тільки через навчання студентів, але й використовуючи результати наукових досліджень. Однак внаслідок низької зацікавленості викладачів і студентів в організації «кліматичних» навчальних курсів, через нерозуміння принципу кліматичної нейтральності і можливого внеску університетів в його реалізацію, спостерігається певний розрив між кліматичною наукою і щоденною практикою. В статті показано, що забезпечення всеохоплюючої і справедливої якісної освіти для всіх та заохочення можливості навчання впродовж усього життя це шлях для досягнення цілей сталого розвитку і кліматичної нейтральності. Втілення екологічної освіти до всіх сфер суспільного життя; широка обізнаність щодо причин і наслідків зміни клімату; інтеграція питань сталого розвитку і кліматичної нейтральності в існуючі дисциплінарні навчальні програми; популяризація кліматичної науки на основі міждисциплінарності сприятиме реалізації цілей сталого розвитку в Україні. Дієвими інструментами для повноцінної реалізації концепції сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в освітній діяльності в Україні може стати: впровадження вимог екологічної стійкості та кліматичної нейтральності в управління та прийнятті рішень університетом; розробка системи звітності щодо заходів з екологічного сталого розвитку і кліматичної нейтральності; постійне заохочення співробітників і студентів до активної природоохоронної діяльності. *Ключові слова:* кліматична нейтральність, сталий розвиток, екологічна освіта, природоохоронна діяльність.

The concept of sustainable environmental development and climate neutrality and its implementation in educational activities. Plavan V., Morhulets O., Ishchenko O., Koliada M.
The work presents the experience of implementing the concept of sustainable ecological development and climate neutrality in educational activities to reduce or avoid negative impact on the environment using the example of the Kyiv National University of Technology and Design. It is shown that educational activity already plays an important role in solving environmental problems, not only through the education of students, but also using the results of scientific research. However, due to the low interest of teachers and students in the organization of "climatic" training courses, due to misunderstanding of the principle of climate neutrality and the possible contribution of universities to its implementation, there is a certain gap between climate science and daily practice. The article shows that providing comprehensive and fair quality education for all and encouraging the possibility of lifelong learning is the way to achieve the goals of sustainable development and climate neutrality. Implementation of environmental education to all spheres of social life; broad awareness of the causes and consequences of climate change; integration of issues of sustainable development and climate neutrality into existing disciplinary curricula; popularization of climate science on the basis of interdisciplinarity will contribute to the realization of the goals of sustainable development in Ukraine. Effective tools for the full implementation of the concept of sustainable ecological development and climate neutrality in educational activities in Ukraine can be: implementation of the requirements of ecological sustainability and climate neutrality in management and decision-making by the university; development of a reporting system on measures for ecological sustainable development and climate neutrality; constant encouragement of employees and students to active environmental protection activities. *Key words:* climate neutrality, sustainable development, environmental education, environmental protection activities.

Постановка проблеми. Зміна клімату впливає на кожну країну на кожному континенті, руйнує національну економіку, що відбивається на рівні життя громадян. За даними Національного управління океанічних і атмосферних досліджень Міністерства торгівлі США [1], 2019 рік став другим найтеплішим роком за всю історію спостережень і кінцем найтеплішого десятиліття з коли-небудь зареєстрованих. У 2019 році рівень вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосфері зріс до нових рекордів. Погодні умови змінюються, рівень моря підвищується, а погодні явища стають все більш екстремальними. Хоча, за попередніми оцінками UNEP [2], викиди парникових газів скоротились приблизно на 6% у 2020 році через заборони на поїздки та економічне уповільнення в результаті пандемії COVID-19, це покращення є лише тимчасовим. Як тільки світова економіка почне відновлюватися після пандемії,

очікується, що викиди повернуться до більш високих рівнів. Збереження засобів до існування вимагає невідкладних дій для подолання, як наслідків пандемії, так і надзвичайної кліматичної ситуації.

Актуальність дослідження. За останні десятиліття в Україні збільшилась кількість та інтенсивність періодів спеки, і, за пронозами вчених, у майбутньому відбудеться подальше зростання [3]. 2020 рік став найспекотнішим для України за всю історію вимірів. Якщо глобальна температура підвищиться на 4 °С порівняно з доіндустріальними рівнями, екстремальні періоди спеки, які раніше спостерігались раз на 50 років, можуть виникати майже щороку. Прогнозується, що кількість морозних днів зменшиться, і наприкінці 21 століття в деяких регіонах більше не буде днів із від'ємними температурами. Річна кількість опадів варіюється по всій Україні із значною мінливістю, що призводить до появи дуже посушливих або дуже вологих років. Відповідно, поступове підвищення температури може викликати зменшення кількості опадів улітку.

Паризька угода, прийнята в 2015 році, має на меті посилити глобальну відповідь на загрозу зміни клімату, утримуючи глобальне підвищення температури в цьому столітті на 1,5 °С нижче від доіндустріального рівня. Угода також має на меті посилити здатність країн боротися з наслідками зміни клімату за допомогою відповідних фінансових механізмів, нової технологічної бази та в рамках нарощування інтелектуального потенціалу в освіті, культурі, в соціально-політичній сфері.

Глобальна зміна клімату спричиняє прямі та непрямі впливи на промисловий сектор. Прямі впливи пов'язані з безпосередньою зміною природно-кліматичних умов через зміну схеми енергоспоживання та доступності природних ресурсів, внаслідок збільшення ризику техногенних надзвичайних ситуацій, недостатню кількість водних ресурсів відповідної якості тощо. Непрямі впливи обумовлені змінами, що відбуваються в суміжних галузях та полягають в зміні економічних умов функціонування через залежність переробних підприємств від схем господарювання в сільському та лісовому господарстві.

7 грудня 2016 року затверджено Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року [4]. Основою для вирішення проблеми зміни клімату є декарбонізація суспільства, тобто зменшення викидів CO_2. Основна увага приділяється сталому розвитку та декарбонізації основних місць перебування людей, як ключових елементів забезпечення стійкості до зміни клімату, пом'якшення його наслідків та адаптації до змінених умов. Більше того, заохочується залучення та участь усіх верств населення, всіх професій суспільства для прискорення прогресу пом'якшення наслідків зміни клімату шляхом розробки надійних систем управління, пов'язаних із кліматом, у адміністративній діяльності, освіті, політиці та засобах масової інформації.

12 грудня 2018 року на Конференції ООН зі зміни клімату (COP24) у Польщі 15 міжнародних організацій спільно оголосили про зобов'язання зробити свою діяльність кліматично нейтральною [5]. Організації будуть вимірювати свої викиди парникових газів, зменшувати їх, наскільки це можливо, і намагатися компенсувати неминучі викиди. Завдяки попередженню викидів більше 2 мільйонів тон CO_2 на рік і штату понад 50 000 співробітників, сукупні дії цих організацій є важливим прикладом, який може надихнути всі інституції. Зокрема, про свою прихильність до ідеї кліматичної нейтральності оголосили такі міжнародні організації, як Європейський банк реконструкції та розвитку, Європейський інвестиційний банк, Секретаріат Організації об'єднаних націй та інші.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Нестабільний клімат, збільшення викидів діоксиду карбону та прискорення втрати біорізноманіття вимагають невідкладних заходів. Освітня діяльність вже відіграє важливу роль у вирішенні цих проблем, не тільки через навчання студентів, але й використовуючи результати своїх наукових досліджень. Однак зараз спостерігається низька зацікавленість викладачів і студентів в організації «кліматичних» навчальних курсів, причиною тому є нерозуміння принципу кліматичної нейтральності і можливого внеску університетів в його реалізацію. Причиною тому є певний розрив між кліматичною наукою і щоденною практикою. Більшість випускників шкіл, які приходять в університети не обізнані щодо концепцій зміни клімату та заходів щодо подолання наслідків зміни клімату. Залишається відкритим питання щодо втілення екологічної освіти до всіх сфер суспільного життя. Спостерігається недостатність комунікації між вченими «кліматичної науки» і місцевими екологами, активістами та органами самоврядування.

Впровадження знань про зміну клімату в зарубіжних університетах здійснюється через навчання та дослідження, питання зміни клімату висвітлюються в програмах бакалаврів, магістрів, аспірантів [6]. На думку вітчизняних науковців і громадськості, формальна освіта в Україні не відповідає на сучасні кліматичні виклики та не спроможна сформувати глибокі систематичні знання і вміння для вирішення проблем зміни клімату [7].

Кліматичну науку потрібно робити більш доступною для сприйняття, та привносити набагато більше міждисциплінарності, як в базову університетську освіту, так і в наукові дослідження. Навіть колеги з різних факультетів в межах одного університету можуть просто не знати про кліматичні дослідження один одного, оскільки здебільшого відсутня платформа для міждисциплінарного спілкування в університетах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтерес до освіти про зміну клімату суттєво зріс в останні роки. Із цим зростаючим інтересом збільшилась кількість опублікованих дослідницьких статей про освіту щодо зміни клімату в усьому світі: з 12 статей, опублікованих між 1990 і 1999 роками, і 433 з 2000 по 2009 рік, до 1489 з 2010 по 2015 рік [8]. В листопаді 2022 року на запит climate change education Google видає 1 170 000 000 результатів.

Питання причин і наслідків глобальної зміни клімату як загрози міжнародній безпеці, а також прогнози і рекомендації щодо вирішення цієї проблеми представлені в роботах багатьох відомих учених і дослідників. Зокрема в роботі [9], до основних глобальних загроз і викликів нового тисячоліття окрім поширення ядерної зброї і викликаної цим загрози ядерної війни, міжетнічних конфліктів і озброєного сепаратизму, автори відносять локальні війни, демографічний вибух, глобальну міграцію, кіберзагрози, а також негативні зміни клімату на Землі.

Потрібно відзначити, що у сучасному світі росте розуміння глобальної екологічної взаємозалежності, відбувається процес екологічної інституціалізації, засновуються нові міжнародні спеціалізовані організації, створюються аналітичні групи, фонди, формуються міжнародні альянси між неурядовими організаціями щодо захисту довкілля, йде процес формування міжнародної нормативної бази [10]. Одним з важливих інструментів адаптації до глобальних змін клімату, виступають комунікативні, освітні програми, тобто способи інформування широкої громадськості про ці проблеми. Тобто наука і освіта виступають однією з передумов досягнення збалансованого (сталого) розвитку суспільства, і водночас є найважливішими інструментами ефективного управління, обґрунтованого прийняття рішень, розвитку демократії [7].

Новизна. У роботі на прикладі Київського національного університету технологій та дизайну представлено досвід реалізації концепції сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в освітній діяльності для зменшення або уникнення негативного впливу на довкілля.

Мета роботи – розвиток науково-методичних основ та практичних рекомендації щодо впровадження принципів сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в діяльність закладів вищої освіти для зменшення або уникнення негативного впливу на довкілля.

Методологія досліджень. В процесі дослідження використано загальнонаукові методи (теоретичні дослідження доступної інформації), аналітичний та узагальнений методи (аналіз наукової, нормативно-технічної літератури, вітчизняних і зарубіжних наукових джерел з поставленої проблеми); емпіричний (накопичення фактів); методи аргументування (формулювання і доведення власних суджень).

Викладення основного матеріалу. На виконання Указу Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» від 30 вересня 2019 року № 722/2019 [11] був розроблений Проект Концепції кліматичної нейтральності і сталого екологічного розвитку Київського національного університету технологій та дизайну, а в жовтні 2022 року була затверджена Стратегія сталого екологічного розвитку КНУТД.

Університет визнає три основні фактори сталого розвитку: соціальний, економічний та екологічний. Університет постійно вживає заходів щодо економічного та соціального сталого розвитку в таких сферах як доступ до освіти незалежно від статі, релігійних переконань, соціального становища чи якихось інших обмежень, расова рівність та усунення гендерного розриву в оплаті праці.

Стратегія сталого екологічного розвитку КНУТД зосереджена на таких пріоритетних сферах:

– **Дослідження** – розширення наукових досліджень з питань екологічної стійкості і кліматичної нейтральності.

– **Освіта, соціальна робота та пропаганда сталого розвитку** – надання всім студентам можливості вивчати питання екології і сталого розвитку, кліматичної нейтральності у межах або поза межами вибраної освітньої програми;

– **Зміни в інфраструктурі і стале використання ресурсів** – поступове зменшення викидів CO_2 від університетських будівель, тобто зниження викидів CO_2, пов'язаних зі споживанням енергії, до мінімального рівня; зменшення впливу нашого споживання та постачання на навколишнє середовище.

– **Мобільність і місцеві подорожі** — зменшення викидів під час міжнародних поїздок співробітників університету та студентів в рамках виконання проектів міжнародної мобільності; обмеження викидів транспорту, заохочуючи користуватись громадським транспортом і ходити пішки, рекламуючи поїздки на велосипеді та.

– **Врахування досвіду пандемії –** врахування досвіду пандемії для переходу до більш екологічно стійких методів роботи (дистанційне навчання, он-лайн лекції).

У цій концепції ми зосереджені не тільки на подоланні негативних наслідків нашої власної діяльності. Університет ставить перед собою амбітну ціль – використовуючи свій науковий потенціал, навчаючи студентів, посідаючи важливе місце в суспільно-політичному житті району, міста і країни в цілому, відігравати провідну роль у вирішенні цих проблем.

Університет вже багато років працює над зменшенням, а в подальшому і над уникненням, свого негативного впливу на навколишнє середовище. Перш за все це стосується ***розвитку інфраструктури***, зокрема облаштування споруд і будівель Університету за найвищими екологічними стандартами сталого розвитку. Споживання енергії в університетських будівлях протягом останнього десятиліття помітно скорочено. Програма «Підтримки заходів з енергозбереження та енергоефективності

Київського національного університету технологій та дизайну» на 2019–2023 роки спрямована на скорочення споживання енергії за рахунок модернізації системи ізоляції та освітлення в будівлях, встановлення ефективних систем опалення/охолодження, зниження витрат на технічне обслуговування об'єктів університетської інфраструктури, посилення збору та переробки відходів (металу, паперу, пластику).

Університет підтримує ***ініціативи в галузі екологічного транспорту***, включаючи рекламу пішохідних, велосипедних подорожей та громадського транспорту. Цьому сприяє розташування Університету в центральній частині міста, наявність компактного кампусу, коли студентам легко дістатись в університет пішки, а станція метро поблизу університету спрощує подорожі на роботу викладачів.

Університет бере участь в ***виконанні низки наукових досліджень*** щодо альтернативних джерел енергії [12], скорочення водоспоживання і очищення стічних вод [13], переробки відходів [14] і створення біологічно розкладної упаковки [15], демонструючи світові тенденції міждисциплінарних досліджень. Це участь в програмах, які фінансуються Єврокомісією, Фондом національних досліджень, Міністерством освіти і науки України в рамках державного замовлення, проектів двостороннього співробітництва.

Наші дослідники співпрацюють з промисловістю, урядовими і громадськими організаціями та іншими університетами для вирішення реальних проблем кліматичної нейтральності та екологічного сталого розвитку. Хоча всі ці дії сприяли підвищенню екологічної стійкості в університеті, їх недостатньо для досягнення наших нових амбітних цілей до 2030 року.

Стале використання ресурсів здатне суттєво зменшити вплив нашого постачання і споживання ресурсів на стан навколишнього середовища, навіть більшою мірою ніж стале використання енергії. Зменшення впливу непродуманого постачання і споживання ресурсів можна досягти шляхом залучення всіх членів трудового колективу до зменшення використання ресурсів та мінімізації відходів. Зокрема встановлення стійкої політики закупівель, коли переваги надаються екологічно безпечним матеріалам і виробам, зменшення кількості паперу, що використовується в повсякденній діяльності, мінімізація пакування, бережливе ставлення до водних ресурсів, організація роздільного збору побутових відходів та інші заходи.

Отриманий ***досвід пандемії*** спонукав нас до переходу до більш екологічно стійких методів роботи. Зокрема, дистанційне навчання, віддалена робота та участь в нарадах, дистанційна участь у всіх конференціях, організованих і проведених університетом, сприяла зменшенню споживання ресурсів. До 2030 року Університет, працюючи в партнерстві з урядовими інституціями, громадськими організаціями, трудовим колективом, стане прикладом у захисті, відновленні та поліпшенні навколишнього середовища.

Відповідно до «Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» у запобіганні зміни клімату важливу роль відіграє широке інформування громадськості про наслідки зміни клімату, фактори впливу на клімат, механізми і практики протидії та адаптації; упровадження відповідних освітніх програм на всіх рівнях формальної та неформальної освіти.

Тобто, забезпечення всеохоплюючої і справедливої якісної освіти для всіх та заохочення можливості навчання впродовж усього життя ось шлях для досягнення цілей сталого розвитку і кліматичної нейтральності.

У «Концепції екологічної освіти в Україні» наголошується [16-17], що екологічна освіта як цілісне культурологічне явище повинна спрямовуватися на формування екологічної культури, яка є складовою системи національного виховання молоді. Результатом набуття системних знань з питань сталого розвитку і кліматичної нейтральності є розуміння первинності законів природи щодо соціальних законів, усвідомлення зростання взаємозалежності і взаємовпливу природи і суспільства, особистої відповідальності за екологічні проблеми не лише свого регіону чи країни, а й світу загалом.

Останніми роками на шляху забезпечення сталого розвитку довкілля в Україні спостерігався певний прогрес. Значною мірою завдяки економічному спаду суттєво зменшено викиди парникових газів, викиди і скиди забруднюючих речовин у навколишнє природне середовище, скорочено масштаби утворення відходів. Проте у зв'язку із значним антропогенним навантаженням близько 70% поверхневих вод і значна частка запасів ґрунтових вод в Україні втратили своє значення як джерело питного водопостачання. Проблемними залишаються питання поводження з відходами та забезпечення централізованим водопостачанням сільського населення. Близько 4 млн тон забруднюючих речовин щорічно викидається у повітряний басейн. Вагомим чинником негативного впливу на довкілля є також війна в Україні.

В зв'язку з чим важливого значення набувають заходи щодо реалізації цілей сталого розвитку в Україні. Цьому безумовно сприятиме втілення екологічної освіти до всіх сфер суспільного життя; широка обізнаність щодо причин і наслідків зміни клімату; інтеграція питань сталого розвитку і кліматичної нейтральності в існуючі дисциплінарні навчальні програми; популяризація кліматичної науки на основі міждисциплінарності.

Студенти КНУТД вже зараз мають можливість вивчати екологічний сталий розвиток у межах або за межами обраної навчальної програми, їм пропонуються можливості для навчання, освоєння вибіркових навчальних дисциплін, пов'язаних зі сталим

розвитком і кліматичною нейтральністю, а студентські наукові гуртки створюють додаткові можливості для студентів в опануванні питань сталого розвитку. Наукові розробки молодих вчених і студентів у формі старт-апів, дослідницьких проектів, конкурсних робіт щодо заходів кліматичної нейтральності і сталого розвитку, мають можливість регулярно представлятися науковій громадськості під час щорічної конференції молодих учених і студентів за пропонуються до фінансування через співпрацю з підприємствами і організаціями різних форм власності. Ми даємо нашим студентам можливість розвивати свої знання, навички та стати лідерами стійкого розвитку майбутнього через інформальну та неформальну освіту.

Дієвими інструментами для повноцінної реалізації концепції сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в освітній діяльності в Україні також може стати:

– впровадження вимог екологічної стійкості та кліматичної нейтральності в управління та прийнятті рішень університетом;

– розробка системи звітності щодо заходів з екологічного сталого розвитку і кліматичної нейтральності;

– постійне заохочення співробітників і студентів до активної природоохоронної діяльності.

Очікуваними результатами реалізації концепції сталого розвитку і кліматичної нейтральності є зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище [18], популяризація та розвиток зеленої економіки, циклічного виробництва та дбайливого природокористування, формування у студентської спільноти і працівників закладів вищої освіти відповідального ставлення до екологічних проблем та сталого розвитку.

Висновки. У роботі на прикладі Київського національного університету технологій та дизайну представлено досвід реалізації концепції сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в освітній діяльності для зменшення або уникнення негативного впливу на довкілля. Показано, що освітня діяльність вже відіграє важливу роль у вирішенні екологічних проблем, не тільки через навчання студентів, але й використовуючи результати наукових досліджень. Однак внаслідок низької зацікавленості викладачів і студентів в організації «кліматичних» навчальних курсів, через нерозуміння принципу кліматичної нейтральності і можливого внеску університетів в його реалізацію спостерігається певний розрив між кліматичною наукою і щоденною практикою. Втілення екологічної освіти до всіх сфер суспільного життя; широка обізнаність щодо причин і наслідків зміни клімату; інтеграція питань сталого розвитку і кліматичної нейтральності в існуючі дисциплінарні навчальні програми; популяризація кліматичної науки на основі міждисциплінарності сприятиме реалізації цілей сталого розвитку в Україні. Дієвими інструментами для повноцінної реалізації концепції сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в освітній діяльності в Україні може стати: впровадження вимог екологічної стійкості та кліматичної нейтральності в управління та прийнятті рішень університетом; розробка системи звітності щодо заходів з екологічного сталого розвитку і кліматичної нейтральності; постійне заохочення співробітників і студентів до активної природоохоронної діяльності.

Література

1. 2019 was 2nd-hottest year on record for Earth say NOAA, NASA National Oceanic and Atmospheric Administration URL: https://www.noaa.gov/news/2019-was-2nd-hottest-year-on-record-for-earth-say-noaa-nasa#:~:text=NOAA%20finds%20ocean%20heat%20content%20was%20the%20highest%20in%20recorded%20history&text=Earth's%20warming%20trend%20continued%20in,climate%20record%20just%20behind%202016
2. Офіційний сайт Програми ООН з довкілля UNEP URL: https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/covid-19-caused-only-temporary-reduction-carbon-emissions-un-report
3. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. Вплив зміни клімату в україні [Climate Change Impacts for Ukraine]. Met Office, 2021, 34 с. URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/2021/%D0%97%D0%B2%D1%96%D1%82.pdf
4. КОНЦЕПЦІЯ реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, Ухвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2016 р. № 932-р URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/932-2016-%D1%80#n8
5. At COP24, Leading International Organizations Commit to Climate Neutrality. At COP24, Leading International Organizations Commit to Climate Neutrality URL: https://unfccc.int/news/at-cop24-leading-international-organizations-commit-to-climate-neutrality
6. Дух О.І., Цицюра Н.І., Галаган О.К Особливості формування у студентської молоді знань про зміни клімату. *Екологічні науки* Вип. 6 (39), 2021, с. 214–217.
7. Халаїм О.О. Освіта з питань зміни клімату в університетах України та світу. Екологічна освіта для сталого розвитку з питань зміни клімату у дошкільній, середній, позашкільній та вищій освіті України. 2020. С. 15–19.
8. Martha C. Monroe, Richard R. Plate, Annie Oxarart, Alison Bowers & Willandia A. Chaves (2017): Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of the research, Environmental Education Research, DOI: 10.1080/13504622.2017.1360842
9. Проблема глобальної зміни клімату в контексті міжнародної безпеки Шевченко О. В. Actual problems of international relations. Release 130. 2017, с. 24–38.
10. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. К. : НІСД, 2020. 110 с.
11. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна», Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. 176 с.

12. Литиевые батареи для применения на транспорте: современные проблемы и перспективы В.З. Барсуков, В.Г. Хоменко, И.В. Сеник, О.В. Черныш *Вопросы химии и химической технологии*, 2013, № 4. С. 127–131.
13. Регулювання сорбційної здатності комбінованих волокнистих матеріалів, наповнених глинистими мінералами / Н. Плаван, Н. Тарасенко, Т. Дутчин, Ю. Будаш // Технічні науки та технології. 2021. № 4 (26). С. 113–120.
14. М.К. Коляда, В.П. Плаван. Раціональне використання вторинних продуктів тваринного походження відповідно до екологічного законодавства україни та європейського союзу, *Екологічні науки* № 3(26), 2019 с. 25–30. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-3-26-5
15. Способи створення екологічно безпечної полімерної упаковки в Україні Н.В. Сова, Б.М. Савченко, В.П. Плаван, В.О. Білошенко Упаковка, 2017, № 5, с. 31–34.
16. Люленко С.О., Подзерей Р.В. Формування екологічної компетентності особистості як одне з найголовніших завдань освіти сталого розвитку *Екологічні науки* Вип. 3 (42), 2022, с. 226-229. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.38
17. Концепція екологічної освіти України. Інформаційний збірник Міністерства освіти і науки України. 2002. № 7. С. 3–23.
18. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № 2697-VIII /Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19 (дата звернення: 27.11.2021).

УДК 373.5.015.31:502/.504
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.12

ЕКОЛОГІЧНА ВИХОВАНІСТЬ УЧНІВ: ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ

Трохимчук І.М.
Рівненський державний гуманітарний університет
вул. Пластова, 31Б, 33028, м. Рівне
trohumchyk77@ukr.net

На етапі активного входження української системи освіти до європейського освітнього простору постає нагальна потреба подолати загрозу бездуховності; особливої актуальності набуває вирішення проблеми становлення соціально активної особистості зі сформованою ієрархією цінностей, системою морально-етичних та екологічних норм у ставленні до світу, до себе та інших людей. Проте реалізація соціального запиту сьогодні ускладнюється через ціннісно-смислову неструктурованість сучасного українського суспільства. Саме тому модернізація змісту сучасної середньої загальної освіти ґрунтується на врахуванні позитивного досвіду школи й водночас передбачає істотні зміни, зумовлені тенденціями упровадження інноваційних освітньо-виховних технологій. Метою даного наукового дослідження є спроба здійснити теоретичний аналіз проблеми формування екологічної освіти учнів загальноосвітніх шкіл у контексті сучасної методики педагогічної науки.

У статті здійснено виокремлення й характеристику провідних концепцій, теоретичних підходів до формування екологічної вихованості учнів у сучасних вимірах. Сприйняття, збереження та передача суспільних цінностей відбуваються насамперед у процесі виховання підростаючого покоління, у межах якого провідне місце на фоні істотних екологічних катаклізм як на місцевому і регіональному, так і державному рівнях посідає саме екологічне виховання, а невід'ємною його складовою є формування екологічної вихованості зростаючої особистості.

Під час організації та здійснення дослідницької діяльності учнів основної школи з екології створюються всі умови для ефективного формування наукового світогляду та екологічного типу мислення творчої особистості, її духовного розвитку, активності з вивчення й охорони природи, відповідальності за власні вчинки та поведінку інших стосовно довкілля.

Модернізація змісту сучасної екологічної освіти і виховання зумовлена тенденціями активного використання сучасних освітньо-виховних інформаційних технологій. Актуальним залишається розгляд проблем науково-методичного супроводу важливих навчально-виховних впливів на учнів. *Ключові слова:* екологічна вихованість учнів, освітньо-виховні технології, загальноосвітні навчальні заклади.

Environmental education of students: theoretical analysis. Trohymchuk I.

At the stage of active entering of the Ukrainian education system into the European educational area an urgent need to overcome the threat of lack of spirituality arouse; solving of the problem of socially active individual formation with established hierarchy of values, a system of moral, ethical and environmental standards in attitude to the world, to ourselves and to other people becomes of particular relevance. However, implementation of the social demand today becomes more complicated because of value-semantic unstructured modern Ukrainian society. The purpose of the given scientific research is an attempt to implement the theoretical analysis of the problem of formation of environmental education of secondary schools students in the context of modern methodology of educational science.

The way of acquisition of own experience in interaction with environmental objects by secondary school pupils and forming their ecologically desirable behavior in the environment, which is defined by accordingly formed system of values and position on the environment is analyzed in the article.

Perception, storage and transmission of social values occur primarily in the educational process of the younger generation, within which environmental education takes the leading place on the background of significant environmental cataclysm at the local, regional and national levels and integral component of which is the formation of environmental education of growing personality.

While the organization and execution of ecology research by secondary school pupils the conditions for effective forming of creative personality scientific outlook and ecological type of thinking, his\her spiritual development, activity in environment research and conservation, responsibility for their own actions and behavior of others in relation to the environment are being created.

Modernization of the contemporary environmental education content is caused by tendencies of active use of modern educational information technologies. Considering the challenges of scientific and methodological support of important educational impact on students is one of the topical issues. Prospects of the research are related to aspects of defining of successful implementation model of secondary school students environmental education while researching on ecology in secondary schools of Ukraine. *Key words:* environmental education of students, educational technologies, secondary schools, innovation development.

Постановка проблеми. Глобальні економічні, політичні та соціокультурні трансформації, демократизація та інформатизація суспільства зумовлюють кардинальні зміни у галузі освіти. На етапі активного входження української системи освіти в європейський освітній простір постала нагальна потреба подолання загрози бездуховності; особливої актуальності набуває вирішення проблем формування соціально активної особистості зі сталою ієрархією цінностей, системою моральних, етичних та екологічних норм у ставленні до світу, до себе та до інших людей. Однак, реалізація цього соціального запиту ускладнюється сьогодні ціннісно-смисловою неструктурованістю сучасного українського суспільства.

Саме тому модернізація змісту сучасної середньої загальної освіти ґрунтується на врахуванні позитивного досвіду школи й водночас передбачає істотні

зміни, зумовлені тенденціями упровадження інноваційних освітньо-виховних технологій, що мають детермінувати швидкі позитивні зміни в культурі суспільства, в основу яких покладено пошук ефективних підходів підготовки учнів до праці, активної ролі в економічному та громадському житті суспільства, розвитку їхнього наукового мислення, критичного осмислення дійсності та навичок вирішення різноманітних життєвих проблем [1].

Актуальність дослідження. Сприйняття, збереження та передача суспільних цінностей відбуваються насамперед у процесі виховання підростаючого покоління, у межах якого провідне місце на фоні істотних екологічних катаклізм як на місцевому і регіональному, так і державному рівнях посідає саме екологічне виховання, а невід'ємною його складовою є формування екологічної вихованості зростаючої особистості. Останнє актуалізує екологічну компоненту, яка стає надзвичайно вагомою у формуванні світогляду людини третього тисячоліття. У цьому контексті Ж.-П. Делаж зауважував: «Екологія – жива матриця нової свідомості і нової культури: усвідомлення нашої приналежності до природи у самій глибині людського єства, що одночасно є і часткою, і діяльним чинником в глобальній системі природи» [2, 3].

Важливість розв'язання цих проблем відображена у змісті Національної програми виховання дітей та учнівської молоді в Україні, де зазначається, що головною домінантою виховання стає формування системи ціннісного ставлення особистості до навколишнього соціального і природного середовища та самої себе. Набуває сили тенденція до гармонійного поєднання інтересів учасників виховного процесу: вихованця, який прагне до вільного саморозвитку і збереження своєї індивідуальності; суспільства, зусилля якого спрямовані на моральний саморозвиток особистості; держави, зацікавленої у тому, щоб діти зростали громадянами – патріотами, здатними забезпечити країні гідне місце у цивілізованому світі [1, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Окреме важливе місце у розкритті ґенези й особливостей напрямів та етапів розвитку екологічної освіти і виховання в Україні належить працям Г. Філіпчука [5]. Продовження розкриття цієї проблеми на сучасному етапі здійснено у працях О. Васюти, С. Васюти [6], у яких здійснено аналіз становлення і розвитку руху з охорони природи в Україні, починаючи від часів козацької доби і до сучасних днів. Авторами виявлено, схарактеризовано і введено у науковий обіг раніше невідомі матеріали і документи філософсько-теологічного, філософсько-культурологічного, природоохоронного, історичного та історико-педагогічного змісту, у яких розкрито чинники й передумови, тенденції й закономірності, форми й методи охорони природи в історико-генетичному ракурсі, зокрема залучення дітей та молоді до цієї справи у різні історичні періоди розвитку українського суспільства. Згадані вище праці є першими історичними та історико-педагогічними розвідками, що характеризують основні напрями ґенези екологічної освіти і виховання дітей та молоді в Україні.

Актуальними у контексті розгляду сучасних теоретичних засад екологічної освіти й виховання зростаючої особистості є фундаментальні філософсько-культурологічні праці М. Кисельова, В. Деркача, А. Толстоухова та ін. [7], які стали теоретико-методологічною основою для дослідження і розкриття еволюції природничо-наукового і соціогуманітарного знання, аналізу екологістських концепцій виходу цивілізації із загальнопланетарної екологічної кризи, критеріїв їх доцільності та ефективності; розробки філософсько-культурологічної моделі екологічного знання у сучасному світоглядному контексті; обґрунтування концептуальних засад екологічної етики як основи формування екологічної свідомості і екологічної моралі особистості; обґрунтування сутнісних характеристик екологічно вихованої особистості.

Наукове обґрунтування принципів і підходів до побудови системи неперервної екологічної освіти й виховання, формування екологічної культури й екологічної свідомості здійснили Н. Левчук, Л. Немець, Г. Пустовіт, С. Совгіра, С. Шмалєй, Н. Щокіна та ін. [8].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Однак, перераховані дослідження не передбачали вивчення проблеми формування екологічної вихованості учнів основної школи у процесі дослідницької діяльності з екології у загальноосвітніх навчальних закладах. Тому дослідження змісту та умов формування екологічної вихованості учнів основної школи – соціально необхідна, важлива педагогічна проблема, яка вимагає вивчення, осмислення, узагальнення.

Тому **метою** пропонованої наукової розвідки є спроба здійснення теоретичного аналізу проблеми формування екологічної вихованості учнів загальноосвітніх навчальних закладах у контексті сучасної методології педагогічної науки.

Викладення основного матеріалу. Окреме місце в системі обґрунтування й розвитку теорії й методики екологічного виховання шкільної молоді належить фундаментальним працям Г. Пустовіта, котрим вперше концептуалізовано теоретико-методологічні та методичні основи модернізації змісту екологічної освіти і виховання учнів у позашкільних навчальних закладах, сутність яких складають ідеї природовідповідності, взаємообумовленості природних і соціальних процесів та їх антропогенних наслідків, розвитку особистості в онтогенезі у контексті ідей коеволюції людини і навколишнього середовища. Вперше на основі конкретизації і логічної єдності

філософсько-культурологічних та психолого-педагогічних чинників обґрунтовано концептуальні підходи, принципи та критерії відбору і побудови різнорівневого змісту екологічної освіти і виховання учнів 1–9 класів у позашкільних навчальних закладах, що знайшло своє відображення у розроблених однопрофільних, комплексних, наскрізних, модульних (блокових), пошуково-орієнтованих навчальних програмах, переважна більшість з яких є інтегрованими; удосконалено змістові характеристики понятійно-категоріального апарату дослідження, базові поняття якого розглядаються як дійовий світоглядно-методологічний засіб пізнання; охарактеризовано сутність, специфіку, рівні і детермінанти формування суб'єктивного ставлення особистості до природи та типи її практичної діяльності у навколишньому середовищі; удосконалено класифікацію принципів, активних організаційно-педагогічних форм, методів та засобів реалізації змісту екологічної освіти і виховання учнів, що в сукупності забезпечило ефективність розробленої функціональної моделі екологічної освіти і виховання учнів у навчально-виховному процесі позашкільних навчальних закладів.

Компоненти організаційної складової навчально-виховного процесу загальноосвітніх навчальних закладів екстраполюються на весь процес організації і здійснення дослідницької діяльності учнів основної школи з екології, метою якої є формування їхньої екологічної вихованості. Підтвердженням цього висновку є усталена сьогодні у педагогічній науці і практиці думка про те, що інтерес, мотиви і пізнавальні потреби – це вибіркові, емоційно забарвлені прагнення особистості до життєво значущих для неї об'єктів, які тісно пов'язані з особистою зацікавленістю до них [9, с. 49].

Відтак, можемо констатувати, що залучення учнів основної школи до здійснення дослідницької діяльності з екології суб'єктивується їхніми прагненнями до певного виду діяльності з однієї сторони, а з іншої – визначається силою й спрямованістю пізнавальних потреб особистості на основі її емоційно-вольових проявів саме у такій діяльності. У контексті останнього, на думку П. Сімонова, сформовані емоційні реакції, емоційні стани підсилюють інші психічні процеси особистості, а саме – потреби і мотиви [10].

Розвиваючи цю думку, актуалізуємо увагу на тому, що інтереси і пізнавальні потреби щодо напрямів та обсягів вивчення й охорони об'єктів довкілля визначаються саме рівнем сформованості емоційно-ціннісного компонента екологічної вихованості учня основної школи. Тобто, завдяки підвищенню емоційно-ціннісних реакцій у свідомості особистості більш інтенсивно відбувається трансформація набутих учнями основної школи екологічних знань в особисті переконання. А ті, за визначенням В. Червонецького, у сукупності зі сформованими мотивами визначають інтенсивність і спрямованість екологічно доцільної діяльності особистості у довкіллі, що є результатом усвідомлення особистістю характеру взаємозв'язків між власними потребами і діяльністю відповідно до встановлених суспільством норм і правил [11].

Отже, можемо зробити висновок, що реалізувати на практиці зазначені вище положення можна лише за умови такої організації навчальної та виховної роботи з учнями основної школи, яка б передбачала активне залучення їх до процесу пізнання навколишньої дійсності як у складі колективу класу чи гуртка, так і самостійно. А, головне, створення умов для практичного втілення здобутих ними екологізованих знань, умінь та навичок у процесі вивчення й збереження довкілля. Тобто, йде мова про те, що організація у межах навчально-виховного процесу загальноосвітніх навчальних закладів дослідницької діяльності учнів основної школи дає змогу найбільш ефективно виявляти й розвивати як інтелектуальні, так і потенційні їхні творчі здібності. І як зазначають С. Панченко та Л. Тихенко, «… дослідницька діяльність учнів стимулює розвиток їхньої креативності та розумових процесів, оскільки спрямована на визначення й вирішення навчальних чи екологічних проблем своєї місцевості та потребує використання для цих цілей знань з різних галузей науки, культури, техніки» [12, с. 47–48].

Таким чином, дослідницька діяльність учнів основної школи з екології в загальноосвітніх навчальних закладах має ґрунтуватися на сукупності засобів, до яких, зокрема, належать: раніше здобуті наукові знання, насамперед ті екологізовані знання, які упорядковані за допомогою системи наукових понять; відповідні методи отримання інформації від об'єктів дослідження (у процесі чи за результатами проведених спостережень й експериментів); відповідні методи обробки цієї інформації. Відтак кінцевим результатом дослідницької діяльності учнів основної школи з екології є, насамперед, формування у свідомості наукової картини світу, ціннісних категорій стосовно довкілля (теоретичний аспект), вироблення умінь і навичок його вивчення (теоретико-прикладний аспект), і як результат – здійснення самостійно чи у колективі класу або гуртка екологічно спрямованої суспільно корисної, масової і природоохоронної роботи (прикладний аспект) [8].

Створення такого навчально-виховного й процесуального конструкту екологічного виховання учнів основної школи у межах навчально-виховного процесу загальноосвітніх навчальних закладів можливо за умови чіткої диференціації обсягу педагогічної допомоги чи педагогічного супроводу дослідницької діяльності учнів основної школи з екології й суспільно корисної і природоохоронної роботи, так і чітко визначених напрямів, обсягів, часу і навіть географічних меж її здійснення. Саме остання позиція має надзвичайно суттєве значення, оскільки індивідуальні (інтелектуальні – інтереси, потреби, емоції, світоглядні ідеї та фізичні можливості) і визначають

в кінцевому результаті напрями, обсяги, інтенсивність та практичну значущість здійсненої учнями основної школи дослідницької діяльності з екології. У межах якої провідним результатом є саме здійснювана учнями основної школи самостійно чи в колективі гуртка (секції, класу) масова, суспільно корисна і природоохоронна робота, що спрямовується на вирішення місцевих екологічних проблем. Саме такий підхід до виокремлення й побудову навчально-виховного змісту екологічної діяльності учнів основної школи у сукупності з їхньою практичною роботою у довкіллі значно підвищує інтерес та творчу активність кожного з учнів.

У свою чергу, самостійний творчий пошук в оволодінні екологічними знаннями для розуміння законів і закономірностей середовища людини, підкреслюють американські психологи М. Монро, Р. Каплан і М. Фантіні, безпосередньо пов'язаний з актом відкриття, високою інтелектуальною і емоційною активністю, що завжди стимулює стійкий інтерес до дорученої справи [13].

Тоді конкретизація цілей навчання й виховання учнів основної школи у процесі здійснення ними дослідницької діяльності з екології є комплексом взаємопов'язаних між собою вимог щодо поєднання природничого та соціогуманітарного знання у змісті такої діяльності, як необхідну передумову інтеграції роз'єднаного конкретного екологічного матеріалу у навчальних предметах загальноосвітніх навчальних закладів у єдину систему навчально-виховного матеріалу, що надає йому визначеної цілісності й концептуальності [8, 14].

За такого підходу екологічне знання, яке здобувають учні основної школи самостійно чи в колективі гуртка, секції, дослідницької групи під час здійснення дослідницької діяльності з екології чи конкретної суспільно корисної та природоохоронної роботи, стає важливим і, головне, необхідним компонентом становлення і розвитку нової системи екологічної освіти і виховання учнів у цих навчальних закладах. Можливість створення такої єдності, зокрема між природничо-науковим і соціогуманітарним знанням з його ідеологічними, культурологічними, світоглядними та аксіологічними компонентами у поєднанні з екологією як окремою самостійною багатоаспектною й міждисциплінарною галуззю знань про довкілля, є важливою умовою розв'язання комплексу як суто екологічних, біоетичних, так і педагогічних проблем, притаманних сучасному соціуму [8].

Такий підхід, на думку М. Кисельова і А. Толстоухова, до побудови навчально-виховного змісту екологічного спрямування сприяє актуалізації осмислення специфіки становлення і розвитку нових підходів до побудови навчального знання у загальноосвітніх навчальних закладах, світоглядна та методологічна значущість якого детермінує формування когнітивних освітньо-виховних систем не лише природознавства, а й дисциплін соціально-гуманітарного циклу [8]. А це, у свою чергу, сприяє більш ефективному відображенню у конструюванні нового навчального змісту екологічної освіти і виховання учнів основної школи у процесі дослідницької діяльності з екології різних підходів до корекції традиційної системи цінностей стосовно довкілля як окремої особистості, так і суспільства в цілому.

Таким чином, формування екологічної вихованості особистості, за своєю сутністю, є не тільки довгостроковим і багатомірним процесом набуття екологізованих знань, формування інтелектуальних умінь особистості, але й складним процесом її виховання, де, за висновком В. Червонецького, «… оволодіння учнями екологічними знаннями, усвідомлення ними важливості проблем довкілля та розуміння пріоритету гуманістичних цінностей у стосунках людини з навколишнім середовищем ще недостатньо для того, щоб у майбутньому підростаюче покоління змогло попередити подальше поглиблення екологічної кризи» [11].

Наступною складовою міжпредметного підходу до конструювання змісту дослідницької діяльності з екології учнів основної школи визначено застосування принципу дитиноцентризму у розкритті проблем навколишнього середовища. Завдяки чому досягається високий рівень конкретизації здобутих інтелектуальних умінь та практичних навичок, що опосередковано чи безпосередньо впливає на емоційно-психологічний стан учнів.

Головні висновки. Отже, кінцевою метою застосування набутих учнями інтелектуальних умінь екологічного змісту визначається формування та розвиток емоційно-ціннісних орієнтацій і мотивів прийняття обґрунтованих рішень з вивчення та охорони природи. У контексті останнього, на думку В. Кременя, «… виникає і стверджується нова стратегія поступу суспільства, в основі якої – не накопичення матеріальних благ і цінностей, а орієнтація на цінності духовні, на знання, культуру, науку, без яких втрачається сенс і перспективи …» сформувати «… людину в її новій якості, що має стати метою і смислом прогресу» [15, с. 9].

Аналіз зазначеного вище дає підстави зробити висновок, що не менш значущими, ніж інтелектуальні уміння та практичні навички, формування яких передбачено безпосередньо у змісті дослідницької діяльності учнів основної школи з екології, є ціннісні орієнтації, котрі визначають позицію і критичне ставлення особистості не лише до діяльності інших людей у довкіллі, але й до своєї власної, тим самим змушуючи учня сприймати і переживати екологічні проблеми як свої особисті, відстоювати власну позицію щодо охорони довкілля.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективу подальших наукових розвідок вбачаємо у визначенні аспектів успішної реалізації моделі формування екологічної вихованості учнів

основної школи у процесі дослідницької діяльності з екології у загальноосвітніх навчальних закладах України, детальному аналізі особливостей використання кожного конкретного засобу впливу на зростаючу особистість у виховному процесі з екології, розробці та впровадженню ефективних засобів сучасних інформаційних технологій у виховний процес навчально-виховних закладів.

Література

1. Національна доктрина розвитку освіти в Україні у XXI столітті. К:. Шкільний світ, 2001. 24 с.
2. Deleage J.P. Histoire de L'ecologie: Use sciece de l'homme et de la nature. P.: Decouverte, 1991. 330 p.
3. Бех І.Д. Особистісно зорієнтоване виховання . К.: ІЗМН, 1998. 204 с.
4. Національна програма виховання дітей та учнівської молоді в Україні. Освіта України, 2004. № 94. С. 6–10.
5. Філіпчук Г.Г. Словник термінів з екології та безпеки життя і діяльності: навчальний посібник. Чернівці: Зелена Буковина, 2003. 752 с.
6. Васюта О.А. Екологічна політика: національні та глобальні реалії : у 4 т. Чернівці : Зелена Буковина, 2004. Т. 4. 552 с.
7. Концептуальні виміри екологічної свідомості: монографія. К.: Вид-во Парапан, 2003. 312 с.
8. Трохимчук І.М. Формування екологічної вихованості учнів основної школи у процесі дослідницької діяльності з екології у загальноосвітніх навчальних закладах: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.07. Умань, 2014. 20 с.
9. Основи загальної психології [за ред. С.Д. Максименка]. К.: НПЦ Перспектива, 1998. 256 с.
10. Сисоєва С.О. Основи педагогічної творчості вчителя: навч. посібник. К.: ІСДОУ, 1994. 204 с.
11. Червонецький В.В. Екологічна освіта учнів у школах країн Європейського регіону та США: монографія. Луганськ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005. 336 с.
12. Дослідницька робота школярів з біології: навчально-методичний посібник. За заг. ред. к.б.н. С.М. Панченка, к.п.н. Л.В.Тихенко. Суми : ВТД "Університетська книга", 2008. 368 с.
13. Kaplan R. Some Psycholodical Benifits Of An Outdoor Challenge Program. Environment And Behavior, 1974. V. 46. № 6.
14. Совгіра С.В. Теоретико-методичні основи формування екологічного світогляду майбутніх учителів у вищих педагогічних навчальних закладах: монографія. К.: Наук. світ, 2008. 346 с.
15. Кремень В.Г. Філософія людиноцетризму в стратегіях освітнього простору К.: Педагогічна думка, 2009. 520 с.

UDC 544.723.212
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.13

ZIRCONIUM (IV) OXIDE AS PERSPECTIVE SORBENT OF IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Fedenko Yu., Samoylenko V.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Peremogy Ave., 37, 03056, Kyiv
fedenkoyura@ukr.net, vlada.samoilenko11@gmail.com

Progress in the field of inorganic sorbents is associated with the search for new materials and improvement of existing ones. When used, a number of requirements are imposed on them, namely: cheapness, ease of preparation, reusability, high efficiency and selectivity. Among these requirements, the cheapness (allows to obtain sorbents of the lowest cost and therefore with high economic efficiency) and high selectivity (obtaining sorbent materials that can provide purification of aqueous solutions from pollutants of a certain nature, i.e. sorbents of a certain targeted action) deserve the most attention.

One of the materials capable of selective sorption of many ions is zirconium (IV) oxide, which is effective in wastewater treatment from chlorides, phosphates, sulfates, arsenates, heavy metal ions, etc. However, a significant obstacle to the widespread use of ZrO_2 as a sorbent is, among other things, its relatively high cost. To overcome the latter drawback, it is advisable to develop the direction of creating functional sorption composite materials based on ZrO_2 with a reasonable choice of carrier, which would also have sorption properties. From this point of view, the most promising carriers are natural materials that are available in sufficient quantities in the earth's crust, and therefore can be used with high economic efficiency. One of such promising natural sorption materials is activated carbon due to its developed surface, widespread availability and low cost. Even more promising is the combination of activated carbon with various expensive sorbents, such as nanodispersed zirconium (IV) oxide, which will contribute to a significant increase in both the specific surface area of the latter and the reactivity of zirconium (IV) oxide.

Thus, the combination of nanoscale zirconium (IV) oxide and activated carbon should have a positive effect on the sorption characteristics of the future composite sorbent, and, expectedly, on the technical and economic feasibility of its use in terms of complex indicators. *Key words:* zirconium oxide, sorption, activated carbon, composite, heavy metal ions, wastewater.

Цирконію (IV) оксид як перспективний сорбент йонів із водних розчинів. Феденко Ю.М., Самойленко В.О.

Прогрес у галузі неорганічних сорбентів пов'язаний з пошуком нових матеріалів та вдосконаленням існуючих. При застосуванні до них пред'являється ряд вимог, а саме: дешевизна, простота одержання, можливість повторного застосування, висока ефективність та селективність. Серед цих вимог найбільшої уваги заслуговують саме дешевизна (дозволяє отримувати сорбенти найнижчої вартості і тому з високою економічною ефективністю) та висока селективність (одержання сорбційних матеріалів, що здатні забезпечувати очищення водних розчинів від забрудників певної природи, тобто сорбенти певної цілеспрямованої дії).

Одним з матеріалів, що здатен до селективної сорбції багатьох йонів, є цирконію (IV) оксид, який є ефективним при очищенні стічних вод від хлоридів, фосфатів, сульфатів, арсенатів, йонів важких металів тощо. Проте, суттєвою перешкодою для широкого використання ZrO_2 як сорбента є, серед іншого, його відносно висока вартість. Для подолання останнього недоліку доцільно розвивати напрямок створення функціональних сорбційних композиційних матеріалів на основі ZrO_2 з обгрунтованим вибором носія, котрий теж володів би сорбційними властивостями. З цієї точки зору найбільш перспективними носіями представляються природні матеріали, які в достатній кількості наявні в земній корі, а тому можуть бути використані з високою економічною ефективністю. Одним із таких перспективних природних сорбційних матеріалів є активоване вугілля завдяки його розвиненій поверхні, розповсюдженості та невисокій вартості. Ще більш перспективним виглядає поєднання активованого вугілля з різними дороговартісними сорбентами, як, наприклад, нанодисперсним цирконію (IV) оксидом, що сприятиме значному зростанню як питомої площі поверхні останнього, так і реакційної здатності цирконію (IV) оксиду.

Отже, поєднання нанорозмірного цирконію (IV) оксиду та активованого вугілля повинно позитивним чином вплинути як на сорбційні характеристики майбутнього композиційного сорбента, так і, очікувано, на техніко-економічну доцільність його використання за комплексними показниками. *Ключові слова:* цирконію оксид, сорбція, активоване вугілля, композит, йони важких металів, стічна вода

Introduction. Crystalline zirconium (IV) oxide (ZrO_2) can exist in monoclinic (thermodynamically stable up to a temperature of 1170 °C), tetragonal (stable from 1170 °C to 2370 °C) and cubic (stable from 2370 °C to the decomposition temperature of the compound – 2700 °C) modifications [1].

Cubic ZrO_2 has the structure of fluorite, in the crystal lattice of which each Zr atom has eight bonds with Oxygen atoms. Thus, Zr atoms form centrosymmetric lattice with axis translation (CSL) with Oxygen atoms occupying positions in tetrahedral interstices. The cubic structure is determined by one lattice constant (Table 1) [2–4].

Tetragonal ZrO_2 can be considered as a slightly distorted cubic structure. The structure of tetragonal ZrO_2 is defined by two lattice parameters – a and c. In the

crystalline tetragonal structure of ZrO_2, Zr atoms are also bonded to eight Oxygen atoms – four adjacent Oxygen atoms are located in the plane of the tetrahedron; the length of the Zr-O bond is 0.207 nm, and the remaining Oxygen atoms are located at an angle of 90 ° to the plane of the tetrahedron at a distance of 0.246 nm from Zr [2-4].

Monoclinic ZrO_2 is formed by further distortion of the tetragonal structure. It is even less symmetrical and is represented by more complex geometric structures of 12 atoms of the unit cell. In monoclinic ZrO_2, Zr atoms have seven bonds with Oxygen (Fig. 1). In space, the Oxygen atoms form angles of 134.5° and 109.5°. Thus, the Oxygen atoms are not in the same plane. In the crystal structure of monoclinic ZrO_2, the interatomic distances of Zr-O vary significantly, but have an average value of 0.207 nm and 0.221 nm [2–4].

Fig. 1 shows polymorphic modifications of ZrO_2 – their atomic structures and corresponding unit cells.

The transition to the monoclinic phase during cooling occurs from 1000 °C to 650 °C. On the other hand, during heating, the monoclinic phase transforms into the tetragonal phase starting from 820 °C. In this case, the tetragonal modification is formed even up to 1170 °C [5].

Tetragonal modification of ZrO_2 is unstable. To stabilize it, so-called tolerance agents (usually oxides of rare earth metals, calcium, magnesium, ferrum) are used. Ceramic material based on zirconium (IV) oxide stabilized with yttrium oxide (Y-TZP – Yttrium-Tetragonal Zirconia Polycrystal) is promising for use in restorative dentistry [7–13].

Applications of nanomaterials based on zirconium (IV) oxide. As mentioned above, modifications of nanodispersed ZrO_2 in nanomaterials based on it determine the ways of application, because each of its modifications has a number of unique properties.

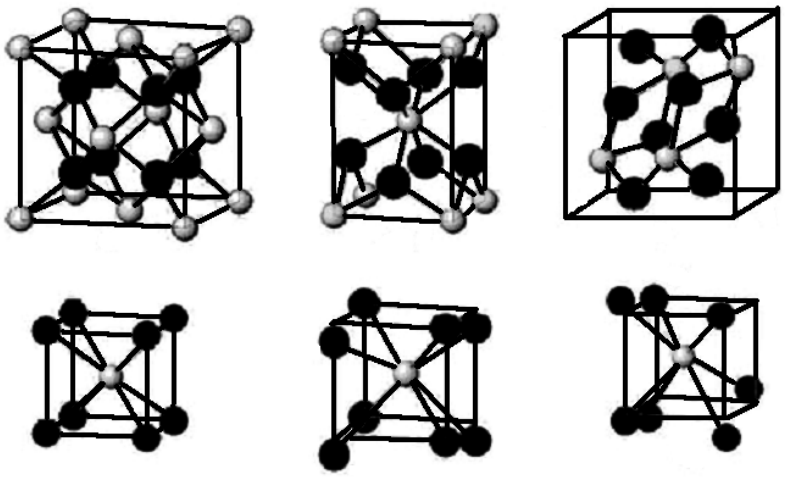
ZrO_2 crystalline powders of monoclinic modification have catalytic properties, and cubic and tetragonal modifications – high strength and thermal stability. In addition, the cubic modification of ZrO_2 has ionic conductivity, which leads to its use in such a promising direction as the production of solid oxide fuel cells.

Therefore, the monoclinic modification of ZrO_2 nanopowder is used mainly in the production of substrates for luminescent and photosensitive materials [14], and nanomaterials based on ZrO_2 of tetragonal and cubic modifications – in ceramic materials, including, in new materials with a set of enhanced service characteristics

Table 1

Parameters of ZrO_2 crystal lattice and some of its characteristics [1–5]

Phase	Simple group	Lattice parameters	Bulk density, g/cm^3	Band gap width, eV	Temperature stability
Monoclinic	P 2_1/c	*a*=0,5169 nm, *b*=0,5232 nm, *c*=0,5341 nm, β=99°15’ (20 °C)	5,6	5,83	up to 1170 °C
Tetragonal	P 4_2/nmc	*a*=0,514 nm, *b*=0,527 nm, *a*/*c*=1,02 (1250 °C)	6,1	5,78	1170-2370 °C
Cubic	Fm/3m	*a*=0,5256 nm (2330 °C)	6,27	6,1	2370-2700 °C



(a) *(b)* *(c)*

Fig. 1. Atomic structures (top) and coordinated relative to each other Oxygen (black) and Zirconium (white) atoms of unit cells (bottom) of different modifications of ZrO_2: (a) – cubic, (b) – tetragonal, (c) – monoclinic

due to increased viscosity, high mechanical, radiation and corrosion resistance, hardness, melting point, refractoriness, satisfactory electrical conductivity and low thermal conductivity at low temperatures [14]. Hence, the tetragonal modification of zirconia (IV) oxide has been widely used as a bio-ceramic in restorative dentistry [15], and the cubic modification as a chemical and heat-resistant nanoceramic of high strength [16–18]. In addition, as mentioned above, the cubic modification of zirconia (IV) oxide is used as a solid electrolyte in solid oxide fuel cells and as a protective anti-corrosion coating for steel [19].

In addition, zirconium (IV) oxide in the monoclinic modification is used as a catalyst (due to the activity of acid centers on the surface) [20], in the tetragonal modification – as a carrier for catalysts (due to high thermal stability) [21], as a sorbent in the amorphous phase or at a low degree of crystallinity [22].

When using zirconium (IV) oxide as a catalyst, an important role is played by the acid-base nature of its properties and the presence of several types of defects in the crystal lattice and on the surface, which are one of the main factors of the reaction-catalytic activity of the surface of any oxide. When obtaining these oxides in the form of nanostructures, the percentage of coordination-unsaturated ions, especially at the edges and corners of microcrystallites, is predicted to be large. Consequently, the physical chemistry of the surface in nanoscale systems based on metal oxides will play a crucial role in determining the scale of their application and evaluation of catalytic activity.

Zirconium (IV) oxide, when used as a carrier for catalysts, must have sufficiently developed external and internal surface areas. These requirements are met by obtaining the smallest possible size of zirconium (IV) oxide crystallites.

One of the most unusual and promising properties of zirconium (IV) oxide particles is its sorption capacity for both anions and cations, which allows us to consider nanoscale ZrO_2 and materials based on it as a tool for improving the ecological state of the environment. At the same time, the greatest sorption capacity has hydrated zirconium (IV) oxide, i.e. in the amorphous state [23-25]. The peculiarity of the use of ZrO_2 as a sorbent is that it has a high selectivity for multivalent anions (chromates, borates, sulfates, phosphates, arsenates, etc.) and can be used at high temperatures without losing its efficiency.

Thus, it can be argued that ZrO_2 is a multifaceted material that has many real and promising applications. Due to this, it attracts increased interest, and in the transition to nanostructures it has numerous advantages for obtaining new types of materials with improved characteristics, among which the least studied are sorption properties.

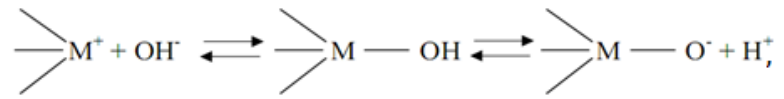
Application of nanosized zirconium (IV) oxide and composites based on it as sorbents. Zirconium (IV) oxide in the amorphous state, due to the developed surface and the presence of hydroxide groups, can be effectively used as a sorbent for both anions and cations depending on the pH (due to the amphoteric properties of zirconyl cation). The active surface of hydrated zirconium (IV) oxide, depending on the pH of solutions, is formed by two mechanisms [23] (Fig. 2).

Based on the above mechanisms, in this type of sorbents, in particular ZrO_2, there is a transition from sorption of anions in an acidic environment to cations in an alkaline one. The transition from one type of sorption to another corresponds to the achievement of the isoelectric point of the Zirconium ion, which is equal to pH 4 [21].

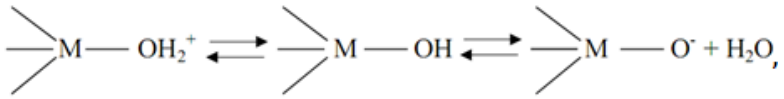
In [22], the sorption of both anions (Cl-, $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-}, etc.) and cations (Na^+, As^{3+}, Sr^{2+}, etc.) on ZrO_2 nanopowders was studied. It was shown that anions were removed more efficiently at pH less than 5, and cations – at pH more than 8.

Sorption of zirconium (IV) oxide occurs due to surface hydroxide groups. Water contained in ZrO_2, according to [23], is not hydrated, because it is gradually lost when heated in a certain temperature range, which indicates the non-isobaric nature of dehydration, which is inherent in hydrated compounds. The final amount of water in ZrO_2 powder depends on the final temperature treatment and on the conditions of its synthesis. Thus, in the process of sol-gel synthesis or chemical precipitation during hydrolysis and polymerization, a mesh structure is formed with – O – Zr – O – bridges that have cross-links with Zirconium atoms.

From the data on the study of dehydration and thermogravimetry, which were obtained in [25], it was found



a)



b)

Fig. 2. Formation of the active surface of zirconium (IV) oxide depending on the pH of the environment: a) – acidic environment, b) – alkaline environment

that Zr hydroxides do not form hydrates of a certain composition, and when they are deposited, the $ZrOOH^+$ ion forms the periodic structure (Fig. 3).

The exchange capacity of ZrO_2 also depends on the final temperature: it decreases with its increase. It is noted in [23] that the exchange capacity decreases sharply in ZrO_2 powders obtained at temperatures above 300 °C. This coincides with the transition of the tetragonal structure to the monoclinic structure (290 °C) and may be associated with recrystallization into a more compact form.

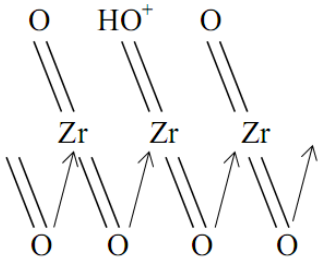


Fig. 3. Periodic structure formed by ion $ZrOOH^+$ deposition

From the above data it follows that hydrated zirconium (IV) oxide is a multifunctional sorbent capable of removing both cations and anions. At the same time, it has high selectivity to some ions [24], which makes it possible to use it in certain cases for the separation of ions in mixtures.

One of the disadvantages of ZrO_2 when used as a sorbent is its relatively high cost. To reduce the cost of such sorbents, composites based on ZrO_2 in combination with various carriers can be used. The choice of carrier is dictated by its properties such as developed surface, chemical inertness, sorption properties, etc. [21]. When using composites based on ZrO_2, it is expected that the sorption process will involve the maximum available surface of zirconium (IV) oxide, while in a similar application of purely ZrO_2, a significant part of its surface may remain inaccessible.

The following materials are currently used as carriers for ZrO_2: Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2, layered graphite, multiwalled carbon nanotubes [21–24]. However, almost nowhere is the use of activated carbon, which has quite significant advantages over other carriers – high specific surface area (from 600 to 1000 m^2/g) and low cost. In addition, it is likely that the use of the carrier can stabilize the size of ZrO_2 in the nanoscale. All this should have a positive effect on the specific surface area in general and on the sorption characteristics in general.

Thus, ZrO_2 can be quite a promising sorbent for the extraction of cations and anions from aqueous solutions, which will solve some of the environmental problems of our time. At the same time, the synthesis of a nanocomposite based on zirconium (IV) oxide will significantly reduce the cost of such a sorbent, while maintaining or improving its sorption characteristics.

References

1. Кондир А.І. Наноматеріалознавство і нанотехнології : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. 452 с.
2. Munoz-Aguado M.J., Gregorkiewitz M., Larbot A. Sol-gel synthesis of the binary oxide (Zr, Ti) O_2 from the alkoxides and acetic acid in alcoholic medium. *Materials Research Bulletin*. 1992. Vol. 27. № 1. P. 87–97.
3. Sanders W. Basic Principles of Nanotechnology : book. Boca Raton, US : CRC Press, 2018. 194 p.
4. Benerjee S. Phase Transformations / S. Banerjee, P. Mukhopadhyay. Elsevier Ltd, 2007. 801 p.
5. Jin L., Ni L., Yu Q. Theoretical calculations of thermodynamic properties of tetragonal ZrO_2. *Computational Materials Science*. 2012. Vol. 65. P. 170–174.
6. Пугачевський М.А., Заводинський В.Г., Кузьменко А.П. Диспергування діоксиду цирконію імпульсним лазерним випромінюванням. *Журнал технічної физіки*. 2011. Том 81. Вип. 2. С. 98–102.
7. Obal K., Pedzich Z., Brylewski T. Modification of Yttria-doped tetragonal Zirconia Polycrystal ceramics. *International Journal of electrochemical Sciences*. 2012. № 7. P. 6831–6845.
8. Ruff O., Ebert F. Refractory Ceramics: 1, The Forms of Zirconium Dioxide. Z. *Anorg. Allq. Chem*. 2010. № 180(1). P. 19–41.
9. Шилова О.А., Шилов В.В. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології : монографія. Київ : Академперіодика, 2002. 100 с.
10. Верещак В.Г., Нестеренко Н.Г. Процеси стабілізації високотемпературних кристалічних модифікацій діоксиду цирконію. *Питання хімії і хімічної технології*. 2009. № 3. С. 149–154.
11. Piconi C., Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*. 1993. № 20. P. 1–25.
12. Галахов А.В., Фоміна Г.А., Ільїчева А.А. Механічні властивості кераміки в системі «ZrO_2 + 12% CeO_2» з додатками CaO, Y_2O_3, Nb_2O_5. *Вогнетриви*. 1994. № 2. С. 7–10.
13. Badwal S.P.S., Bannister M.J., Hannink R.H.J. Science and Technology of Zirconia. *Lancaster. Technomic Publishing Co.* 1993. 880 p.
14. Ren Z., Zhang G., Paul Chen J. Adsorptive removal of arsenic from water by an iron – zirconium binary oxide adsorbent. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2011. Vol. 358. P. 230–237.
15. Long F., Gong J., Zeng J. Removal of phosphate from aqueous solution by magnetic Fe – Zr binary oxide. *Chemical Engineering Journal*. 2011. Vol. 171. P. 448–455.
16. Kikuyama S., Miura A., Kikuchi R. SO_x sorption – desorption characteristics by ZrO_2-based mixed oxides. *Applied Catalysis A: General*. 2004. Vol. 259. № 2. P. 191–197.
17. Kikuyama S., Matsukuma I., Kikuchi R. A role of components in Pt – ZrO_2/Al_2O_3 as a sorbent for removal of NO and NO_2. *Applied Catalysis A: General*. 2002. Vol. 226. № 1. P. 23–30.

18. Kikuyama S., Matsukuma I., Takeguchi T. NO_x sorption – desorption mechanism of ZrO_2-based oxide. *Studies in Surface Science and Catalysis*. 2003. Vol. 145. P. 247–6608.
19. Argon P.A., Fuller J.R., Holmes H.F. IR studies of water sorption on ZrO_2 polymorphs. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1975. Vol. 52. Issue 3. P. 553–561.
20. Wu S.F., Wang L.L. Improvement of the stability of a ZrO_2-modified Ni-nano-CaO sorption complex catalyst for Re SER hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2010. Vol. 35. № 13. P. 6518–6524.
21. Eguchi K., Kondo T., HayashiT. Sorption of nitrogen oxides on MnO_y – ZrO_2 and Pt – ZrO_2 – Al_2O_3. *Applied Catalysis B: Environmental*. 1998. Vol. 16. № 1. P. 69–77.
22. Slimane R., Abbasian J. Regenerable mixed metal oxide sorbents for coal gas desulfurization at moderate temperatures. *Advances in Environmental Research*. 2000. Vol. 4. № 2. P. 147–162.
23. Moskovits M., Ravi B.G., Chaim R. Sintering of bimodal Y_2O_3 – stabilized zirconia powder mixtures with a nanocrystalline component. *Materials*. 1999. Vol.11. № 2. P. 179–185.
24. Li G., Li W., Zhang M. Morphology and hydrodesulfurization activity of Co, Mo sulfide supported on amorphous ZrO_2 nanoparticles combined with Al_2O_3. *Applied Catalysis A: General*. 2004. Vol. 273. P. 233–238.
25. Davies L.E., Bonini N.A. Locatelli S. Characterization and catalytic activity of zirconium dioxide prepared by sol – gel. *Latin American Applied Research*. 2005. № 35. P. 23–28.

БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 504.05:504.06
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.14

ДОСЛІДЖЕННЯ БДЖОЛИНОГО МЕДУ НА НАЯВНІСТЬ АНТИБІОТИКІВ ВНАСЛІДОК ЇХ НЕКОНТРОЛЬОВАНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Гафіяк О.В.
Ужгородський національний університет
вул. Волошина 32, 88000, м. Ужгород
gafiakolga@gmail.com

У статті наведено результати моніторингу прилеглої до Карпатського біосферного заповідника території, щодо виявлення джерел забруднення природніх екосистем відходами різного походження, зокрема антибіотиками, які неконрольовано потрапляють в навколишнє природнє середовище. Неправильне використання антибіотиків у медицині та застосування їх у різних галузях тваринництва прискорюють виникнення антибіотикорезистентності та поширення антибіотиків у природі, що негативно впливає на біорізноманіття та здоров'я населення.

Антибіотики потрапляють в питну воду та продукти харчування рослинного і тваринного походження. А присутність їх в продуктах бджільництва дозволяє визначити ступінь їх поширення в ґрунті та фітоценозах, оскільки зазвичай ці речовини в невеликій кількості не є небезпечними для самих бджіл. Проте бджоли як необхідна складова екосистем збираючи нектар, пилок із квіток, смолисті речовини в радіусі 3-5 км від пасіки, переносять усі речовини, що забруднюють навколишнє середовище, у продукти своєї життєдіяльності, що впливає на харчову біобезпеку.

Останні дослідження доводять, що найбільший рівень забруднення становить пластмаса (мікропластик) та понад 3,5 тис. синтетичних хімікатів. До них належать: пестициди, антибіотики та лікарські препарати, промислові відходи. Природні екосистеми зазнають значного негативного впливу від викидів токсичних сполук. Наявність антибіотиків у поверхневих водах, природних водоймах та питній воді в якості забруднювачів може представляти значний ризик для здоров'я людини. Існує ризик завдати величезної непоправної шкоди біологічним системам Землі.

Робота містить огляд основних прикладів забруднення навколишнього середовища антибіотиками, їх застосування в медичній галузі, ветеринарії, як прискорювачів росту на тваринницьких фермах, птахофермах та рибниках.

Антибіотики часто застосовують для здійснення різних санітарних заходів, доглядаючи за вуликами, часто використовують їх для лікування бджолосімей. Саме тому, щоб визначити імовірність потрапляння цих речовин з трансформованих екосистем, які зазнали антропогенного впливу, до складу меду, потрібно володіти достовірною інформацією про те, чи не здійснювалися такі заходи на пасіці. *Ключові слова:* антибіотики, антибіотикорезистентність, оцінка впливу, природні екосистеми, продукти бджільництва, мед.

Study of beech honey for the presence of antibiotics as a result of their uncontrolled distribution in nature. Hafiiak O.

The article presents the results of the monitoring of the territory adjacent to the Carpathian Biosphere Reserve, regarding the identification of sources of pollution of natural ecosystems with waste of various origins, in particular, antibiotics that enter the natural environment in an uncontrolled manner. The incorrect use of antibiotics in medicine and their use in various branches of animal husbandry accelerate the emergence of antibiotic resistance and the spread of antibiotics in nature, which negatively affects biodiversity and public health.

Antibiotics get into drinking water and food products of plant and animal origin. And their presence in beekeeping products allows you to determine the degree of their distribution in the soil and phytocenoses, since usually these substances in small quantities are not dangerous for the bees themselves. However, bees, as a necessary component of ecosystems, collect nectar, pollen from flowers, resinous substances within a radius of 3-5 km from the apiary, transfer all substances that pollute the environment into the products of their vital activities, which affects food biosafety. Recent studies prove that the greatest level of pollution is plastic (microplastic) and more than 3,500 synthetic chemicals. These include: pesticides, antibiotics and pharmaceuticals, industrial waste. Natural ecosystems are significantly negatively affected by emissions of toxic compounds. The presence of antibiotics in surface water, natural reservoirs and drinking water as contaminants can pose a significant risk to human health. There is a risk of causing enormous irreparable damage to Earth's biological systems and to ourselves. The work contains an overview of the main examples of environmental pollution with antibiotics and their use in the medical field, veterinary medicine, as growth accelerators on livestock farms, poultry farms and fish farms.

Antibiotics are often used to carry out various sanitary measures, taking care of beehives, they are often used to treat bee colonies. That is why, in order to determine the probability of these substances entering the composition of honey from transformed ecosystems that have undergone anthropogenic influence, it is necessary to have reliable information about whether such measures were not carried out at the apiary. *Key words:* antibiotics, antibiotic resistance, impact assessment, natural ecosystems, beekeeping products, honey.

Постановка проблеми. Людство в ході розвитку господарської діяльності порушувало рівновагу в природі, зокрема забруднюючи грунт і водойми в місцях поселення. Природа Землі під натиском людської діяльності сьогодні опинилася на межі екологічної катастрофи. Як наслідок спостерігається вимирання видів, забруднення води та повітря токсичними речовинами, незворотна втрата природних екосистем та погіршення здоров'я людей. Неправильне використання антибіотиків в медицині, ветеринарії та сільськогосподарській промисловості, та неконтрольоване поширення їх в природі прискорюють виникнення антибіотикорезистентних мікроорганізмів, що негативно впливає на біоценози. Антибіотики потрапляють до складу питної води, продуктів харчування рослинного і тваринного походження, зокрема їх залишки знаходять у фруктах, овочах, ягодах, меді, м'ясі та молоці. Значне поширення цих речовин в природних екосистемах, може стати важливим «індикатором» під час проведення комплексної екологічної оцінки стану навколишнього середовища [2–4].

Актуальність дослідження. Забруднення природних екосистем небезпечними речовинами такими як антибіотики, ферменти, вакцини, сироватки, кормовий білок, біоконцентрати та ін., в останні роки стає все більш поширеним явищем. Джерелами забруднення довкілля, цими речовинами є підприємства та господарства у викидах яких наявні живі клітини мікроорганізмів, та продукти їх життєдіяльності. Відповідно до національних і міжнародних стандартів контроль якості та безпечності меду передбачає визначення гранично допустимих рівнів залишків антибіотиків, суль-фаніламідних препаратів, пестицидів, важких металів, радіонуклідів, пилку та ін. шкідливих речовин. В Україні затверджено національний план дій, спрямований на боротьбу зі стійкістю до протимікробних препаратів (Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національного плану дій щодо боротьби із стійкістю до протимікробних препаратів» від 6 березня 2019 р. № 116-р). План заходів передбачає контроль за появою антибіотикорезистентності в медицині, визначає механізм організації епідеміологічного нагляду за протимікробною резистентністю інвазивних патогенів, їх взаємодії між собою, передбачає передачу МОЗ і закладам охорони здоров'я інформації для розробки заходів з протидії поширенню/розповсюдженню мікроорганізмів з резистентністю [1].

Серед глобальних екологічних проблем людства невпинно поширюється забруднення водних ресурсів всього світу фармацевтичною продукцією, у тому числі, антибіотиками, концентрація яких в деяких річках світу перевищує межі безпеки в 300 разів. Як показало глобальне наукове дослідження, ініційоване науковцями Йоркського університету (Велика Британія), забруднення антибіотиками охопило дві третини водних шляхів планети. Так, під час дослідження водних артерій 72-х країн, встановлена присутність в місцевих річках 14 видів найбільш поширених антибіотиків. Наприклад, у Темзі, було знайдено п'ять найменувань антибіотиків. Наявність у воді одного з них – ципрофлоксацина – в три рази перевищило безпечний рівень. А в пробах води з річки Дунай науковці з Австрії визначили вміст 7 антибіотиків. Цей факт звертає увагу, тому що до основних приток Дунаю належить річка Тиса [1, 3–4].

В Карпатському регіоні поширене забруднення промисловими відходами та стічними водами, оскільки більшість населених пунктів не оснащено системою централізованого водовідведення та каналізування, відсутні очисні споруди. Саме тому в ґрунти та водойми потрапляє значна частина різноманітних шкідливих речовин, зокрема антибіотиків різного походження та призначення, які забруднюють ґрунти, водойми, в свою чергу антибіотики можуть потрапляти до складу продуктів харчування [2].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Це дослідження пов'язане з науковими дослідженнями, проведеними на базі біологічного факультету Ужгородського національного університету у 2019 році, яке провели Симочко Л.Ю спільно з колегами, на тему: «Забруднення навколишнього середовища антибіотиками: ґрунту, мікробіому та ризосфери». Науковцями було доведено, що наявність енрофлоксацину в ґрунті, особливо у високих концентраціях, викликає негативні зміни в мікробоценозі, а саме значно зростає кількість бактерій, стійких до антибіотиків (Symochko L., Hamuda B.. Symochko V. 2019) [2] Також встановлено, що забруднення антибіотиками є одним із важливих факторів формування мікробіому ґрунту. Одним з важливих показників еколого-санітарного стану ґрунту і всієї екосистеми є наявність умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів. Особливу небезпеку становлять стійкі до антибіотиків мікроорганізми, які разом з продуктами харчування, можуть надходити в організми людини і тварин із наземних екосистем [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджуючи проблему забруднення навколишнього середовища антибіотиками та імовірність потрапляння їх з довкілля до складу продуктів харчування таких як овочі, фрукти, ягоди, молоко та ін., нами виявлено не достатньо повне вирішене питання про дослідження меду бджолиного на вміст антибіотиків, останні можуть потрапляти до складу продуктів бджільництва за умови недотримання санітарних вимог, та розміщення пасік неподалік забруднених ділянок, зокрема сміттєзвалищ. Цими питаннями цікавляться автори наукових робіт і дослідники [2–7, 19].

За даними Асоціації «Health Care Without Harm» в середньому очисні споруди видаляють тільки близько 80 відсотків фармацевтичних речовин та їх залишків. Навіть використання найсучасніших

методів очищення не дозволяє повністю запобігти забрудненню: у очищеній стічній воді залишається до 10 відсотків препаратів. Установлено, що активний мул очисних споруд може акумулювати токсичні речовини, у тому числі, антибіотики. Тому важливим завданням є усунення впливу залишків стійких фармацевтичних препаратів антибіотиків на довкілля шляхом їх знешкодження (інактивації) [3–4]. Враховуючи, що харчова промисловість України є сектором економіки, який виявляє найбільшу стійкість до кризи та зростає найвищими темпами, питання технологічної експертизи та безпеки харчової продукції набуває особливої актуальності. З метою використання потенціалу зростання галузі необхідно підвищити рівень продовольчої безпеки та контролю в харчовій промисловості до рівня вимог СОТ і ЄС. Всесвітня організація охорони здоров'я випустила нові керівні принципи щодо використання медично важливих антимікробних препаратів для тварин, рекомендуючи фермерам та харчовій промисловості припиняти регулярне використання антибіотиків для сприяння росту та запобігання захворювань здорових тварин, що в свою чергу допоможе зберегти ефективність антибіотиків, важливих для людської медицини, зменшуючи їхнє використання для тварин. У деяких країнах приблизно 80% від загального споживання медично важливих антибіотиків припадає на тваринницький сектор, в основному для сприяння росту здорових тварин [3–5]. Надмірне використання антибіотиків у тваринництві призводить до того, що бактерії мутують і пристосовуються – антибіотики перестають діяти. Резистентність або стійкість до антимікробних препаратів вважається серйозною загрозою для людей та тварин у майбутньому, а зростаючий рівень стійких бактерій може збільшити кількість інфекційних захворювань. Регулярне вживання антибіотиків, які присутні у м'ясі птиці, свинини, яловичини, індички та риби, сприяє виникненню антибіотикорезистентності (стійкості до ліків), а також може стати причиною зниження імунітету, порушення обміну речовин, алергічних реакцій, появи набряків, дерматиту, дисбактеріозу. Майбутнє без ефективних антибіотиків суттєво змінить якість життя сучасної людини. За даними досліджень 700 000 людей у всьому світі помирають від бактеріальних інфекцій щороку, оскільки антибіотики вже не ефективні. Якщо не вживати рішучих дій, щорічна глобальна смертність від стійких до антибіотиків інфекцій сягатиме 10 мільйонів осіб до 2051 року. Антибіотики частіше застосовуються в тваринницьких комплексах, де через щільне утримання тварин, існує підвищений ризик поширення інфекційних хвороб. Крім того, свині в інтенсивних закритих системах можуть отримувати антибіотики протягом усього життя. У птахівництві антибіотики використовують для лікування та профілактики респіраторних захворювань та інших бактеріальних інфекцій [4, 5].

Часто антибіотики потрапляють в коров'яче молоко. При пастеризації молока, руйнується всього 6–28 % антибіотиків. Молоко, в якому виявлені антибіотики, звичайно, використовують тільки після кип'ятіння або пастеризації та лише для згодовування тваринам. У більшості розвинутих країн світу (США, Німеччина, Франція тощо), як ростостимулюючі препарати, дозволено використовувати тільки антибіотики немедичного призначення, які не використовуються у ветеринарній практиці, як лікувальні та профілактичні засоби. Згідно з існуючим офіційним «Переліком продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні» (затверджений 01.02.2005 № 28) на вміст антибіотиків обов'язкової сертифікації підлягають також такі види харчової продукції та продовольчої сировини: суміші на основі сухого молока, призначені для дитячого та дієтичного харчування; консерви м'ясні для дитячого харчування; продукти молочні сухі, продукти молочні згущені; сири сичужні; масло вершкове, вершково – рослинне [5–7].

Мікроорганізми, які набули стійкості до антибіотиків, виживають і розмножуються. Протимікробні препарати, які застосовуються в тваринництві, із сечею та гноєм потрапляють у довкілля, а саме – у водойми, ґрунти, накопичуються у рослинах і можуть далі передавати свої гени бактеріям, навіть інших видів, сприяючи розвитку стійкості серед мікроорганізмів ґрунту чи водойм. Все це сприяє поширенню резистентності до антибіотиків у мікробному світі. Вже через шість тижнів після потрапляння антибіотиків в ґрунт їх знаходять в рослинах. Навіть не значна кількість антибіотиків здатна потрапляти з продуктами рослинного походження в організм тварин та людей, що призводить до накопичувального ефекту [8, 9].

Багато країн вже вжили заходів щодо зменшення використання антибіотиків у тваринництві. До прикладу, Європейський Союз у 1999 році реалізував програму моніторингу стійкості до антибіотиків та з 2006 року заборонив використовувати антибіотики для стимулювання росту. Аби протидіяти стрімкому поширенню стійких до антибіотиків мікроорганізмів у Європейському Союзі ухвалили директиву, якою з 2022 року буде заборонено годування тварин антибіотиками для профілактики. Препарати можна буде застосовувати лише за приписом лікаря окремим тваринам або групам у разі діагностування конкретного захворювання. Країни ЄС вже більше десяти років докладають зусиль аби скоротити застосування антибіотиків у тваринництві. За цей період відповідні показники знизилися вдвічі [10–12].

Натомість, в Україні вживання антибіотиків у тваринництві для профілактики досі залишається нормою і яку саме кількість антибіотиків згодовують на українських птахофабриках чи свинофермах, можна лише здогадуватись. Крім того, немає належного контролю м'яса на залишки

антибіотиків, який у країнах ЄС проводиться дуже ґрунтовно [12–15].

Антибіотиками рятується життя тварин, які водночас згубно впливають на довкілля та людей. Тому, для врегулювання використання антибіотиків на тваринницьких комплексах необхідно з боку держави встановити чіткі вимоги та забезпечити контроль за їхнім застосуванням, а також скорочувати їхнє використання [15].

Шляхами забруднення навколишнього середовища лікарськими препаратами є їх застосування в ветеринарії як прискорювачів росту на тваринницьких, птахо- та рибних фермах. При використанні рідкого перегною, компосту курячого посліду або мулу після очисних споруд як добрива, ці препарати безпосередньо надходять у довкілля. Через грунт вони можуть попадати в підземні води, а лікарські препарати, які використовуються в рибних господарствах, – прямо в поверхневі води. Крім того, у зв'язку з відсутністю сортування побутового сміття, існує ймовірність надходження лікарських препаратів у довкілля з полігонів побутових відходів [16].

Серед більш ніж десяти класів антибіотиків значний ризик для здоров'я населення та довкілля представляють аміноглікозиди, b-лактами, макроліди, хінолони, сульфонаміди та тетрацикліни. Антибіотики цих класів найбільш широко вживаються як в медицині, так і ветеринарії. І, тому, вони є найбільш значними забруднювачами поверхневих водойм. Широке використання різних класів антибіотиків приводить до більш швидкого розвитку мультірезистентності у патогенних (штамів) мікрофлори. Згідно проведених в США розрахунків, концентрація антибіотиків в необроблених стічних водах була в межах від 3,9 до 27,0 нг/л [7, 10–11].

При надходженні у довкілля антибіотики, як було наведено вище, підлягають процесам сорбції, абіотичній та біотичній транформації. Ці процеси безпосередньо впливають на їх долю, транспорт в об"єктах довкілля та біологічну активність. Здатність до адсорбції може свідчити про стійкість антибіотиків у довкіллі. Значну здатність до адсорбції проявляють тетрацикліни, макроліди та фторхінолони. Першим етапом абіотичної трансформації є гідроліз, найбільш чутливими до гідролізу є b-лактами, іншим – фотодеградація, яка впливає на стійкість антибіотиків у поверхневих шарах водойм. Тетрацикліни та фторхінолони найбільш чутливі до фотодеградації [7].

До процесу біотичної трансформації найбільш чутливі аміноглікозиди, b-лактами та макроліди. Хінолони, сульфонаміди та тетрацикліни більш стійки. В дослідженнях на тест-системах було показано, що антибіотики проявляють значну антибактеріальну активність проти різних груп бактерій, які присутні в стічних водах [10, 11]. А токсичні ефекти для водоростей та дафній спостерігаються в дуже низьких концентраціях (5–100 мкг/л) [12, 13, 14]. В процесі експерименту [15] тільки деякі антибіотики частково біодеградували, більшість були стійки. Генотоксичність таких антибіотиків, як фторхінолони та метронідазол не зникала на протязі експерименту. В дослідженнях зразків вологого плодородного грунту було показано, що циклоспорин А біодеградує через декілька місяців, що свідчить про те, що біодеградація антибіотиків на станціях очистки та в об'єктах довкілля не відбувається і реально не видаляє антибіотики, а антибіотики проявляють якісні та кількісні ефекти на постійну мікробну спільноту в мулі [16].

Небезпечність антибіотиків для довкілля пов'язана з бактеріальною токсичністю, прискоренням проліферації резистентних патогенних мікроорганізмів та порушенням структури мікробної спільноти, яка впливає на процеси у навколишньому середовищі, наприклад, з природними циклами, що пов'язані з вищими харчовими ланцюгами. Вважається, що збільшення резистентності до антибіотиків та інших антибактеріальних агентів, патогенної флори є серйозною медичною проблемою, яка складає велику небезпеку для здоров"я людини. Відомо, що ЄС рекомендує обережне застосування антимікробних засобів для лікування людини з урахуванням визначення чутливості та мінімальної ефективної дози антибіотика. Антибіотики не повністю метаболізуються хворими. Особливо стійки до біотрансформації фторхінолони. Після застосування з організму пацієнта виводиться біля 65% антибіотика у неметаболізованому стані і біля 17% – у вигляді метаболітів [7, 17–19].

Швидкість, з якою формується і розповсюджується резистентність бактерій до антибактерійних препаратів, вражає. Лікарські засоби, які ще декілька років тому були ефективними, сьогодні втрачають свої позиції, а їх використання вимушено обмежується. Згідно з даними ВООЗ, швидке підвищення стійкості мікроорганізмів до антибіотиків загрожує підірвати основи охорони здоров'я, які зроблені медичною наукою протягом останніх 50 років [1, 4].

Наявність антибіотиків у поверхневих водоймах та питній воді в якості забруднювачів може представляти значний ризик для здоров'я людини. Дані літератури свідчать, що сульфонаміди і фторхінолони та в меншій мірі макроліди стійкі та мобільні у водному середовищі. Тетрацикліни можуть бути стійкими значний період часу, але менш мобільні. Аміноглікозіди та b-лактами найменш стійкі в об'єктах довкілля [9, 10, 19].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Вирішення проблеми забруднення антибіотиками довкілля, та як наслідок потрапляння цих речовин до складу продуктів харчування, зокрема і до складу бджолиного меду, саме з забруднених ділянок природних екосистем, не знайдено в поблікаціях і джерелах. Оскільки присутність антибіотиків

у продуктах бджільництва може свідчити про значне їх поширення в природних і антропогенно змінених екосистемах, це питання є надзвичайно актуальним в розрізі сучасних проблем в екології [2–4, 7].

Вже через шість тижнів після потрапляння антибіотиків в ґрунт їх знаходять в рослинах. Навіть не значна кількість антибіотиків здатна потрапляти з продуктами рослинного походження в організм людини, що призводить до накопичувального ефекту. Бджоли, збираючи нектар, пилок із квіток, смолисті речовини в радіусі 3–5 км від пасіки, переносять усі речовини, що забруднюють навколишнє середовище, у продукти своєї життєдіяльності. Зважаючи на широке застосування меду в харчовій промисловості як лікувально-профілактичного продукту та сировини з функціональними властивостями, актуальними є дослідження, пов'язані з його безпечністю. Виявлено речовини, небезпечні для людини, що не завдають шкоди бджолам, до них належать, наприклад, деякі хлорорганічні пестициди та антибіотики. Останні виявляють в складі меду протягом 120 діб і більше. Такий мед можна використовувати лише для підгодівлі бджіл [5–7, 19].

Сьогодні сільсько-господарська промисловість в Україні не звітує про кількість використаних препаратів, а існуючі механізми контролю не відображають реальну картину. Необхідно вводити обмеження на законодавчому рівні та стежити за їх дотриманням. Антибіотики та інші сильнодіючі препарати – це небезпечні відходи. Процеси євроінтеграції України вимагають нових підходів в галузі медицини, ветеренарії, веденні сільського господарства та поводження з ТПВ, тому важливо вдосконалювати механізм проведення екологічної оцінки, виявляти нові ризики та вносити відповідні зміни до законодавства.

Новизна. Вперше нами проаналізовано тісний взаємозв'язок між якістю меду та екологічними показниками довкілля в процесі проведення екологічної оцінки трансформованих екосистем, було здійснено дослідження зразків меду відібраного в районі досліджень на наявність різних фармакологічних груп антибіотиків адже відповідно до національних і міжнародних стандартів контроль якості та безпечності меду передбачає визначення гранично допустимих рівнів залишків антибіотиків, отже продукти бджільництва, зокрема мед, можуть бути індикатором забруднення навколишнього середовища [6].

Методологічне або загальнонаукове значення. Значення цього дослідження полягає у визначенні основних джерел забруднення антибіотиками природних екосистем. Вважаємо, що під час проведення екологічної оцінки трансформованих екосистем, буде важливо включити до методики досліджень, проведення аналізу ґрунту, води, фітоценозів та за можливості і бджолиного меду, на наявність антибіотиків. Дослідження в лабораторних умовах дозволяє виявити антибіотики в складі меду вже в концентраціях від 1,7 мкг/кг, це може свідчити про поширення антибіотиків в біоценозах району досліджень [2, 19].

Оскільки глобальне використання антибіотиків неухильно зростало протягом останніх десятиліть, через збільшення використання антибіотиків у медицині та в інших галузях комерційної діяльності. Споживання антибіотиків у тваринництві досягло 63 151 тонни в 2010 році і, за прогнозами, збільшиться ще на 67% до 2030 року. Використання антибіотиків також зростає в харчовому секторі, який найшвидше розвивається, в усьому світі через інтенсивне землеробство. З цієї причини антибіотики фармацевтичного походження зараз зустрічаються у великих кількостях в усіх створених людиною середовищах [2, 8–9].

Методологічне значення статті полягає у привертанні уваги до того, що питання забруднення антибіотиками погано регулюється на місцевому та глобальному рівнях, молекули антибіотиків все частіше зустрічаються в наземному, прісноводному та інших середовищах, що може наносити непоправних втрат біорізноманіттю, а також економічних збитків населенню.

Викладення основного матеріалу. Матеріалом для аналізу слугували зразки меду, який було відібрано з двох різних пасік, одна з яких розташована в ділянці, де поблизу немає сміттєзвалищ чи інших джерел забруднення (Проба № 1), а друга в зоні потенційного ризику поблизу є локальне несанкціоноване сміттєзвалище та інші джерела забруднення (Проба № 2), обидві пасіки розташовані в околицях Карптського біосферного заповідника на території Ясінянської громади (рис. 1)

Відбір зразків здійснювали стандартизованим методом (ДСТУ 4497:2005 Мед натуральний [10]. Технічні умови). Показники якості та безпечності меду перевіряються відповідно до вимог національного стандарту ДСТУ 4497–2005 «Мед натуральний. Технічні умови», а в країнах Євросоюзу – до директив Ради 2001/110/ЄС, 96/23/ЄС; регламентів ЄС 178/2002, 853/2004, 396/2005 і Codex Alimentarius 12-1981. Вміст залишкової кількості антибіотиків досліджували методом «Визначення антибіотиків у меді LC/MS-MS» [6; 10]. Виявлення та моніторинг використання антибіотиків є критично важливим аспектом зусиль у боротьбі з антибіотикорезистентністю. Перевірка залишків антибіотиків за допомогою існуючих методів LC/MS-MS обмежена в діапазоні виявлення. Сучасним методам також не вистачає здатності виявляти численні залишки антибіотиків в різних зразках одночасно. Всього 53 різних антибіотиків із 13 класів можна було якісно виявити за допомогою даної методики. Дослідження проводились офіційно на базі Віденського інституту харчової безпеки у 2020 році, в лабораторії AGES (Акредитований орган з оцінки відповідності Австрійське агентство охорони здоров'я та харчової безпеки GmbH Підрозділ безпеки харчових продук-

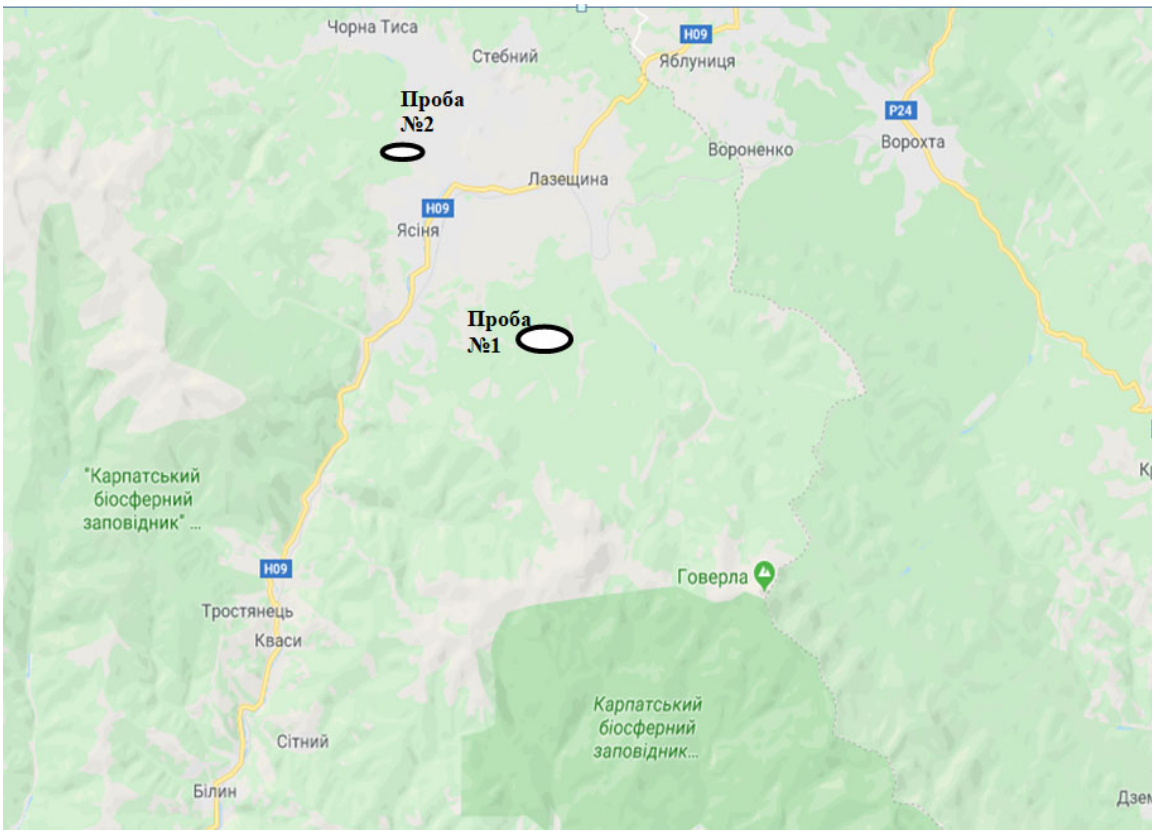


Рис. 1. Місця розташування пасік з яких відібрані досліджувані взірці меду

тів, ідентифікаційний номер: 0371) де за допомогою сучасної методики в лабораторних умовах перевірено взірці меду на наявність антибіотиків у відібраних зразках.

Слід зазначити, що на пасіках не здійснювали лікування бджіл та обробку вуликів антибіотиками. Серед багатьох факторів, які мають негативний вплив на екологічний стан Карпатського регіону є систематичне забруднення ТПВ та стічними водами. Останні несуть ще більшу загрозу довкіллю, оскільки транспортують значну частину небезпечних речовин, зокрема антибіотиків, та можуть сприяти поширенню антибіотикорезистентних мікроорганізмів [7, 13–18].

Причиною накопичення відходів є те, що на всій гірській території басейну річки Тиса, у зв'язку з фізико-географічними та гідрологічними особливостями місцевості, повністю відсутні полігони для зберігання ТПВ та не функціонує система їх утилізації, а також майже повністю відсутні централізовані каналізаційні системи та очисні споруди. Діяльність туристичної індустрії, часте застосування антибіотиків у медицині, зокрема в педіатрії, та не контрольоване ведення сільського господарства стають основними джерелами поширення антибіотиків та їх залишків в природних екосистемах (рис. 2)

Локальні сміттєзвалища стають джерелом різного виду забруднення. У місцях де наявні такі звалища,

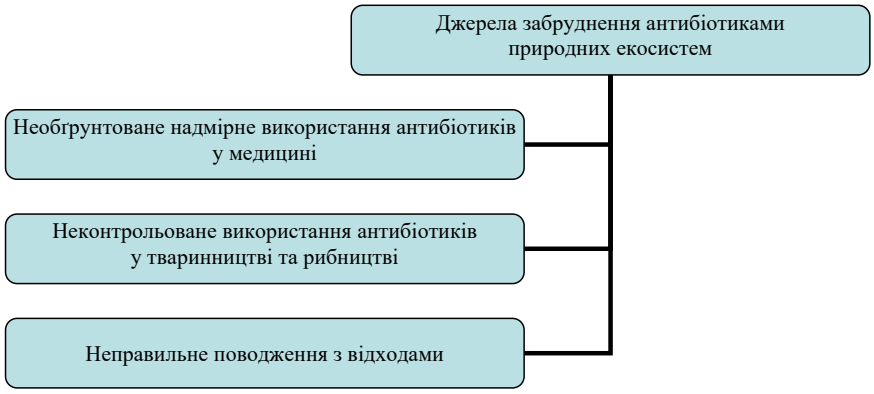


Рис. 2. Основні джерела забруднення антибіотиками природних екосистем району дослідження

спостерігається трансформація флори та значне збільшення синантропних тварин: щурів, комах, голубів, ворон та ін.

Проникнення різних забруднювачів у природне середовище має небажані наслідки, зокрема:

– нанесення непоправної шкоди рослинному і тваринному світу;

– порушення стійкості природних біогеоценозів;

– завдання шкоди майну та здоров'ю людини [8, 10–15].

Саме спостереження в осередках локальних несанкціонованих сміттєзвалищ, за бджолами наштовхнуло нас на думку проаналізувати якість бджолиного меду, та перевірити його вміст на наявність різних груп антибіотиків.

Для початку було проведено аналіз відібраних проб меду за органолептичними показниками.

Органолептичні показники мають велике значення при оцінці якості меду. З цих показників у меді перевірили колір, аромат, смак, наявність механічних домішок.

Перша проба – це мед, який відібраний в ділянці віддаленій від населених пунктів, де поблизу немає великих сміттєзвалищ та об'єктів туристичної інфраструктури. За органолептичними показниками даний взірець квіткового меду відповідає вимогам до органолептичних показників. Характеризується світло-жовтим кольором. Має приємний ніжний аромат, та витончений смак. Друга проба – це мед, який відібраний в ділянці в населеному пункті, де поблизу знаходиться несанкціоноване сміттєзвалище. За органолептичними показниками даний взірець квіткового меду поступається попередньому, а саме йому притаманне менш яскраве забарвлення, не насичений смак та запах. Ще тут присутні видимі сторонні механічні домішки, що нагадують такі речовини як пил, зола, шматочки невідомих матеріалів. Отже мед, відібраний з пасіки, яка розташована в зоні потенційного ризику за органолептичними показниками поступається зразку меду, який було відібрано в чистій ділянці. Зокрема в ньому присутні механічні домішки невідомого походження, на смак відчувається легкий присмак гіркоти, аромат солодкий, середньовиражений консистеція низької в'язкості, не прозора. Результати наведено в таблиці 1.

Слід зазначити, що обидва взірці меду було відібрано для проведення дослідження одночасно, на пасіках не здійснювали санітарних заходів з використанням протимікробних препаратів та не здійснювали лікування бджіл, а отже антибіотики можуть бути занесені бджолами з забруднених ділянок навколишнього середовища. Адже ці речовини можуть потрапляти до продуктів бджільництва з забруднених територій, де ростуть квіткові рослини, а саме з сміттєзвалищ, місць виведеня каналізаційних стоків чи ділянок, які удобрюють гноєм, перегноєм, пташиним послідом. Мед, у якому виявлені антибіотики, не можна застосовувати в харчуванні чи з лікувальною метою [19–21]

Бджолиний мед – це складний природний продукт, у якому виявлено більше 400 різних компонентів. Мед як природний продукт за кількості зольних елементів не має собі рівних. У ньому виявлено близько 40 макро- і мікроелементів, однак набір їх у різних медах різний. У меду містяться калій, фосфор, кальцій, хлор, сірка, магній, мідь, марганець, йод, цинк, алюміній, кобальт, нікель і ін. Деякі мікроелементи знаходяться в меду в такій самій концентрації і такому ж співвідношенні один з одним, як і в крові людини. Подібність мінерального складу крові і меду обумовлює швидке засвоєння меду, його незвичайні харчові, дієтичні і лікувальні властивості [9, 13, 18–19].

За результатами лабораторних досліджень перевірено вміст зразків меду на присутність 53 різних антибіотиків, з них, ті які призначаються в медицині – 69,8%; застосовуються в сільському господарстві та ветеренарії – 28,4%, та один з них використовують як дезинфікуючий засіб– 1,8% (рис. 3).

Таблиця 1

Порівняння органолептичних показників меду квіткового

Назва меду	Колір	Консистенція	Аромат	Смак	Механічні домішки
1. Квітковий мед, проба № 1	світло-жовтий колір	сироподібна, прозора, середньої в'язкості	поліфлорний, приємний, солодкий, яскраво виражений	приємний, ніжний, солодкий, без сторонніх присмаків	відсутні
2. Квітковий мед, проба № 2	жовтий	сироподібна, не прозора, низької в'язкості	солодкий, середньо виражений	солодкий, але з легким присмаком гіркоти	наявні

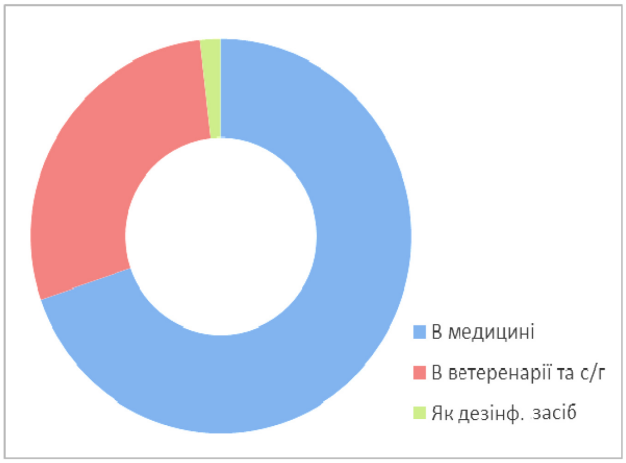


Рис. 3. Розподіл антибіотиків за призначенням

Межа виявлення допустимих рівнів залишків антибіотиків у зразках меду натурального коливається в діапазоні від 1,7 мкг/кг до 5,7 мкг/кг, а межа кількісного значення в діапазоні від 5,6 мкг/кг до 19,2 мкг/кг.

Отже нижче подаємо перелік та коротку характеристику антибіотиків, присутність яких в досліджуваних зразках меду перевірено лабораторно. Концентрація жодного з них не перевищила межу виявлення, яка є різною для кожного антибіотика. До антибіотиків, які призначені до застосовання у медицині, при боротьбі з різноманітними інфекційними захворюваннями належать:

1. Ципрофлоксацин – протимікробний засіб з групи фторхінолонів II покоління для перорального і парентерального застосування. Ципрофлоксацин уперше синтезований у Німеччині в лабораторії компанії «Bayer», і компанія уперше опублікувала дані про його антибактеріальні властивості у 1983 році. Проявляє високу ефективність майже до всіх грамнегативних та грампозитивних збудників. До ципрофлоксацину чутливі Escherichia coli, Shigella spp., Salmonella spp., Citrobacter spp., Klebsiella spp., Enterobacter spp., Serratia spp., Hafnia spp., Edwardsiella spp., Proteus (як індолпозитивні, так і індолнегативні штами), Morganella spp., Providencia spp., Yersinia, Vibrio spp., Aeromonas spp., Plesiomonas, Pasteurella, Haemophilus, Campylobacter spp., Pseudomonas spp. (у тому числі – Pseudomonas aeruginosa), Legionella, Neisseria spp., Moraxella spp., Branhamella spp., Acinetobacter spp., Brucella spp., Staphylococcus spp., Listeria spp., Corynebacterium, Chlamydia, а також плазмідні форми бактерій. Різну чутливість проявляють Gardnerella spp., Flavobacterium spp., Alcaligenes spp., Streptococcus agalactiae, Streptococcus faecalis.

2. Дапсон – синтетичний антибактеріальний та антипротозойний препарат, що є похідним сульфонів. Препарат має бактеріостатичну дію, що полягає у порушенні синтезу мікрооргазмами фолієвої кислоти та блокуванні засвоєння мікроорганізмами параамінобензойної кислоти. До препарату чутливими є наступні збудники: туберкульозна паличка, мікобактерія лепри, пневмоцисти, малярійний плазмодій, токсоплазма, Actinomyces spp. Дапсон пригнічує розвиток герпетиформного дерматиту Дюрінга [23, 25–26], ревматоїдного артриту, системного червоного вовчака, кільцевидної еритеми. Точний механізм протизапальної дії при дерматозах та системних захворюваннях невідомий, імовірними механізмами дії можуть бути пряма імуносупресивна дія препарату або інгібування ферментів клітин організму й окислюючі властивості препарату. Препарат активний до грампозитивних і грамнегативних мікроорганізмів (Staphylococcusaureus, Streptococcus pyogenes, E. coli, Enterobacteriaceaespp., Pasteurellaspp., Haemophilusspp., Actinobacillusspp., Brucellaspp., Bordetellabronchispetica, Proteus vulgaris, Pseudomonasaeruginosa, Salmonellaspp. та інші), мікоплазм (Mycoplasmaspp.).

3. Доксициклін – напівсинтетичний антибіотик з групи тетрациклінів для перорального і парентерального застосування. Інфекції органів дихання і ЛОР-органів, інфекції ШКТ, гнійні інфекції шкіри і м'яких тканин (в т.ч. вугроввий висип),

4. Еритроміцин – антибіотик з групи макролідів для перорального, парентерального та місцевого застосування. Він є природним 14-членним макролідним антибіотиком і першим представником класу макролідів. Вироблення препарату передбачає використання продуктів життєдіяльності Streptomyces erythreus. Призначають при інфекції дихальних шляхів, у тому числі атипова пневмонія, інфекції ЛОР-органів (тонзиліт, отит, синусит), гнійно-запальні захворювання шкіри та її придатків, еритразма, дифтерія, гонорея, сифіліс, лістеріоз, хвороба легіонерів, інфекції у стоматології та офтальмології, інфекції, спричинені мікроорганізмами, стійкими до бета-лактамних антибіотиків, пеніциліну, тетрацикліну, левоміцетину, хлорамфеніколу, стрептоміцину.

5. Джозаміцин – природний антибіотик з групи 16-членних макролідів для перорального застосування. Володіє широким спектром дії, проти грампозитивних аеробних мікроорганізмів (Staphylococcus spp., Streptococcus spp., Bacillus anthracis, Actinomyces israelii, Corynebacterium diphtheriae), грамнегативних мікроорганізмів (Neisseria gonorrhoeae, Haemophilus influenzae, Bordetella pertussis, Legionella spp.), Mycoplasma spp., Chlamydia spp., Treponema spp., Rickettsia spp. и также некоторые грибы и анаэробы, в частности Peptococcus spp, Peptostreptococcus spp, Bacteroides spp (проти Bacteroides fragilis але активність може бути знижена у зв'язку з великою кількістю резистентних видів)

6. Лінкоміцин – природний антибіотик з групи лінкозамідів для перорального і парентерального застосування. Вироблення препарату передбачає використання продуктів життєдіяльності Streptomyces lincolniensis.Призначають при лікуванні інфекції

верхніх дихальних шляхів: хронічний синусит, спричинений анаеробними штамами. Лінкоміцин можна застосовувати для лікування окремих випадків гнійного середнього отиту або як засіб для додаткової терапії разом з антибіотиком, що ефективно діє проти аеробних грамнегативних збудників. Інфекції, спричинені H. influenzae, не є показанням до застосування препарату [24].

7. Налідиксова кислота – синтетичний антибіотик з групи хінолонів. Діє бактерицидно, порушуючи синтез ДНК в бактеріальних клітинах. Типово антибіотик застосовували при лікуванні інфекцій сечових шляхів.До препарату чутливі такі мікроорганізми: сальмонели, шигели, Escherichia coli, Enterobacter spp., Proteus spp., Providencia rettgeri, Morganella morganii, клебсієли. До налідиксової кислоти нечутливі Pseudomonas aeuruginosa, хламідії, Actinomyces spp., Enterococcus spp., анаеробні мікроорганізми і грампозитивні мікроорганізми. Bifidobacteria, Lactobacillus, Pseudomonas та Staphylococcus стійкі. Salmonella enterica serovar Typhimurium штам ATCC14028 набуває стійкості до налідиксової кислоти, коли ген gyrB мутований (штам IR715).

8. Олеандоміцин – антибіотик з групи макролідів для перорального та парентерального застосування. Він є природним 14-членним макролідним антибіотиком, отриманим з грибка Streptomyces antibioticus. Олеандоміцин застосовувався при інфекціях, спричинених чутливими до препарату мікроорганізмами, а саме: інфекції дихальних шляхів і ЛОР-органів (ангіна, фарингіт, отити, синусити, ларингіт, бронхіти, пневмонія, бронхоектатична хвороба); інфекції сечостатевої системи (пієлонефрит, цистит, ендометрит, простатит); остеомієліті; при деяких інфекційних захворюваннях (менінгіт, туляремія, бруцельоз, рикетсіози, інфекційний мононуклеоз). Нині вважається застарілим препаратом, застосування його обмежене.

9. Оксолінова кислота – хінолоновий антибіотик, розроблений в Японії в 1970-х роках. Дози 12–20 мг/кг перорально вводяться протягом п'яти-десяти днів. Антибіотик діє шляхом інгібування ферменту ДНК-гірази. Він також діє як інгібітор зворотного захоплення дофаміну і має стимулюючий ефект у мишей.

10. Фталазол застосовують при гострій дизентерії, хронічній дизентерія у стадії загострення, колітах, ентероколітах; при операціях на кишечнику для попередження гнійних ускладнень.

11. Рокситроміцин, призначають при лікуванні інфекції, спричинені чутливими до рокситроміцину м/о: ЛОР-органів (тонзиліт, ларингіт, фарингіт, синусит, середній отит); дихальних шляхів (пневмонія, г. та хр.).

12. Сарорфлоксацин, як правило, ефективний щодо патогенних мікроорганізмів, що спричиняють інфекції сечовивідних шляхів, таких як Escherichia coli, Enterobacter spp., Klebsiella, Proteus spp., Pseudomonas aeruginosa і Serratia marcescens. Крім того, норфлоксацин може бути ефективний щодо патогенних мікроорганізмів, які спричиняють запалення тонкого кишечнику, таких як Escherichia coli, Salmonella enteritis і Campylobacter spp.

13. Спіраміцин – антибіотик з групи макролідів для перорального і внутрішньовенного застосування. Він є природним антибіотиком, що отриманий з Streptomyces ambofaciens і є першим представником 16-членних макролітів. Призначають при гострому бронхіті; загострення хронічного бронхіту; негоспітальна пневмонія у пацієнтів, які не мають факторів ризику, тяжких клінічних симптомів, клінічних факторів, які свідчать про пневмококову етіологію захворювання (у разі підозри на атипову пневмонію застосування макролідів є доцільним незалежно від тяжкості захворювання та анамнезу); інфекції шкіри з доброякісним перебігом – імпетиго, імпетигінізація, ектима, інфекційний дермо-гіподерміт та ін. [24–25].

14. Сульфацетамід – синтетичний препарат з групи сульфаніламідних препаратів для місцевого застосування. Препарат має бактеріостатичну дію, що полягає у порушенні синтезу мікроорганізмами фолієвої кислоти та блокуванні засвоєння мікроорганізмами параамінобензойної кислоти. До препарату чутливі наступні збудники: стафілококи, стрептококи, Escherichia coli, шиґели,Bacillus anthracis, Corynebacterium diphtheriae, частина роду Clostridium, єрсинії, Actinomyces spp., Vibrio cholerae, токсоплазма, нейсерії та деякі хламідії. Препарат застосовується виключно у вигляді очних крапель. При інстиляції на кон'юнктиву сульфацетамід проникає в тканини ока. Препарат діє місцево, але частина сульфацетаміду всмоктується в кров через запалену кон'юнктиву і проникає в системний кровотік. Дані за біодоступність та метаболізм сульфацетаміду в організмі відсутні [25].

15. Сульфахлорпіразин – не використовується.

16. Сульфадіазин – синтетичний антибактеріальний препарат з групи сульфаніламідних препаратів для перорального застосування. Препарат має бактеріостатичну дію, що полягає у порушенні синтезу мікроорганізмами фолієвої кислоти та блокуванні засвоєння мікроорганізмами параамінобензойної кислоти. До препарату чутливі наступні збудники: малярійний плазмодій, токсоплазма, пневмоцисти, бактерій Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli, Proteus spp., стафілококи, клебсієлли, Nocardia spp. Для місцевого застосування застосовується сульфадіазин срібла.

17. Сульфадиметоксин – сульфаніламідний препарат тривалої дії. Механізм дії обумовлений конкурентним антагонізмом з пара-аміно бензойною кислотою (ПАБК) та конкурентним пригніченням бактеріального ферменту дигідроптероатсинтетази, що відповідає за вбудовуванняПАБК у дигідрофолієву кислоту, безпосереднього попередника фолієвої

кислоти. Це блокує синтез дигідрофолієвої кислоти і зменшує кількість метаболічно активноїтетрагідрофолієвої кислоти, кофактора синтезу пуринів, тимідину та ДНК.Чутливими бактеріями є ті, які синтезують фолієву кислоту.Ефективний відносно грам позитивних та грам негативних мікро організмів: пневмококів, стафілококів, стрептококів, кишкової палички, палички Фридлендера, збудників дизентерії; менш активний щодо протея.

18. Сульфадимідин – синтетичний антибактеріальний препарат з групи сульфаніламідних препаратів для перорального застосування. На сьогодні його вважають морально застарілим, тому практично не використовують у медичній практиці.

19. Сульфадокси́н – синтетичний антибактеріальний препарат з групи сульфаніламідних препаратів для перорального та парентерального застосування, препарат з групи сульфаніламідних препаратів тривалої дії. Препарат має бактеріостатичну дію, що полягає у порушенні синтезу мікрооргазмами фолієвої кислоти та блокуванні засвоєння мікроорганізмами параамінобензойної кислоти. До препарату чутливі наступні збудники: малярійний плазмодій, якій спричинює тропічну мадярію, токсоплазма, пневмоцисти. Клінічне значення активності препарату до інших збудників незначне.

20. Сульфамеразин є сульфаніламідним антибактеріальним засобом. Антибактеріальний (бактеріостатичний), пролонгована дія, спектр дії – широкий. Застосовується при бронхіті, циститі, пієлонефриті, бактеріальній пневмонії.

21. Сульфаметоксидіазин або сульфаметоксидіазин є сульфаніламідним антибактеріальним засобом тривалої дії. Використовується як лепростатичний засіб і при лікуванні інфекцій сечовивідних шляхів.

22. Сульфаметизол є сульфаніламідним антибіотиком. Сульфаніламідний препарат тривалої дії. Ефективний щодо грампозитивних та грамнегативних бактерій: діє на пневмококи, стрептококи, стафілококи, кишкову паличку, паличку клебсієли (паличку Фрідлендера), збудників дизентерії; менш активний щодо протею; активний щодо хламідії Chlamydia trachomatis, збудника трахоми (інфекційного захворювання очей, що може призвести до сліпоти); не діє на штами бактерій, стійких до інших сульфаніламідних препаратів.

23. Сульфаметоксазо́л – синтетичний антибактеріальний засіб з групи сульфаніламідних препаратів для парентерального та перорального застосування. Сульфаметоксазол уперше введений у клінічну практику в США у 1961 році. Інфекції нирок і сечовивідних шляхів: гострий та хронічний цистит, пієлонефрит, уретрит, простатит, м'який шанкр. (в доповнення до відновлення рідини й електролітів). Інші бактеріальні інфекції: гострий і хронічний остеомієліт, бруцельоз, нокардіоз, актиномікоз, токсоплазмоз, південноамериканський бластомікоз.

24. Сульфаметоксипіридазин використовується для лікування герпетиформного дерматиту, де він є альтернативою дапсону.

25. Сульфамонометоксин застосовують при бронхіті; пневмонії, захворюваннях ЛОР органів та ін.

26. Сульфамоксол Trimethoprim / Sulfamoxole вказаний для лікування сечових шляхів бактеріальних інфекцій, дихальних шляхів бактеріальних інфекцій, бактеріальна інфекція та інших станів.

27. Сульфаніламід застосовують при інфекційних ураження, що спричинюють чутливі до препарату мікроорганізми: інфекції шкіри (рани, виразки, пролежні), пієлоцистити, ентероколіти, при місцевому застосуванні – тонзиліти, фарингіти, стоматити.

28. Сульфафеназол є сульфаніламідним антибактеріальним засобом.

29. Сульфасалазин – синтетичний лікарський препарат, який є сполукою сульфапіридину та аміносаліцилової кислоти. Сульфасалазин застосовується перорально. Сульфасалазин уперше синтезований у 1938 році на підставі досліджень ревматолога Нанни Шварц як препарат для лікування ревматоїдного артриту.

30. Сульфатіазол – синтетичний лікарський препарат, який є сполукою сульфапіридину та аміносаліцилової кислоти.

31. Сульфасомідін застосовують при інфекціях, що спричинюють чутливі до складових препарату збудники: інфекція сечовидільних шляхів, гострий отит, пневмоцистна пневмонія, токсоплазмозі, нокардіоз, саркоцистоз, діарея мандрівників.

32. Сульфаметоксазол зазвичай використовується разом із триметопримом для синергічного ефекту при лікуванні інфекцій сечовивідних шляхів.

33. Сульфацетамід застосовується місцево для лікування кон'юнктивіту або виразки рогівки.

34. Сульфадіазин срібла підходить для локального лікування опіків.

35. Сульфасалазин використовується як лікування запальних захворювань кишечника.

36. Тетрациклін – антибіотик бактеріостатичної дії. Один з перших антимікробних препаратів, вперше був отриманий у 40-х роках XX сторіччя. У природі продукується актинобактерією Streptomyces aurefaciens.. Застосовується в медицині при лікуванні пневмонії, бронхіту, гнійного плевриту, підгострого септичного ендокардиту, бактеріальної та амебної дизентерії, коклюшу, ангіни, скарлатини. Може застосовуватися в ветеренарній медицині [26].

37. Триметопри́м – синтетичний антибіотик, що є похідним діамінопіримідину, який застосовується перорально та парентерально. Триметоприм застосовується у клінічній практиці з 1962 року, і вперше він почав застосовуватися у Фінляндії для профілактики захворювань сечових шляхів.

38. Тролеандоміцин є антибіотиком макролідів. Його продавали в Італії та Туреччині. З 2018 року

він більше не продається в Італії. Механізм дії препарату полягає у зв'язуванні з рибосомою, зокрема в тунелі, через який виходить новоутворений пептид, таким чином зупиняючи синтез білка [24–26].

Перевірено зразки меду на наявність 14 антибіотиків, які призначені до застосування у ветеренарній медицині, та як стимулятори росту тварин в фермерських господарствах. Серед них:

1. Хлортетрациклин – один з активних стимуляторів росту молодняка тварин.

2. Данофлоксацин – антибіотик групи фторхінолонів, який використовується у ветеринарії; Дифлоксацин, що продається під торговою назвою Dicural, є синтетичним антибіотиком другого покоління з групи фторхінолонів, який використовується у ветеринарії. Має широкий спектр дії, залежну від концентрації, бактерицидну дію.

3. Енрофлоксацин – це антибіотик із групи фторхінолонів, що продається корпорацією Bayer під торговою назвою Baytril. Він продається в загальній формі компанією Bimeda Inc. під назвою EnroMed 100. Зараз енрофлоксацин схвалений FDA для лікування окремих домашніх тварин.

4. Флумеквін – синтетичний антибіотик фторхінолонів, який використовується для лікування бактеріальних інфекцій. Це фторхінолоновий антибактеріальний препарат першого покоління, який вилучено з клінічного використання і більше не продається. Дозвіл на продаж флумекіну призупинено в усьому ЄС. Флумеквін – це синтетичний хіміотерапевтичний антибіотик класу лікарських засобів фторхінолону, який використовується для лікування бактеріальних інфекцій. Він вбиває бактерії, втручаючись в ферменти, які викликають розслаблення ДНК та дублювання, в Україні можна придбати в інтернет магазині. Флюмеквін застосовувався у ветеринарному лікуванні для лікування кишкових інфекцій. Він також використовується для лікування великої рогатої худоби, свиней, курей та риби.

5. Марбофлоксацин фторхінолоновий антибіотик третього покоління, похідне карбонової кислоти. Використовується у ветеринарії під торговими назвами Marbocyl, Forcyl, Marbo vet і Zeniquin. Композиція марбофлоксацину в поєднанні з клотримазолом і дексаметазоном доступна під назвою Аурізон. Лікування тварин при захворюваннях органів сечовивідних шляхів та дихання, шкіри та м'яких тканин, що спричинені мікроорганізмами, чутливими до марбофлоксацину.

6. Неоспіраміцин використовується в сільському господарстві його часто виявляють в рибі, м'ясі та молоці.

7. Сулфахлорпіразин– застосовується в сільському господарстві для лікування та профілактики інфекційних захворювань свійської птиці.

8. Окситетрациклін – це тетрацикліновий антибіотик широкого спектру дії, який в основному використовують для лікування тварин.

9. Сульфапіридин – сульфаніламідний антибактеріальний препарат. Свого часу його зазвичай називали M&B 693. Сульфапіридин більше не призначають для лікування інфекцій у людей. Однак він може використовуватися для лікування захворювання лінійного IgA і використовується у ветеринарній медицині.

10.Сульфахіноксалін – це ветеринарний препарат, який можна давати ВРХ та вівцям для лікування кокцидіозу.

11.Тіамулін – це антибіотик плевромутіліну, який використовується у ветеринарії, особливо для свиней і птиці.

12. Тілмікозин – антибіотик групи макролідів. Використовується у ветеринарії для лікування респіраторних захворювань великої рогатої худоби та ензоотичної пневмонії, викликаної Mannheimia haemolytica у овець.

13. Тулатроміцин – це напівсинтетичний антибіотик з групи макролідів, застосовують для лікування тварин, хворих на кератокон'юнктивіт, а також при захворюваннях органів дихання, що спричинені Mannheimia (Pasteurella) haemolytica, Pasteurella multocida, Histophilus somni, Moraxella bovis та Mycoplasma bovis, які чутливі до тулатроміцину, при захворюваннях органів дихання, що спричинені Actinobacillus pleuropneumoniae, Pasteurella multocida, Mycoplasma hyopneumoniae, Haemophilus parasuis та Bordetella bronchiseptica, які чутливі до тулатроміцину.

14. Тилозин – макролідний антибіотик і бактеріостатична кормова добавка, що використовується у ветеринарії. Він має широкий спектр дії проти грампозитивних мікроорганізмів і обмежений спектр грамнегативних мікроорганізмів. Він зустрічається в природі як продукт бродіння Streptomyces fradiae [27].

Також до преліку антибіотиків, присутність яких ми змогли перевірити потрапив антибіотик Сульфахлорпіридазин універсальний хлорвмісний засіб, який часто використовують для знезараження медичних виробів одноразового використання, перев'язувального матеріалу, харчових і біологічних відходів, води при нецентралізованому водопостачанні, плавальних басейнів, овочів, фруктів, яєць птиці і т.д. [28].

У результаті перевірки не виявлено присутності перерахованих антибіотиків в досліджуваних пробах. Отже відібраний мед можна вважати безпечним для вживання в харчуванні та з лікувальною метою.

Проте доведено, що здатність антибіотиків до сорбції та відсутність згубного впливу на бджіл є причиною для більш глибокого вивчення даного питання. Антибіотики, на наявність яких перевірено мед, небезпечні для здоров'я людей, зокрема хлортетрациклін і тетрациклін та ін., діють на вагітних як тератогени, спричиняють аномалії в розвитку ембріонів. Широко використовувані у ветеринарії анти-

біотики в окремих людей з підвищеною чутливістю викликають токсикози, апластичну анемію, яка переходить у лейкемію. Їх вміст в продуктах надзвичайно небезпечний для чутливих до антибіотиків людей. Найсильнішими алергенами вважають олеандроміцин окситетрациклін, сульфацетамід, дапсон, тетрациклін та ін. Загальнобіологічний аспект проблеми полягає у тому, що до травного каналу хворих людей і тварин потрапляють стійкі до хвороб мікроорганізми. Під впливом антибіотиків чутливі клітини гинуть, а резистентні, розмножуючись, стають переважною частиною мікрофлори. Це призводить до збільшення тривалості діарейних та інших захворювань, до необхідності підвищення доз лікувальних препаратів, що небажано і з погляду токсичності, і з погляду можливості виникнення суперінфекцій у пацієнтів. Ця проблема є дуже гострою для педіатрії та клініки імунодефіцитних станів [25].

Натуральний мед відіграє важливу роль в традиційній медицині, протягом останніх декількох десятиліть він піддавався лабораторним і клінічним дослідженням для використання в сучасній медицині. Але якість меду при цьому має бути високою, якщо цей продукт вживати з лікувальною метою то він має бути дійсно натуральним та безпечним. Повідомляється, що мед інгібує близько 60 видів бактерій, включаючи аероби і анаероби. Різні результати свідчать про його користь щодо інгібування активності Bacillus anthracis, Corynebacterium diptheriae, Haemophilus influenzae, Klebsiella pneumoniae, Listeria monocytogenes, Mycobacterium tuberculosis, Pasteurella multicoda, Yersinia enterocolitica, видів Proteus, Pseudomonas, Typhi, Serratia marcescens, дизентерія, Shigella, золотистий стафілокок, Streptococcus faecalis, Strep. Mutans, Strep pneumoniae, Strep. Pyogenes і Vibrio cholerae [17].

Кліматичні умови та ґрунти Карпатського регіону зумовлюють наявність багатої за видовим складом природної флори і культурних рослин, сприятливі для розвитку галузі бджільництва. Передгір'я характеризується багатою кормовою базою для бджіл. Значні площі зайняті садами. Особливо сприятлива для бджільництва гірська зона з її величезними площами лісів, лісовирубок, лісових полян, природних лук, тут ростуть багаторічні трави, липові, кленові, брусничні, акацієві дерева, конюшина червона та ріпак озимий [18, 21].

Головні висновки. Забруднення антибіотиками негативно впливає на мікробоценози, фітоценози та зооценози природних екосистем. Останні дослідження доводять, що під час здійснення екологічної оцінки стану довкілля необхідно враховувати наявність антибіотиків та присутність антибіотикорезистентних мікроорганізмів в досліджуваних екосистемах. Важливо, що зв'язок між якістю меду та екологічними показниками довкілля досить тісний. Показники екологічної чистоти меду й інших продуктів бджільництва дозволяють визначити ступінь ураження біоценозів такими речовинами як антибіотики, лікарські препарати, пестициди, нітрати тощо.

Бджоли, збираючи нектар, пилок із квіток, смолисті речовини переносять їх у продукти своєї життєдіяльності. Вченими виявлено речовини, небезпечні для людини, що не завдають шкоди бджолам. До них належать, наприклад, деякі хлорорганічні пестициди та антибіотики, останні зберігаються в складі меду протягом трьох років. Для зменшення числа побічних реакцій, що викликаються антибіотичними речовинами, необхідно суворо дотримуватися принципів раціонального застосування антибіотиків та жорсткого контролю антибіотичних препаратів у продуктах харчування, по можливості, замінювати препарати, що володіють токсичною дією, на менш токсичні. Раціональна та безпечна антибіотикотерапія тварин повинна передбачати всебічний облік властивостей вживаних антибіотичних речовин. Серед основних факторів, які впливають безпосередньо на бджільництво та якість бджолопродуктів, можна окремо виділити: потепління клімату та зміна умов існування бджіл внаслідок антропогенного впливу. Тому, для сталого розвитку бджільництва необхідно проаналізувати чинники, які здатні негативно впливати на показники якості та безпечності бджолиного меду та відповідно затвердити план заходів, щодо усунення цих ризиків.

Результати проведених нами досліджень дозволяють зробити висновки, що відсутність антибіотиків в досліджуваних зразках меду свідчить про те, що ступінь забруднення довкілля цими шкідливими речовинами не є високим.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальше дослідження ми вбачаємо у більш глибокому вивченні неконтрольованого поширення антибіотиків в природних екосистемах. Вплив на довкілля та наслідки для безпечності життєдіяльності людей та їхнього здоров'я, флори, фауни, біорізноманіття, ґрунту, повітря, води, клімату, природних територій [22].

Якість продуктів бджільництва певного району досліджень може бути важливим екологічним індикатором рівня забруднення навколишнього середовища. А саме, за умови проведення комплексної екологічної оцінки антропогенно трансформованих екосиситем, якщо в складі ґрунту чи води виявлено антибіотики, або неподалік є сміттєзвалище чи будь яке інше потенційне джерело забруднення, а в зоні екологічного ризику в радіусі 3–5 кілометрів розташовані пасіки, доцільно буде провести дослідження бджолиного меду на наявність антибіотиків, що дасть змогу оцінити ступінь забруднення та поширення антибіотиків в біоценозах та якість і безпечність цього продукту.

Література

1. Про затвердження Національного плану дій щодо боротьби із стійкістю до протимікробних препаратів : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 06.03.2019 р. № 116-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/116-2019-р#Text (дата звернення: 01.12.2022).
2. Antibiotics in agroecosystems: soil microbiome and resistome / L.Y. Symochko та ін. Agroecological journal. 2019. № 4. С. 85–92. URL: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2019.189463 (дата звернення: 01.12.2022).
3. Symochko L., Bugyna L., Hafiiyak O. ECOLOGICAL ASPECTS OF BIOSECURITY IN MODERN AGROECOSYSTEMS. International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2021. Vol. 11, no. 1. P. 181–186. URL: https://doi.org/10.31407/ijees11.124 (date of access: 01.12.2022).
4. Безпека харчових продуктів: антиаліментарні фактори, ксенобіотики, харчові добавки навчальний посібник / Кричковська Л.В., Бєлінська А.П. , Анан'єва В.В. та ін. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. 98 с.
5. Miagka K., Jefimenko T., Odnosum G. The content of antibiotics in honey on condition of their use in the treatment of bee colonies. Visnyk agrarnoi nauky. 2020. Vol. 98, no. 4. P. 49–53. URL: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-07 (date of access: 01.12.2022).
6. Постоєнко, В. О., Лазарєва, Л. М., & Яремчук, О. С. Основні показники оцінки якості і безпечності меду бджолиного в Україні та їх гармонізація з вимогами ЄС. Wscho-dnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). 2019. № 12(52),. С. 14–21. (Warsaw, Poland). URL:http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/23367.pdf
7. Research of methods of inactivation of the antibiotic cyprofloxacin in order to prevent environmental pollution and protect human health / O. Vasenko et al. Scientific Horizons. 2020. Vol. 92, no. 7. P. 19–25. URL: https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-92-7-19-25 (date of access: 01.12.2022).
8. Поліщук В. Бджільництво. Львів : Укр. пасічник, 2001. 294 с.
9. ДСТУ 4497:2005. Мед натуральний. Технічні вимоги. Чинний від 2005-01-28. Вид. офіц. 3–8 с.
10. Symochko L.Y, Hosam E.A.F. B. H., Demyanyuk O.S, Symochko V.V., Patyka V.P. Soil microbial diversity and antibiotic resistance in natural and transformed ecosystems. International Journal of ecosystems and ecology sciences (IJEES). 2019. VOL. 9(3). P. 581–590.
11. Symochko L.Y., Mariychuk R.V., Demyanyuk O.S., Symochko V.V. Antibiotics and Antibiotic Resistance of Soil Bacteria in Ecosystems. Abstract Book International Conference «Smart Bio», Kaunas, 18 May 2017. 2017. P. 13.
12. Симочко Л. Антибіотикорезистентні мікроорганізми в агроекосистемах як чинник ризику для здоров»я людини. Агроекологічний журнал. 2017. № 2. 201–204 с.
13. Symochko L. Effects of Fluoroquinolone Antibiotic on Structure and Function of Soil Microbial Community. Abstracts of reports «XVth Congress of Vinogradskyi Society of Microbiologists of Ukraine, Odessa, 11 September 2017. P. 27.
14. Symochko L. Antibiotics and antibiotic resistance of soil bacteria in ecosystems. J Ecosyst. Ecography Conference on «Environmental Microbiology and Microbial Ecology & International Conference on Ecology and Ecosystems», Toronto, Canada 18 September 2017. P. 110. DOI: 10.4172/2157-7625-C1-030, ISSN:2157-7625
15. Symochko L.Y. Soil antibiotic resistome – risk for human health // Proceedings of International Conference on «Infection Control and Clinical Microbiology» Chicago, USA – P. 77. DOI: 10.4172/2329-9541-C1-006.
16. Molan P. C. The evidence supporting the use of honey as a wound dressing. The International Journal of Lower Extremity Wounds. 2006;5(1):40–54. Doi: 10.1177/1534734605286014
17. Symochko L.Y, Tymoshchuk S.M, Hafiak O.V., Antibiotic resistant bacteria in ekosystems. International scientific-practical conference « Enviromental safety of the Carpatian Euroregion», Abstract Book, 13–15 May, 2020, Uzhhorod, Ukraine – P. 33.
18. М'ягка, К. С., Костюк, М. В., & Лінійчук, Н. В. Моніторинг залишків ветеринарних препаратів у меді за 2019–2021 роки. Інноваційний розвиток сучасної науки: нові підходи та актуальні дослідження. Матеріали науково-практичної конференції (м. Запоріжжя, 26–27 березня 2021 р.). Херсон: Видавництво «Молодий вчений», 2021, 81–84.URL:http://molodyvcheny.in.ua/files/conf/other/56march2021/56march2021.pdf#page=81
19. Symochko L., Hafiiyak O., Demyanyuk O. Bioindication of soil of unauthorized landfills in the Carpathian region. Agroecological journal. 2021. No. 2. URL: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234453 (date of access: 01.12.2022).
20. Бороніна Г.Г. Екологічні проблеми Закарпатської області та шляхи їх розв'язання на засадах сталого розвитку. // Економіка та суспільство. 2017. Вип. 13. 905–909 с.
21. Командер В. І. Медоноси Карпат / В. І. Командер, Ю. В. Манівчук. Ужгород : Карпати, 1975. 175 с.
22. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII (Редакція станом на 13.05.2022) Верховна Рада України;URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text
23. Забруднення продовольчої сировини та продуктів харчування антибіотиками. Studfile: веб-сайт. URL:https://studfile.net/preview/8206041/page:11/
24. Фармакологічні властивості антибіотиків. Довідник лікарських засобів. Веб-сайт. URL: https://compendium.com.ua/dec/260807/#toc-2
25. «Нормативно-директивні документи МОЗ України» Веб-сайт. URL: https://mozdocs.kiev.ua/likiview.php?id=29444
26. Посібник «Внутрішні хвороби». URL: https://empendium.com/ua/chapter/B27.II.18.11.1
27. Ветеренарна фармакологія. Сучасні ветеренарні антибіотики. Веб-сайт. URL:https://vetapteka.sumy.ua/ua/a105389-suchasni-veterinarni-antibiotiki.html
28. Дезінфекція поверхонь і засобів одноразового використання. URL:https://dom-online.com.ua/ua/p1405326075-surfahlor-sredstvo-dlya.html

УДК 677.11.021
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.15

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕЯКИХ ФАКТОРІВ НА РІВЕНЬ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Кузнєцов С.І., Венгер О.О., Семенченко О.О., Безпальченко В.М., Івкіна Є.С.
Херсонський національний технічний університет
вул. Інститутська, 11, 29016, м. Хмельницький
ksieko1@gmail.com, super-elenavenger@ukr.net, Oksana.Semenchenko@gmail.com,
bezpalchenkov@ukr.net, liza_ivkina@ukr.net

Величезну небезпеку для організму людини при вдиху представляє повітря, у якому містяться тверді частинки розміром менш 10 мкм. Від більших частинок пилу допомагають захиститися верхні дихальні шляхи. Сьогодні сучасні системи пиловловлення можуть працювати з проектною ефективністю у вузькому діапазоні швидкостей, концентрацій і термодинамічних параметрів. Таким чином, у ряді випадків їх застосування стає малоефективним. Це стосується уловлення дрібнодисперсного пилу і пилу, що може злипатися, а також при недостатньому натиску газу, що очищується. Серед відомих методів очищення газів від рідких і твердих частинок електричний метод є найефективнішим, а електрофільтри – найбільш універсальними апаратами, що застосовуються у промисловості. Існують різні варіанти конструкцій електрофільтрів, одним з яких є трибоелектростатичний фільтр. Принцип очищення газів в ньому заснований на електризації електродів за допомогою тертя (трибоефекту), при цьому на поверхні діелектриків створюється статичний заряд. При обертанні дисків і терті їх об нерухомі щітки на поверхнях дисків виникає статична електрика, а між дисками – електростатичне поле. Частинки пилу, які примусово направляються або вільно надходять в апарат, потрапляють в електростатичне поле. Внаслідок ефекту поляризації і наведення зарядів частинки пилу притягуються поверхнею протилежно заряджених дисків. Вибір матеріалу діелектрика для осаджувальних електродів грає дуже важливе значення. Від нього залежать основні показники триболектростатичного пиловловлювача: ефективність пиловловлення, аеродинамічний опір, пилоємність апарату. Досліджували вплив різних чинників на ступінь електризації діелектриків. Вивчали природу матеріалу та швидкість обертання електродів, матеріал щіток, питомий тиск щіток на електроди, рівномірність розподілу зарядів на поверхні електродів. В процесі роботи визначено фактори, які впливають на створення електростатичного поля, досліджені властивості різних діелектриків, з яких можуть бути виготовлені електроди для трибоелектростатичного фільтра. *Ключові слова:* електростатичне поле, статична електрика, очищення газів від пилу.

Study of the influence of some factors on the degree of electrization of dielectricians. Kuznietsov S., Venher E., Semenchenko O., Bezpalchenko V., Ivkina E.

Air containing solid particles less than 10 microns in size poses a great danger to the human body when inhaled. It helps to protect the upper respiratory tract from coarser dust. Today, modern dust collection systems can work with design efficiency in a narrow range of speeds, concentrations and thermodynamic parameters. Thus, in some cases their use becomes ineffective. This applies to the capture of finely dispersed dust and dust that can stick together, as well as when the pressure of the gas being cleaned is insufficient. Among the known methods for cleaning gases from liquid and solid suspended particles, electric is the most effective, and electrostatic precipitators are the most universal of all devices used in industry. There are various designs of electrostatic precipitators, one of which is a triboelectrostatic filter. The principle of gas purification in it is based on the electrification of precipitation electrodes using friction (triboelectric effect), while a static charge is created on the surface of the dielectrics. When the disks rotate and rub them against fixed brushes, static electricity appears on the surface of the disks, and an electrostatic field arises between the disks. Dust particles forcedly guided or freely entering the apparatus enter the electric field, due to the effect of polarization and guidance of charges, they are attracted to the surface of oppositely charged disks. The choice of dielectric material for precipitation electrodes is of key importance. The main characteristics of the tribolectrostatic dust collector depend on it: the efficiency of dust collection, aerodynamic drag and dust absorption of the apparatus. In the work, the influence of various factors on the degree of electrification of dielectrics was investigated. We studied the influence of such parameters as the nature of the electrode material, the rotation speed of the electrode, the material of the brushes, the specific pressure of the brushes on the electrode, the uniform distribution of charges on the surface of the electrodes. In the process, the factors influencing the creation of an electrostatic field are determined, and the properties of various dielectrics from which electrodes for a triboelectrostatic filter can be made are investigated. *Key words:* electrostatic field, static electricity, dust cleaning of gases.

Постановка проблеми. Техногенне забруднення атмосферного повітря пилом є сучасною екологічною проблемою. Переважна більшість забруднюючих речовин утворюється при спалюванні органічного палива. Геогенний пил грає істотну роль у забрудненні повітря. Скануюча електронна мікроскопія показала, що розміри пилу варіюються в межах 0,8–50 мкм [1].

Актуальність досліджень. Верхні дихальні шляхи людини затримують частинки пилу розмірами понад 10 мкм. Таким чином, основну небезпеку для організму людини становить пил фракцією менше 10 мкм [2, 3]. Тому проблемі уловлювання дрібнодисперсного пилу приділяється особлива увага.

Головними характеристиками пиловловлюючого обладнання є: ефективність, аеродинамічний опір та пилоємність [4, 5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує багато методів і типів обладнання для очищення газів від пилу [6]. Серед відомих способів

очищення газів – електричний найефективніший, а електрофільтри – найбільш універсальні апарати. Слід зазначити такі особливості електричного очищення газів:

1. Залежно від конкретних умов та вимог можна сконструювати електрофільтри зі ступенем очищення газів від пилу до 99,9%.

2. Електрофільтри мають найменший аеродинамічний опір у порівнянні з усіма типами існуючого пилоочисного обладнання.

3. Електрофільтри можуть експлуатуватися як при атмосферному тиску, так і при тисках набагато вище або нижче атмосферного.

4. Концентрація зважених частинок в газах, що очищаються, може коливатися в широких межах від 0,1 г/м^3 до 50 г/м^3.

5. Температура газу, що очищається, може бути як нижче нуля, так і більше, досягаючи 500 ^{o}C.

6. Очищення газів може бути як сухим, так і мокрим.

7. Електрофільтри спроможні вловлювати частинки розміром 0,01÷100 мкм.

8. Електрофільтри виготовляють із матеріалів стійких до кислот, лугів та інших агресивних середовищ.

9. Процес очищення газів в електрофільтрах може бути повністю автоматизований.

10. Питома витрата електроенергії на очищення газів зазвичай менша, ніж у газоочисних апаратів інших типів.

11. Термін служби електрофільтрів залежно від умов роботи становить від 5 до 20 років.

Однак, електрофільтри не здатні ефективно вловлювати дуже легкі і дрібні частинки [7]. Принцип дії електрофільтрів заснований на виділенні з газового потоку твердих або краплинних частинок шляхом впливу електричного поля на заряд, індукований на поверхні пилу, що уловлюється. Частинка набуває заряд в момент проходження через зону коронуючого заряду і осідає на електроді протилежного знака. Потім відбувається механічне зняття цього пилу з електродів. Спосіб електростатичного очищення газів від пилу включає електризацію осаджувальних елементів шляхом трибоелектричного ефекту. При цьому фільтруючі елементи отримують заряд статичної електрики, який перетікає на них в результаті тертя поверхні діелектричних матеріалів. При терті двох різнорідних провідників на поверхні з'являються заряди, які рівні за величиною і протилежні за знаком.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Електростатичні поля і заряди, що утворені трибоелектричним ефектом, не широко використовуються в промисловості, головним чином тому, що вони недостатньо добре вивчені. Трибоелектричний ефект може бути успішно використаний для пилоочищення у багатьох технологічних процесах. Проаналізувавши методи та обладнання для тонкого очищення газів від пилу, можна констатувати, що найбільше цим цілям відповідають електричні фільтри. Водночас вони мають і недоліки: вимагають установки високовольтного джерела живлення, мають обмежене застосування при очищенні вибухонебезпечних газів, громіздкі та металомісткі.

Формулювання мети досліджень. Метою даної роботи є вивчення властивостей різних діелектриків як матеріалів для електродів, що є конструкційними елементами трибоелектростатичного фільтру [8].

Виклад основного матеріалу досліджень. В роботі досліджували вплив різних факторів на ступінь електризації діелектриків. Вивчали природу матеріалу та швидкість обертання електродів, матеріал щіток, питомий тиск щіток на електроди, рівномірність розподілу зарядів на поверхні електродів. Електроди виготовляли з різних матеріалів (табл. 1).

Методика досліджень полягала в тому, що електрод, виготовлений з діелектрика у вигляді плоского диска, закріплювався на валу та з двох боків притискався щітками. При обертанні валу на диску генерувалися електростатичні заряди, які вимірювали за допомогою приладу. Принцип роботи приладу заснований на тому, що заряд, що наводиться на вимірювальну пластину датчика, періодично змінюється при екрануванні пластини заземленим диском. Це створює на виході датчика змінний сигнал, який фіксується електронним приладом. Робота датчика базується на принципі електростатичного генератора. Заряд подається на вимірювальну пластину, поряд з якою розташований заземлений чотирипелюстковий диск. При його обертанні пелюстки вимірювальної пластини або відкриті для впливу на них зовнішнього поля, або екрановані від нього. В результаті заряд, що наводиться на вимірювальну

Таблиця 1

Властивості матеріалів електродів

Матеріал електродів	Щільність
Органічне скло (поліметилметакрилат) $(C_5O_2H_8)_n$	1,18 г/см^3
Полістирол $(C_8H_8)_n$	1,069÷1,125 г/см^3
Гетинакс (пресований папір, просочена фенол-формальдегідною смолою)	1,3÷1,4 г/см^3
Текстоліт (б/п ткань, просочена фенолформальдегідною смолою)	1,3÷1,45 г/см^3
Полівінілхлорид $[-CH_2-CHCl-]_n$	1,35÷1,43 г/см^3
Фторопласт (тефлон або політертафторетилен) $(-C_2F_4-)$	2,12÷2,2 г/см^3

пластину датчика зовнішнім полем, змінюється від максимального до мінімального значення і на виході датчика з'являється змінна напруга, яка подається на електронний підсилювач. Якщо вимірювальне поле має позитивний знак, величина поля, що діє на пластину датчика, буде збільшуватися, якщо негативний знак – зменшуватися. Робоча поверхня датчика розташовується з відривом 10±1 мм від місця, де необхідно виміряти величину напруженості поля (рис. 1).

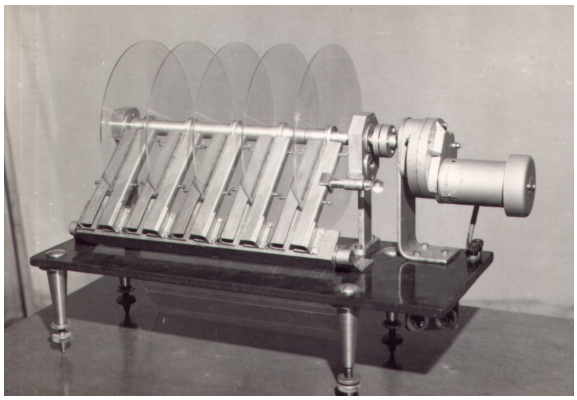


Рис. 1. Загальний вигляд стенду для випробування дисків

Вплив матеріалу дисків на напругу електростатистичного поля. Досліджувалися диски товщиною 4÷6 мм та діаметром 600÷700 мм. Число обертів дисків змінювалося від 10 до 26 хв$^{-1}$, що відповідало окружній швидкості від 0,07 до 0,8 м/с. Кращі показники електризації мають диски з полістиролу, поліхлорвінілу та органічного скла. Гірше електризується гетинакс і не електризується текстоліт і фторопласт. При використанні щітки з повсті спостерігалася різна максимальна напруженість електростатичного поля (Е) (табл. 2).

При електризації дисків повстяними щітками на дисках із полістиролу, поліхлорвінілу та гетинаксу генеруються заряди негативного знака, а з оргскла – позитивного знака. Слід зазначити порівняльну рівномірність розподілу зарядів на поверхні дисків. Величина напруженості електростатичного поля в центрі дисків та на периферії значно не відрізнялася.

Вплив матеріалу щіток на напруженість електростатичного поля. Для електризації дисків, виготовлених з полістиролу, поліхлорвінілу та органічного скла застосовували повстяні, фетрові та капронові щітки. При електризації дисків із полістиролу при кількості обертів n = 10 хв$^{-1}$ максимальна напруженість електростатичного поля спостерігається для пари полістирол-повсть (Е = від -17500 до -18500 В/см). Дещо нижче для пари полістирол-фетр (Е = від -15500 до -16000 В/см). Мінімальна напруженість електростатичного поля відзначена для пари полістирол-капрон (Е = від -15000 до -15500 В/см). Аналогічна картина спостерігається при електризації диска з поліхлорвінілу. Максимальна величина напруженості електростатичного поля спостерігається при використанні повстяних щіток (Е = -15000 В/см), капронових (Е = від -9500 до -10000 В/см). Характерно, що в цьому випадку капронові щітки виявилися дещо ефективнішими за фетрові. При електризації диска, виготовленого з оргскла встановлено, що максимальна ступінь електризації також досягається повстяними щітками, при цьому величина напруженості електростатичного поля дорівнює Е = 10000 В/см. Органічне скло гірше електризує фетр (Е = +7000 В/см) і дуже слабо – капронові щітки (Е = +3750 В/см).

Зазначимо, що при електризації оргскла капроновими щітками на поверхні дисків генерується негативний заряд, тоді як при використанні щіток з повсті і фетру у цьому диску генерується позитивний заряд.

Максимальний заряд поверхні різних діелектриків генерується повстяними щітками, які переважно використовували при конструюванні електростатичних фільтрів. Це пояснюється більшою адгезією повстяних щіток до випробуваних матеріалів порівняно з фетром і капроном.

Вплив кількості обертів диска на напруженість електростатичного поля. Від швидкості обертання диска залежить час повторного дотику тих самих ділянок диска з щіткою. Якщо час повторного дотику зі щіткою більше часу повного розтікання зарядів у просторі, то напруженість електростатичного поля на різних ділянках диска буде неоднакова. Якщо ж цей час буде меншим, то заряди будуть рівномірно розподілятися по всьому диску.

Аналіз показав, що при електризації диска з органічного скла повстяними щітками при зміні кількості обертів диска від 10 до 26 хв$^{-1}$ зміни напруженості поля не спостерігаються (Е = const) і становить +10000 В/см. При дослідженні пари оргскло-фетр зі швидкістю обертання диска нижче 16 хв$^{-1}$ спостерігається деяке зниження напруженості електростатичного поля, а за n > 16 хв$^{-1}$ напруженість

Таблиця 2

Залежність максимальної напруженості електростатичного поля (Е) від матеріалу диску

Матеріал диску	Е, В/см	Матеріал диску	Е, В/см
органічне скло	+10000	гетинакс	–3000
текстоліт	0	поліхлорвініл	–15 000
фторопласт	0	полістирол	–18 750

електростатичного поля залишається без зміни. При випробуванні пари полівінілхлорид-фетр, напруженість електростатичного поля постійна (6250 В/см) і не залежить від кількості обертів диска. При випробуванні пари полівінілхлорид-повсть напруженість електростатичного поля при n = 10÷16 хв$^{-1}$ становить E = -12500 В/см. Середня величина напруженості електростатичного поля по всій поверхні диска практично не залежить від швидкості обертання диска.

Максимальна напруженість електростатичного поля досягається після двох-трьох обертів диска і якщо диск зупинити, то напруженість поля підтримується протягом двох-трьох хвилин, після чого починає поступово слабшати (якщо диск перебуває у стані спокою). При дослідженні диск протягом однієї хвилини піддається 10÷26 кратної електризації тертям, внаслідок чого на його поверхні постійно підтримується максимальна напруженість електростатичного поля. Таким чином, швидкість обертання диска в межах 10÷26 хв$^{-1}$ не впливає на напруженість електростатичного поля незалежно від того, з якого матеріалу виготовлено диск або щітки.

Вплив питомого тиску щіток на величину напруженості електростатичного поля. Питомий тиск щітки на диск змінювали шляхом регулювання зусилля пружини притисного пристрою та вимірювали за допомогою динамометра, який шарнірно прикріплювали до центру щітки, що відтягувалась від диска. Зусилля, при якому відбувався відрив щітки від диска, фіксували на шкалі динамометра. Питомий тиск щітки на диск розраховували шляхом поділу притисного зусилля до поверхні щітки. Дослідження проводили за постійної швидкості обертання диска n = 16 хв$^{-1}$. Досліджували диски з полівінілхлориду, текстоліту та органічного скла. Електризацію дисків проводили щітками, виготовленими з фетру. Притисне зусилля щіток до дисків змінювалося в межах від 30 г/см^2 до 66 г/см^2.

Аналізуючи вплив тиску щіток на напруженість електростатичного поля полівінілхлорид-фетр, спостерігали сталість величини напруженості поля E = 10000 В/см. Таким чином, зміна навантаження з 33 г/см^2 до 66 г/см^2 не призводить до зміни напруженості електростатичного поля.

Зі збільшенням навантаження на щітки до 66 г/см^2 напруженість електростатичного поля диска гетинаксу збільшується, але абсолютні значення напруженості при цьому невеликі. Невеликий вплив питомого тиску щіток спостерігали у пари органічного скла-фетр. Зі збільшенням притисного зусилля від 33 г/см^2 до 66 г/см^2 напруженість електростатичного поля цієї пари зменшується від 3750 В/см до 3000 В/см.

Таким чином, збільшення питомого тиску щіток призводить до незначного збільшення або зниження напруженості електростатичного поля. Для успішної електризації електродів достатньо зусилля притискання 30 г/см^2. Збільшення цього зусилля вдвічі до 66 г/см^2 не призводить до збільшення напруженості електростатичного поля. Зниження питомого тиску нижче 30 г/см^2 призводить до нерівномірного прилягання щітки до диска за довжиною щітки, що спричиняє нерівномірну електризацію диска.

Рівномірність розподілу зарядів на поверхні дисків. Завданням цієї серії дослідів було встановити, як розподіляються заряди на поверхні диска при терті. Датчик закріплювали на направляючих масштабної лінійки та переміщали вздовж радіусу диска з інтервалом 50 мм. Проводили дослідження для виявлення характеру розподілу зарядів на поверхні дисків. Використовували диски з поліхлорвінілу, а щітки з повсті, капрону та фетру. Дослідження показали, що для пари полівінілхлорид-повсть у центрі диска напруженість поля становила 14000 В/см, на відстані 12 мм від центру вона збільшилась до 15300 В/см, на відстані 220÷300 мм різко зменшувалась до 11000÷12000 В/см. Для пари полівінілхлорид-капрон спостерігали більш рівномірну напруженість поля по всій поверхні диска (9500÷10000 В/см). Для пари полівінілхлорид-фетр характер розподілу зарядів майже аналогічний парі полівінілхлорид-повсть.

Об'ємний розподіл зарядів у просторі. Встановлено, що під дією тертя діелектрика органічного походження і щітки на поверхні діелектрика генеруються заряди позитивного та негативного знака. Пил, потрапляючи у зону дії електростатичного поля, притягується до диска. Вивчали на яку відстань від поверхні диска поширюється дія електростатичного поля. Датчик приладу встановлювали на різну відстань від поверхні диска з інтервалом 100 мм. З відривом 100÷200 мм від поверхні диска спостерігали різке зниження напруженості електростатичного поля незалежно від обертів диска. При швидкості обертання диска 10 хв$^{-1}$ напруженість електростатичного поля на поверхні диска становить 8750 В/см, на відстані 100 мм від поверхні вона знижується до 7000 В/см, а на відстані 500 мм – до 1800 В/см. Майже повне зникнення електростатичного поля спостерігається на відстані 1400÷1500 мм від поверхні диска. Для швидкості обертання диска 12 хв$^{-1}$ та 16 хв$^{-1}$ спостерігали аналогічну залежність: спочатку різке зменшення напруженості поля на відстані 200÷300 мм, а потім повільне зменшення до нуля при відстані 1300÷1500 мм. Зона об'ємного впливу електростатичного поля досить велика, вона поширюється на відстань 1200÷1500 мм від поверхні диска. При відстані до 100 мм напруженість поля знижується на 20÷30%, при 200 мм – на 50÷60%, при 500 мм – на 70÷80%. Повне зникнення поля спостерігається на відстані 1300÷1800 мм від поверхні диска. Ефективна зона дії одного диска становить 200÷400 мм. При компонуванні відстань між дисками багатодискових електростатичних фільтрів має перевищувати 200÷400 мм.

Висновки. Максимальний заряд поверхні дисків з різних діелектриків генерується повстяними щіт-

ками. Це пояснюється більшою адгезією повстяних щіток порівняно з фетром і капроном. Пиловловлювач здатний ефективно очищувати гази від надзвичайно легких і дрібних частинок, розмір яких може бути менше 0,01 мкм, безпечно вловлювати легкозаймистий, вибухонебезпечний, струмопровідний пил.

Література

1. Torghabeh A., Pradhan B., Jahandari A. Assessment of geochemical and sedimentological characteristics of atmospheric dust in Shiraz, southwest Iran. *Geoscience Frontiers*. 2019. P. 26–32.
2. Caplin A., Ghandehari M., Lim C., Glimcher P., Thurston G. Advancing environmental exposure assessment science to benefit society. *Nature Communications.* 2019. 10(1). № 1236. P. 124–128.
3. Малєєв В.О., Безпальченко В.М., Семенченко О.О. Атмосферне повітря м. Херсона: стан і проблеми. *Екологічні науки.* 2018. № 3(22). С. 47–52.
4. Karakoçak B., Patel S., Ravi N., Biswas P. Investigating the Effects of Stove Emissions on Ocular and Cancer Cells. *Scientific Reports*. 2019. 9(1), № 1870.
5. Карманов В.В., Кузнецов С.И. Анализ пылеулавливающего оборудования льнозаводов. *Вісник ХНТУ*. 2017. № 2(61). С. 147–154.
6. Малєєв В.О., Кузнєцов С.І., Карманов В.В., Безпальченко В.М. Захист повітряного басейну від промислового пилу. *Наукові основи раціонального використання природно-ресурсного потенціалу Херсонської області* : *монографія.* Херсон, 2018. С. 235–280.
7. Hachicha A., Al-Sawafta I., Ben Hamadou D. Numerical and experimental investigations of dust effect on CSP performance under United Arab Emirates weather conditions *Renewable Energy* 143. 2019. P. 263–276.
8. Трибоелектростатичний пиловловлювач : пат. № 120641 Україна : МПК A47L 9/10, (2006.01), B04C 3/04 (2006.01); заявл. 22.04.2011; опубл. 11.11.1017, Бюл. № 21.

УДК 37.042:373.51:613.6
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.16

ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ СЕРЕДОВИЩА НА АНТРОПОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ 17-ЛІТНІХ ДІВЧАТ ОДЕСЬКОГО РЕГІОНУ

Пелепчук О.С., Бобро О.В., Дишель Г.О.
Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К.Д. Ушинського»
вул. Фонтанська дорога, 4, 65039, м. Одеса
olgaspele@gmail.com

Процес фізичного розвитку у онтогенезі відбувається за природними біологічними законами та корегується умовами життя та діяльністю людини. Для кожного етапу соціально-економічних умов розвитку суспільства існують свої стандарти фізичного розвитку та фізичного здоров'я, які можуть істотно відрізняться і у межах однієї країни. Раніше дослідження що прийнято за стандартні антропометричні показники для Одеського регіону було розроблено для покоління молоді, що народжена наприкінці 1970-х р.р.

Метою дослідження було отримання нових даних про антропометричні показники дівчат Одеського регіону 1991–1996 р.н. Вплив екологічного стану регіону на означені показники Та визначення різниці у фізичному розвитку дівчат міста та сільської місцевості Одеського регіону.

Для досягнення поставленої мети було проведено дослідження антропометричних даних 389 осіб жіночої статі (студентки). Вік дівчат на момент дослідження складав 17 років. Отримані результати мають досить однорідний характер, розкид більшості показників перебуває у достовірно значущому інтервалі. Аналіз даних дозволяє зазначити, що фізичний розвиток молоді Одеського регіону за параметрами довжини тіла, маси достовірно менший, ніж за таблицями що розроблено у 1996 р. Це говорить про наявність явища ретардації у параметрах фізичного розвитку. Зазначено, що однією з причин ретардації є забруднення навколишнього середовища, тобто погіршення екології у регіоні та в цілому у країні.

При цьому статистично достовірних відмінностей у параметрах фізичного розвитку дівчат залежно від року народження у межах 1991–1996 р.р. не спостерігається. Визначено, що показники довжини тіла в міських та сільських дівчат однорідні. Однак розгляд за роками народження привертає увагу стабільністю у зростанні одеситок і чітку тенденцію до динаміки зростання у сільських дівчат, що особливо яскраво виявляється при порівнянні 1991 та 1996 років народження. Масив наукових даних що отримано дозволяє визначити оцінку антропометричних даних студентської молоди що народжена у 1991–1996 р.р. у Одеському регіоні. Також було визначено, що фізичний розвиток дівчат студенток інших регіонів України не відрізняється від дівчат Одеського регіону. *Ключові слова:* антропометрія, дівчата, Одеський регіон, фізичний розвиток.

Influence of environmental factors on anthropometric indicators of 17-year-old girls Odesa region. Pelepchuk O., Bobro O., Dyshel G.

The process of physical development in ontogenesis occurs according to natural biological laws and is adjusted by living conditions and human activity. For each stage of socio-economic conditions of society's development, there are its own standards of physical development and physical health. These standards may differ significantly within the same country. Previously, scientists developed a table of anthropometric indicators for girls of the Odesa region born in the late 1970s.

Purpose of research. Get new data on anthropometric indicators of girls born in 1991–1996 Odesa region. Ddetermined the impact of the ecological state of the region on anthropometric indicators of girls. Find the difference in anthropometric indicators of urban and rural girls.

Methods. To achieve the stated goal study was conducted of the anthropometric profile of 389 female students. The age of the girls at the time of the study was 17 years.

Results. Was arrayed of scientific data obtained allows to determine the assessment of anthropometric data of student youth born in 1991–1996 in the Odesa region. The presence of the phenomenon of retardation in girls of the Odesa region born in 1991–1996 was determined. Compared to girls was born in the late 1970s. It was determined that the physical development of girls born in 1991–1996 of the Odesa region in terms of body length and mass is significantly lower than that of girls of the generation born in the late 1970s. Was clear trend towards the growth dynamics of rural girls was found, which is revealed when comparing the years 1991 and 1996. It was analyzed that the physical development of girls from other regions of Ukraine born in 1991-1996 does not differ from the physical development of girls in the Odesa region.

Anthropometric characteristics indicate the physical development of the individual. The availability of a large array of anthropometric data allows for statistical data analysis. The obtained data can be used to form regional tables of standards, to determine the phenomena of acceleration or retardation in one or another generation. *Key words:* anthropometry, girls, Odesa region, physical development.

Постановка проблеми. Процес фізичного розвитку у онтогенезі відбувається за природними біологічними законами та корегується умовами життя та діяльністю людини. Таким чином на фізичні параметри молоді впливають не тільки ендогенні та генетичні (морфофункціональні особливості та вроджений імунітет) а й екзогенні, таки як екологічні, соціальні, економічні елементи середовища.

Актуальність дослідження. Для кожного етапу соціально-економічних умов розвитку суспіль-

ства існують свої стандарти фізичного розвитку та фізичного здоров'я, які можуть істотно відрізняться і у межах однієї країни. Ці стандарти, здебільше, не є стабільними на довгостроковий період. Моніторинг показників що характеризують фізичний розвиток особистостей у юнацькому віці є доволі актуальним для сьогодення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження Басалкіної Н.І. та співробітників, що було проведено у 1996 р. [1], та прийнято за стандартні показники антропометричних даних для Одеського регіону було розроблено для покоління молоді, що народжена наприкінці 1970-х р.р. Таким чином, проведення досліджень фізичного розвитку молоді Одеського регіону, за умови змін що відбуваються у екології регіону, є доволі актуальним для сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вченими було визначено особливості рівня фізичного розвитку дітей молодшого шкільного віку, що проживають у місті та сільській місцевості. Виявлено, що показники фізичного розвитку у молодших школярів відповідають середньому рівню, при цьому серед школярів із сільської місцевості багато випадків із нормативними або підвищеними показниками рівня фізичного розвитку [2]. Групою науковців було проведено порівняльний аналіз антропометричних даних школярів молодших класів навчальних закладів різного типу та встановлено, що морфологічний статус дітей з закладу корекційної освіти інтернатного типу характеризувався нижчим значенням, ніж результати замірів їхніх однолітків у загальноосвітній школі [3]. Багато дослідників приділяють увагу визначенню оцінки рівня фізичної підготовленості не тільки учнів школи [4], а й студентської молоді. Було зазначено, що у студентів 1-го та 2-го курсів антропометричні показники перебувають у межах вікових норм, та практично не змінюються при переході з курсу на курс навчання [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Викликало зацікавленість можливість визначення різниці у фізичному розвитку дівчат міста та сільської місцевості Одеського регіону. А також вплив екологічного середовища регіону на означені показники.

Новизна. Отримано великий масив даних про фізичний розвиток та антропометричні показники дівчат Одеського регіону 1991–1996 р.н., що дозволяє проводити формування таблиць регіональних стандартів.

Викладення основного матеріалу. Фізичний розвиток є маркером гармонійності розвитку організму та опосередковано говорить про стан здоров'я особистості. Антропометричні показники використовують у таких прикладних галузях знань як медицина, психологія, санітарія, пропедевтика, реабілітологія, екологія.

Мета дослідження: отримання нових даних про антропометричні показники дівчат Одеського регіону 1991–1996 року народження. Спостереження впливу екологічного стану регіону на означені показники. Визначення різниці антропометричних показників дівчат міста та сільської місцевості Одеського регіону.

Методи і організація дослідження. Оцінку антропометричних даних проводили, використовуючи як вікову градацію календарний рік, тобто період народження від 01.01 по 31.12 включно, за стандартними методиками. Вимірювання довжини тіла виконували за допомогою ростоміра з точністю до 0,5 см. Визначення маси тіла здійснювали зважуванням на медичних терезах з точністю до 0,1 кг. Усі обстежування дівчат проводили у першій половині дня. Під час обробки отриманих даних використовували методи варіаційної статистики з оцінкою t-критерію Стьюдента з визначенням середнього значення показника (M), величини середньої похибки (± m), критерію достовірності Стьюдента (t). Різницю між двома середніми величинами вважали достовірною при значеннях $p \leq 0,05$. Для оцінки антропометричних даних використовували регіональні таблиці стандартів (табл. 1).

Результати дослідження та їх обговорення. Загалом у дослідженні взяло участь 389 осіб жіночої статі юнацького віку (студентки). Вік дівчат на момент дослідження складав 17 років. Середньостатистичні дані фізичного розвитку студенток представлені у таблиці 2. Отримані результати мають досить однорідний характер, розкид більшості показників перебуває у достовірно значущому інтервалі, що, відповідно, дозволяє робити достовірно значущі висновки.

З таблиці 2 видно, що збільшення чисельності обстежених дівчат дозволило отримати досить однорідні показники за такими параметрами як довжина тіла. З деякою натяжкою (тому що в медико-біологічних дослідженнях однорідною групою вважається розкид у 10–15%) можна вважати достовірними й результати вимірювань показників маси тіла.

Таблиця 1

Фізичний розвиток 17-річної молоді Одеського регіону України за даними Н. І. Басалкіної та співавт.

Антропометричні параметри	n	x	m	δ	cv (%)
Довжина тіла (см)	130	169,53	0,50	5,72	3,37
Маса тіла (кг)	130	61,17	0,57	6,49	10,61

Таблиця 2

Фізичний розвиток уродженок Одеського регіону 1991–1996 р.н.

Антропометричні параметри	n	x	m	δ	cv (%)
Довжина тіла (см)	389	164,34	0,32	6,35	3,86
Маса тіла (кг)	389	57,45	0,46	8,96	15,49

Аналіз даних таблиці 2 та порівняння їх з даними Н. І. Басалкіної із співавторами 1996 року (табл. 1), дозволяє зазначити, що фізичний розвиток молоді Одеського регіону за параметрами довжини тіла, маси достовірно менший, ніж у 1996 р. ($p<0,001$). Це говорить про наявність явища ретардації у параметрах фізичного розвитку.

Однією з причин ретардації є забруднення навколишнього середовища, у тому числі й надмірне використання великої кількості добрив на сільськогосподарських угіддях. Так, в Україні протягом 2020 року було застосовано більше, ніж 20000 тон пестицидів під врожай сільськогосподарських культур [6]. Пестициди забруднюють навколишнє середовище при усіх етапах існування: виробництва, зберігання, транспортування, використання, знищення. В першу чергу отруююча дії пестицидів впливає на жінок різного віку та дітей і підвищує ризик виникнення дитячої лейкемії та інших захворювань [7]. Не менш шкідливими є нітритні та нітратні добрива, особливо вторинні аміни і нітрозоаміни у які вони перетворюються у процесі всмоктування у ШКТ [8]. У дитячому та юнацькому віці нітрати пливають на ферменти, які відновлюють гемоглобін. При цьому підвищена кількість нітратів може бути й в продуктах тваринного походження, якщо їх було багато у рослинній їжі якою годували худобу [9].

Показники ретардації також можуть бути залежними від часу народження обстежуваних дівчат, оскільки перші роки незалежності України супроводжувалися економічною кризою та різким зниженням рівня життя населення, у тому числі якістю харчування. Тому наступним етапом дослідження був відбір даних дівчат, народжених у період з 1991–1996 років в Одеському регіоні (табл. 3). Аналіз отриманих даних дозволяє зробити суттєвий висновок про їхню однорідність, оскільки всі отримані результати знаходяться в межах достовірності, прийнятих у медико-біологічних дослідженнях.

Як видно з таблиці 3, статистично достовірних відмінностей у параметрах фізичного розвитку дівчат, залежно від року народження, не спостерігається (у всіх випадках $p>0,1$). Відомо, що в місті на людину впливають більшість факторів навколишнього середовища, ніж на сільських мешканців. Це житлове середовище, що більше розцінюється як соціальний фактор (життя у багатоповерхових комплексах); виробничі фактори, в тому числі й промислових виробництв, що знаходяться у межах міста; соціально-культурний рівень суспільства громади; індивідуальний спосіб життя. А також штучні домішки у продуктах харчування, що ілюструють численні «фаст-фуди» та використання продуктів харчування швидкого приготування. Все це, безумовно, впливає на і на фізичне здоров'я і на соціально-поведінкові реакції. Не слід забувати й про антропогенне забруднення навколишнього середовища [10, 11]. Загроза багатьох токсичних речовин полягає в тому, що вони акумулюються у біологічних тканях й при збільшенні концентрації підвищується їх руйнуючий ефект.

Виходячи із всього переліченого наступним завданням був розгляд у порівняльному аспекті фізичного розвитку дівчат, які живуть безпосередньо у м. Одесі (табл. 4) та у населених пунктах Одеської області (табл. 5). Існують дослідження, де зазначено що міські діти випереджають сільських за строками статевого дозрівання та соматичними ознаками [12].

Визначено, що показники довжини тіла в міських та сільських дівчат однорідні. Однак розгляд за роками народження привертає увагу стабільністю у зростанні одеситок і чітку тенденцію до динаміки зростання у сільських дівчат, що особливо яскраво виявляється при порівнянні 1991 та 1996 років народження ($p>0,001$).

Серед студенток ВНЗ м. Одеси чимало вихідців з інших регіонів України. Таким чином можливо дослідити як впливають різні чинники навколишнього середовища на українок віку, що досліджено.

Таблиця 3

Динаміка зміни параметрів фізичного розвитку дівчат Одеського регіону 1991–1996 р.н.

Роки народження	n	Довжина тіла (см)	Маса тіла (кг)
1991	44	162,27±0,57	58,63±0,72
1992	40	164,08±2,30	56,94±2,92
1993	101	163,67±2,62	56,19±2,81
1994	74	164,34±2,48	58,39±3,16
1995	51	165,18±2,46	57,66±2,63
1996	26	165,78±2,46	58,38±3,00

Таблиця 4

Динаміка змін параметрів фізичного розвитку дівчат м. Одеси 1991–1996 р.н.

Роки народження	n	Довжина тіла (см)	Маса тіла (кг)
Сумарні результати	137	164,40±0,59	55,58±0,78
1991	36	164,71±0,99	56,88±1,46
1992	14	164,79±1,15	54,27±1,68
1993	37	163,62±1,23	54,17±1.18
1994	24	164,52±1,05	55,72±1,77
1995	14	164,89±1,36	57,89±2,18
1996	12	164,54±1,34	56,42±2,63

Таблиця 5

Динаміка змін параметрів фізичного розвитку дівчат Одеської області 1991–1996 р.н.

Роки народження	n	Довжина тіла (см)	Маса тіла (кг)
Сумарні результати	199	164,00±0,45	58,23±0,65
1991	8	160,75±2,37	59,38±1,73
1992	26	163,62±1,21	57,08±1,72
1993	64	163,38±0,78	57,30±1,10
1994	50	164,37±0,91	59,37±1,49
1995	37	165,50±1,03	57,63±1,07
1996	14	167,21±1,15	57,46±2,06

Різними авторами [13, 14] визначено, що в Україні спостерігається наявність високого рівня техногенного навантаження, а також антропогенного впливу на навколишнє середовище. Це може бути пов'язано із численними хімічними, енергетичними та гірничодобувними підприємствами. При цьому розподіл таких підприємств на території нашої держави неоднорідний, та залежить від наявності та розподілу біоресурсів. Окрім екологічного навантаження завдяки наявності великих техногенних об'єктів, слід пам'ятати про виробничі відходи що забруднюють навколишнє середовище та впливають безпосередньо на стан здоров'я жителів довколишніх населених пунктів, а також, опосередковано, і на стан здоров'я усього населення країни. На жаль, в нас ще недосконала система утилізації промислових відходів у великих обсягах з чим і пов'язано переміщення небезпечних відходів з одного регіону до іншого. За даними Міністерства екології та природних ресурсів, визначено, що на України на одного мешканця впродовж року збирається до 10 тон промислових відходів. Не можна також забувати про небажані екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи, що характеризуються наявністю великої кількості радіоактивних матеріалів які вже перебувають за межами зони відчуження та розповсюдились територією держави. Все вище перелічене може суттєво впливати на стан здоров'я молодого населення.

Однак було визначено, що фізичний розвиток дівчат студенток інших регіонів України не відрізняється від дівчат Одеського регіону. Це може бути пов'язано із різницею у виборці: 336 дівчат віком 17 років Одеського регіону та 53 дівчини інших регіонів. Або із загальним станом дівчат, що мали достатній фізичний розвиток для того, щоб самостійно поїхати навчатися у іншому регіоні.

Головні висновки

1. Масив наукових даних що отримано дозволяє визначити оцінку антропометричних даних дівчат-студенток що народжені у 1991–1996 р.р. у Одеському регіоні.
2. Визначено наявність явища ретардації у дівчат Одеського регіону народжених у 1991–1996 р.р. порівняно із дівчатами, народженими наприкінці 1970-х р.р.
3. Визначено що фізичний розвиток дівчат народжених у 1991–1996 р.р. у Одеському регіоні за параметрами довжини тіла, маси достовірно менший ($p<0,001$) ніж у народжених наприкінці 1970-х р.р.

Таблиця 6

Динаміка змін параметрів фізичного розвитку дівчат інших регіонів України 1991–1996 р.н.

Роки народження	n	Довжина тіла (см)	Маса тіла (кг)
Сумарні результати	53	165,15±0,92	56,91±0,99
1992	10	164,15±1,61	57,02±1,83
1993	13	165,23±2,28	55,30±1,88
1994	13	164,85±1,98	55,67±1,86
1995	6	161,92±2,65	56,02±3,70
1996	11	166,68±2,33	59,73±2,60

4. Визначено чітку тенденцію до підвищення росту у сільських дівчат, що виявляється при порівнянні 1991 та 1996 років народження (p>0,001).

5. Фізичний розвиток дівчат інших регіонів України, що народжені у 1991–1996 р.р., не відрізняється від фізичного розвитку дівчат Одеського регіону.

Перспективи використання результатів дослідження. Наявність великого масиву антропометричних даних дозволяє зробити статистичних аналіз на бути використаними для формування регіональних таблиць стандартів, визначення наявності явищ акселерації чи ретардації у тому чи іншому поколінні.

Література

1. Басалкіна Н.І. Фізичний розвиток дітей шкільного віку в містах Одеської області. *Фізичний розвиток дітей з різних регіонів України*: монографія / Басалкіна Н.І., Калуєва М.В., Меломед Г.М., Тишкул Л.Ф. Тернопіль, 2000. Т. 1. С. 199–204.
2. Трофим'як Ю., Дмитроца О., Швайко С. Порівняльна характеристика фізичного розвитку молодших школярів залежно від місця проживання *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки.* 2015. № 12. С. 87–93.
3. Москвяк Н.В., Мудра І.Г. Порівняльна характеристика формування фізичного розвитку школярів. *Врачебное дело*. 2017. № 3–4. С. 117–21.
4. Голяка С.К., Кольцова О.С., Глухова Г.Г. Контроль та оцінка рівня фізичної підготовленості учнів початкових класів. *Вісник Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка*. *Серія «Педагогічні науки».* 2020. Вип. 10. С. 38–45.
5. Сабіров О., Пантік В., Гац Г. Стан фізичного розвитку студентів вищих навчальних закладів. *Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві*. 2016. № 3 (35). С. 60–65.
6. Влізло В.В., Салига Ю.Т. Проблеми біологічної безпеки застосування пестицидів в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 1. С. 24–27.
7. Корнет В.А., Підліснюк В.В. Проблема непридатних та заборонених до використання пестицидів на Україні та вплив на здоров'я населення. *Екологічна безпека*. 2010. № 10. С. 43–45.
8. Мальований М.С., Гавриляк М.Я., Недаль Х.М.Х. Можливості екологічно безпечного використання мінеральних добрив. *Екологічна безпека*. 2009. № 7. С. 31–37.
9. Слесарюк С.О., Степаненко Т.М. Профілактика небезпечного впливу нітратів. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку*: матеріали І міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава, 16 травня 2019 р.). Полтава, 2019. С. 111–114.
10. Пелепчук О.С. Бобро Е.В., Дишель Г.А. Влияние экологических факторов на физическое развитие городских и сельских девочек. *Екологічні науки*. 2019. № 26. С. 152-–157.
11. Пелепчук О.С., Долинская Т.В. Связь качества атмосферного воздуха с развитием детского организма. *Еколого-біологічні питання освіти і виховання*: матеріали міжнар. заоч. наук.-метод. конф. (Одеса, 18 листопада 2006 р.). Одеса: Інвац, 2006. С. 54–62.
12. Шандригось В.І. Методи дослідження фізичного стану школярів в процесі фізичного виховання. Тернопіль: ТДПУ, 2001. 186 с.
13. Веклич О. Удосконалення економічних інструментів екологічного управління на Україні. *Економіка України*. 2000. № 9. С. 65–74.
14. Дорогунцов С. Державне регулювання техніко-екологічної безпеки в регіонах України. *Економіка України*. 2002. № 4. С. 70–77.

ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 911.2
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.17

ДИНАМІКА КЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІСТА МЕЛІТОПОЛЯ ЯК СКЛАДОВА ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН

Воровка В.П.[1], **Марченко О.А.**[1], **Гришко С.В.**[1], **Яцентюк Ю.В.**[2]
[1]Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького
вул. Гетьманська, 20, 72312, м. Мелітополь
[2]Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
вул. Острозького, 32, 21001, м. Вінниця
geofak_mgpu@ukr.net, marchenkokseniyal@ukr.net, gryshko245@gmail.com, yatsentuky@gmail.com

У статті проаналізовано кліматичні характеристики міста Мелітополь за основними кліматичними показниками, узагальненими по метеостанції Мелітополь за два періоди: 1961-1990 та 1991-2020 роки. Зроблений порівняльний аналіз змін кліматичних характеристик упродовж вказаних двох періодів. Виявлені суттєві відмінності у кліматичних показниках вказаних двох періодів, які характеризують чітку спрямованість кліматичних змін у бік потепління. Зокрема, проаналізовано і виявлено різну кількість циклонів зі збільшенням їх числа у другий період з 41-43 до 45 в середньому за рік. Виявлено також суттєве зниження середньої багаторічної швидкості вітру з 2,5 м/с упродовж першого періоду до 1,7 м/с у другому, що спричинює підвищення дії радіаційного фактору та нагрівання земної поверхні і повітря. Радіаційний та циркуляційний фактори спричинюють зміни у температурному режимі території: якщо середньорічна температура повітря за період 1961-1990 рр. становила близько 9,8°С, то за період 1991-2020 рр. – зросла до 11,9 °С. Виявлено, що сума температур повітря вище +15°С наблизилася упродовж другого періоду до 3400°, тоді як упродовж першого періоду становила у середньому 2800°. Змінилися і показники абсолютного мінімуму та абсолютного максимуму температур: упродовж першого періоду – відповідно -33°С та +40 °С, а упродовж другого -26,3 °С (23.01.2006) та +41°С (08.2022 р.) відповідно. Тривалість безморозного періоду у повітрі зросла до 200 днів порівняно з 190-192 у попередній період. Середньорічна кількість опадів між періодами зросла з 455 до 490 мм, а за 2021 рік їх випало 658 мм. Відбувся перерозподіл у бік збільшення кількості рідких та зменшення твердих опадів, а також зміщення опадів у бік холодного періоду. Тривалість снігового покриву між періодами скоротилася на тиждень і упродовж другого періоду він встановлювався не щороку на відміну від першого. Тривалість крижаного покриву на узбережжі Азовського моря скоротилася на понад два тижні і він став нестабільним. Подані кліматичні дані за 2021 рік. *Ключові слова:* зміни клімату, циркуляція атмосфери, кліматичні характеристики, Мелітополь.

Dynamics of climate characteristics Melitopol city as a component of global changes. Vorovka V., Marchenko O., Gryschko S., Yatsentiuk Yu.

The article analyzes the climatic characteristics of the city of Melitopol based on the main climatic indicators summarized by the Melitopol weather station for two periods: 1961-1990 and 1991-2020. A comparative analysis of changes in climatic characteristics during the specified two periods was made. Significant differences in the climatic indicators of the specified two periods were revealed, which characterize the clear direction of climatic changes towards warming. In particular, a different number of cyclones was analyzed and revealed, with an increase in their number in the second period from 41-43 to 45 on average per year. A significant decrease in the average long-term wind speed from 2.5 m/s during the first period to 1.7 m/s in the second was also revealed, which causes an increase in the effect of the radiation factor and heating of the earth's surface and air. Radiation and circulation factors cause changes in the temperature regime of the territory: if the average annual air temperature for the period 1961-1990 was about 9.8°C, then for the period 1991-2020 it increased to 11.9°C. It was found that the sum of air temperatures above +15°C approached 3400° during the second period, while it averaged 2800° during the first period. The absolute minimum and absolute maximum temperatures also changed: during the first period -33°C and +40°C, respectively, and during the second -26.3°C (01.2006) and +41°C (08.2022), respectively. The duration of the frost-free period in the air increased to 200 days compared to 190-192 in the previous period. The average annual rainfall between the periods increased from 455 to 490 mm, and in 2021 it fell to 658 mm. There was a redistribution in the direction of an increase in the amount of liquid precipitation and a decrease in solid precipitation, as well as a shift of precipitation toward the cold period. The duration of the snow cover between periods was reduced by a week, and during the second period it was not established every year, unlike the first. The duration of the ice cover on the coast of the Sea of Azov decreased by more than two weeks and it became unstable. Climatic data for 2021 are provided. *Key words:* climate change, atmospheric circulation, climatic characteristics, Melitopol.

Постановка проблеми. Зміни клімату у бік потепління носять як глобальний, так і регіональний характер. В одних регіонах земної поверхні ці зміни носять більш виражений і стрімкий характер, в інших – проявляються з меншою інтенсивністю. Клімат Мелітополя є частиною глобальної кліматичної системи, яка закономірно реагує на глобальні кліматичні зміни. Наскільки чітко і виражено проявляються ці зміни на рівні Мелітополя – є проблемою, яку можна вирішити шляхом порівняльного аналізу

кліматичних показників за два рівні проміжки часу – 1961-1990 та 1991-2020 роки з наведенням основних кліматичних характеристик і за 2021 рік.

Актуальність дослідження. Міжурядова група експертів зі змін клімату (МГЕЗК) довела, що країни Східної Європи менш вразливі до глобальних змін клімату порівняно з острівними чи високогірними державами. Тим не менш суттєві зміни у температурному режимі та кількості опадів, а також інтенсивність прояву стихійних лих за останні десятиліття свідчать про те, що проблема актуальна і для європейського регіону, в тому числі України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Моніторинг кліматичних змін у Запорізькій області здійснює Запорізький обласний центр з гідрометеорології. Усі результати обчислених нами даних узгоджені та уточнені з фахівцями Запорізького обласного центру з гідрометеорології під час чергового засідання басейнової ради річок Приазов'я. Важливість авторського доробку та зв'язок з практичними завданнями полягає у можливості застосування виявлених трендів в прогнозуванні подальших кліматичних змін та адаптації господарського природокористування до таких змін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Публікацій, присвячених дослідженню галузі кліматичних змін на глобальному чи регіональному рівнях, налічується дуже багато як у світі, так і в Україні. Серед найбільш цитованих і популярних можна назвати «Атлас глобального вуглецю» [1], дослідження Браяна Фейгена [2]. В 2019 в Україні почалась реалізація міжнародного проєкту по Поліссю «Екосистемна адаптація до кліматичних змін і сталий регіональний розвиток шляхом розширення можливостей українських біосферних резерватів». Моніторингові дослідження у галузі змін клімату здійснює Український гідрометеорологічний центр [3] та його філії, зокрема Запорізький обласний центр з гідрометеорології. Складання Кліматичного кадастру України здійснює відділ кліматології здійснює Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського [4].

Індивідуальні наукові дослідження змін клімату у південно-східному регіоні України, зокрема у Мелітополі, здійснювали у різний час Н.С. Сорокіна, М.Д. Торбунова, Х.І. Черченко, В.П. Воровка. Безпосередньо зміни кліматичних характеристик у Мелітополі досліджували Х.І. Черченко [5], В.П. Воровка [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Означена стаття присвячується дослідженню змін кліматичних характеристик міста Мелітополь через порівняльний аналіз кліматичних показників за два кліматичних періоди – 1961-1990 та 1991-2020 роки та наведенням характеристик за 2021 рік. До цього такий порівняльний аналіз вченими на рівні міста Мелітополь не здійснювався.

Новизна. У статті зроблений порівняльний аналіз двох кліматичних періодів – з 1961 по 1990 та з 1991 по 2020 роки з метою виявлення певних закономірностей змін клімату і динаміки кліматичних показників.

Методологічне або загальнонаукове значення. Проведене дослідження має загальнонаукове значення як таке, що здійснене з використанням кліматичних даних по одній з метеостанцій півдня України – м. Мелітополь. Для порівняльного аналізу використані метеорологічні дані метеорологічної станції Мелітополь. Метеостанція розміщена на 33,0 м абсолютної висоти і має такі географічні координати: 46°50' пн.ш., 35°22' сх.д. Територія характеризується слабопохилим характером поверхні на південь. Тут відбувається вільне проходження повітряних мас у будь-якому напрямі. Водночас навколо території метеостанції виросли дерева і показники вітру, очевидно, можуть бути заниженими. Південне географічне положення визначає порівняно високі показники сумарної сонячної радіації, а висока прозорість атмосфери спричинює домінування прямої радіації над розсіяною.

Викладення основного матеріалу. Провідними факторами, які формують клімат конкретної території, виступають: радіаційний, циркуляційний, позиційний. Перший визначає величину сонячної радіації та її співвідношення. Другий – особливості циркуляції атмосфери. Третій визначається географічним положенням, висотою над рівнем моря, близькістю до океанічних поверхонь. Усі вони обумовлюються географічними факторами: величина сонячної радіації – географічною широтою, циркуляція атмосфери – особливостями рельєфу поверхні, близькістю до морських акваторій та підстильною поверхнею, висота над рівнем моря – рельєфом поверхні, географічним положенням.

Радіаційний фактор визначається розташуванням території на південній периферії помірних широт і відіграє ключову роль. Річна кількість сумарної радіації становить близько 4980 МДж/м^2 [7], або близько 118 ккал/см^2. Вона складається з прямої та розсіяної. Пряма сонячна радіація є основним джерелом тепла. Її інтенсивність становить 59,8 ккал/см^2. Найбільша величина прямої сонячної радіації реєструється у липні (10,6 ккал/см^2) і залежить від висоти Сонця над горизонтом, від тривалості дня, від хмарності та висоти місцевості над рівнем моря. Величина розсіяної сонячної радіації становить 50,3 ккал/см^2, її кількість обумовлена широтою місця і прозорістю атмосфери. Показник поглиненої сонячної радіації становить 89 ккал/см^2, відбитої – близько 22 ккал/см^2. Річна сума радіаційного балансу становить 51,1 ккал/см^2. Кількість годин сонячного світла, від чого залежить кількість тепла, змінюється від 2200 до 2300 год. Річний хід сумарної радіації має макси-

мум у липні та мінімум у грудні. Радіаційний баланс в цілому за рік додатній і лише у осінньо-зимовий період (листопад-лютий) набуває від'ємних значень. Тепловий баланс в цілому за рік додатній і лише в зимові місяці – від'ємний.

Циркуляційний фактор формується переважно під впливом морських повітряних мас Атлантичного та Північного Льодовитого океанів, які трансформуються у континентальне помірне повітря, а за деякими джерелами останніх років – різко континентальне повітря. Континентальні повітряні маси, які приходять на територію з півночі і північного сходу, приносять похолодання. Тропічні повітряні маси, що надходять у теплий період року з півдня, приносять посушливу погоду. Характерною особливістю атмосферної циркуляції у період 1961-1990 роки, було послаблення циклонічної та посилення антициклонічної активності при загальному зниженні інтенсивності атмосферних процесів [7]. Натомість у період 1991-2020 рр. – навпаки.

Сезонні особливості циркуляції атмосфери. Східні і північно-східні вітри переважають з жовтня по квітень (сумарна повторюваність – 41–54%). Весною та восени повторюваність східних та північно-східних вітрів нижча (40–45%), у жовтні – 39-51%. При активізації азорського антициклону та послабленні відрогу сибірського антициклону (червень-серпень) переважають північно-західні, західні вітри (32-38% у липні). Вітровий режим теплого періоду більш однорідний – домінуючі вітри проявляються менш різко порівняно з періодом жовтень-квітень. Південно-східний і південний напрями повторюються 4-7% кожне в усі сезони року [9].

Траєкторія руху циклонів має дугоподібний напрям з північного заходу на південний схід зі зміною траєкторії на північний схід приблизно у центральній частині України. Кількість циклонів для широти Мелітополя у середньому за рік складає 45 за період 1990–2020 рр., тоді як у попередній період їх налічувалося в середньому 41–43. Причому за проміжок часу 1990–2020 рр. у зимовий період вони проявляються все частіше. Цьому сприяє і зміна циркуляційного режиму у бік зростання західної та північно-західної складових.

З циркуляцією атмосфери тісно пов'язані показники вітру. Територія міста розміщена на південь від смуги підвищеного тиску Воєйкова, у зв'язку з чим переважаючими вітрами у зимовий період є східні і північно-східні, а влітку частішають західні і північно-західні (1990–2020 рр.). У попередній же період домінування східних та північно-східних вітрів було більшим навіть у літній період. Сезонний хід швидкості вітру пов'язаний з ослабленням циклонічної діяльності у теплий період та її посиленням у холодний. Мінімальні швидкості вітру спостерігаються найчастіше у липні-серпні, а максимальні – у грудні-березні. В теплий період, починаючи вже з березня, у приморській смузі розвивається бризова циркуляція. Метеостанція Мелітополь розташована у межах впливу бризових вітрів (40–70 км від берега) [10].

Середня швидкість вітру за період 1990–2020 рр. становить 1,7 м/с, тоді як за період 1961–1990 рр. середня швидкість вітру становила близько 2,5 м/с [6]. Очевидно, на середньорічну швидкість вітру впливає і деревна рослинність, яка навколо метеомайданчика є досить високою і щільною.

Спільна дія радіаційних факторів і переносу теплих та холодних повітряних мас відбивається на температурному режимі території. Середньорічна температура повітря за період 1991–2020 рр. становить 11,9°С, тоді як за 1961–1990 рр. – близько 9,8°С. Зима коротка, м'яка, з частими потеплліннями. У зимові місяці часто температура піднімається до + 15°С. Середня температура січня –1,6°С, липня +24,3°С.

Температурний режим нестабільний, особливо у весняні та осінні періоди. Середня дата останнього морозу весною – 14–20 квітня. Першого – 12–15 вересня. Але в деякі роки спостерігаються значні відхилення від середньої норми. Літо сухе, жарке, з великою кількістю сонячних днів. Перехід середньої добової температури повітря через 0°С відбувається навесні 12 березня, а взимку – 5 грудня. Кількість днів з середньодобовою температурою вище 0°С становить понад 270 днів. Перехід середньої добової температури повітря через 10°С відбувається весною 20 квітня, а восени – 17 жовтня, при цьому число днів з температурою вище 10°С становить 180 днів. Сума активних температур повітря вище +15°С наблизився упродовж другого періоду до 3400°, тоді як упродовж першого періоду становив у середньому 2800°. Абсолютний мінімум температур по метеостанції Мелітополь за період 1961-1990 рр. зафіксований на рівні -33°С, а абсолютний максимум +40°С. У той же час за період 1991-2020 рр. вони стали більш «м'якими»: мінімальна -26,3°С (23.01.2006), а максимальна +41°С (08.2022 р.).

Тривалість безморозного періоду у повітрі за період 1991-2020 рр. становив у середньому близько 200 днів, тоді як у попередній період 1961–1991 рр. – близько 190-192.

Хід відносної вологості характеризується тим, що найвищі її значення спостерігаються у зимові місяці (86%). Повітря найбільш близьке до насичення вологою у період з грудня по квітень. З квітня її значення знижуються до мінімальних величин у липні (50%). Загалом низька відносна вологість проявляється з червня по серпень включно.

Для території міста характерний континентальний тип річного ходу опадів з максимумом навесні і влітку та мінімумом взимку. Середньорічна кількість опадів становила упродовж другого періоду близько 490 мм, тоді як у перший період становила 455 мм. Слід зазначити, що тренд кількості опадів

зростає, про що свідчить кількість зареєстрованих опадів за 2021 рік – 658 мм. Найменша кількість опадів спостерігається у березні-квітні (від 25 до 30 мм). Потім починається поступове збільшення опадів, яке триває до червня. Опади фронтальні, випадають у вигляді дощу і снігу. Варто наголосити на тому, що упродовж періоду 1961-1990 рр. частка опадів твердого характеру (сніг) була на понад у два рази більшою за період 1991-2020 рр. Це вплинуло на перерозподіл поверхневого стоку і його зміщення у бік зимових місяців. Випадання опадів відрізняється нерівномірністю та значними коливаннями показників, що призводить до нерівномірного зволоження ґрунтів. У літні місяці опади можуть носити зливовий характер, що провокує інтенсивність як процесів підтоплення, так і ерозійних. Випаровування на території значно перевищує величину опадів, у зв'язку з чим коефіцієнт зволоження набагато менший за одиницю. За цим показником територія належить до регіонів з недостатнім зволоженням.

Більшість опадів припадає на зиму (30-38%), а найменше – восени (17-22%). Окрім зимового максимуму спостерігається літнє збільшення кількості опадів у червні-липні. Особливо великий літній максимум опадів (25-29%) унаслідок конвективної діяльності. Середня інтенсивність літніх опадів у два-три рази більша за інтенсивність зимових, однак з меншою кількістю. Навіть у холодний період з листопада по березень число днів з дощем більше числа днів зі снігом. Таке явище характерне для обох досліджуваних періодів, але у другий період кількість днів з опадами твердого характеру значно нижча. Якщо за період 1961-1990 рр. сніговий покрив встановлювався щорічно [7] і тривав з першої декади грудня до початку другої декади березня, то для періоду 1990-2020 рр. сніговий покрив встановлювався у третій декаді грудня, а сходив – у першій декаді березня. Середня багаторічна висота снігового покриву становила 3-5 см, тривалість – 25-35 днів. Для періоду 1991–2020 рр. характерне значне зниження кількості днів зі снігом – до 20-22 днів, а в окремі зими сніговий покрив не був постійним. При цьому висота снігового покриву не зменшилася. Стійкий сніговий покрив, який зберігався упродовж 30 днів поспіль і більше, спостерігався менше ніж у 50% зим і цей відсоток постійно знижується від одного періоду до другого [11].

Хмарність. У зимові місяці в районі Мелітополя переважає низька хмарність шаруватих форм – шаруваті і шарувато-кучові хмари (повторюваність 30-35%), з яких випадає найбільша кількість вологи. Весною найчастіше спостерігаються хмари середнього і верхнього ярусів – перисті, перисто-шаруваті (24-28%) та висококучові хмари (25-30%). Влітку найчастіше зустрічаються кучові хмари (25-35%), які приносять опади зливового характеру та хмари середнього ярусу – високо-кучові (до 20%). Восени знову значно збільшується повторюваність шарувато-кучових хмар (27-30%) та повторюються високо-кучові хмари (23-27%). Упродовж усього року рідко спостерігаються перисто-кучові хмари. У зимові місяці також рідкісні кучові хмари, а влітку майже нема шаруватих [7].

Ще одним доказом кліматичних змін у бік потепління є криговий режим Азовського моря, у зоні впливу якого перебуває м. Мелітополь і вся південно-східна частина України. Вже у період 1961-1990 рр. було доведено, що середні дати першої появи початкових форм криги помітно зсунулися на тиждень пізніше, а середні дати повного зникнення криги стали відмічатися на тиждень раніше [7]. І упродовж періоду 1991-2020 рр. ця тенденція проявлялася також: криговий припай в районі с. Степанівка – Кирилівка став утворюватися на 8-10 днів пізніше і скресати на

Таблиця 1

Метеорологічні показники по метеостанції Мелітополь за 2021 рік (за архівними даними інтернет-ресурсу рп-5)

Місяць	Середня температура, °С	Середня швидкість вітру, м/с	Температура мінімальна, °С	Температура максимальна, °С	Кількість опадів, мм
Січень	-0,3	1,9	-19,4	11,6	65
Лютий	-0,7	2,0	-13,5	15,2	21
Березень	2,9	1,8	-12,1	16,5	25
Квітень	9,2	1,8	-1,4	22,0	43
Травень	16,7	1,6	3,2	30,3	50
Червень	20,6	1,0	11,9	33,8	164
Липень	25,7	1,1	17,4	37,0	95
Серпень	24,2	1,1	16,1	34,9	54
Вересень	15,8	1,3	4,6	29,2	23
Жовтень	9,9	1,8	-2,7	21,3	0,8
Листопад	6,0	1,6	-6,2	17,6	33
Грудень	1,7	2,1	-14,2	11,9	85
За рік	11,0	1,6	-19,4	34,9	658

тиждень раніше. Тривалість кригоставу за цей період в цілому по Азовському морю включно з Таганрозькою затокою зменшилася на 9-10 днів [12].

Аналіз метеорологічних даних за 2021 рік показав, що середньорічна температура повітря (+11,0°С) була нижчою середній багаторічний показник (11,9°С). Середня швидкість вітру (1,6 м/с) була близькою до середнього багаторічного показника (1,7 м/с). Максимальні і мінімальні температури повітря не вирізнялися своїми крайніми показниками. А от кількість опадів перевищила багаторічну кліматичну норму майже на 200 мм (табл. 1).

Головні висновки. Таким чином, порівняльний аналіз кліматичних змін упродовж двох кліматичних періодів 1961-1990 та 1991-2020 років показав, що фактично усі кліматичні показники динамічно змінюються у бік потепління. Це підтверджує відповідність реакції локальної кліматичної системи міста Мелітополь тенденціям змін у глобальній кліматичній системі. Такі зміни можуть призвести як до позитивних, так і негативних наслідків у всіх сферах людської діяльності – від природного довкілля до господарської сфери.

Література

1. Global Carbon Atlas / Boden et al., 2016, UNFCCC, BP), EAA: веб-сайт. URL: http://www.globalcarbonatlas.org/ (дата звернення: 15.09.2022).
2. Фейген Б. Велике потепління. Зміна клімату та піднесення й гибель цивілізацій. К.: «Ніка-Центр», 2013. 272 с.
3. Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій: веб-сайт. URL: https://www.meteo.gov.ua/ (дата звернення: 21.11.2022).
4. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. Відділ кліматології: веб-сайт. URL: http://www.cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/index.php/uk/klimatolohiia/pro-napriamok (дата звернення: 21.11.2022).
5. Черченко Х. Багаторічна характеристика основних гідрометеорологічних показників по метеостанції Мелітополь. *Алексєєвські краєзнавчі читання:* зб. матеріалів наук.-практ. конф. Мелітополь, 2015. С. 64–68.
6. Воровка В.П. Тенденції і наслідки кліматичних змін на Мелітопольщині. *Екологія – стратегія існування людства* :зб. наук. праць. Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2019. С. 37–42.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море / Отв. ред. Ф.С. Терзиев. С.-Пб.: «Гидрометеоиздат», 1991. 236 с.
8. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР: Справочник. Т. 3. Азовское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 218 с.
9. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1: Азовское море / Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н., Горбач С.Б. Севастополь: НВЦ ЕКОСІ-Гідрофізика, 2009. 402 с.
10. Клімат України /За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
11. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878-2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Чёрное, Азовское и Каспийское моря / Матишов Г.Г. и др. Ростовна-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
12. Яицкая Н.А., Магаева А.А. Динамика ледового режима Азовского моря в XX–XXI вв. *Лёд и Снег,* 2018. Т. 58. № 3. С. 373–386. doi: 10.15356/2076-6734-2018-3-373-386

УДК 551.583.1
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.18

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ І ПРОГНОЗ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В ЗОНІ СТЕПУ УКРАЇНИ

Пічура В.І., Потравка Л.О., Рутта О.В.
Херсонський державний аграрно-економічний університет
вул. Стрітенська, 23, 73006, м. Херсон
pichuravitalii@gmail.com

Зміни клімату обумовлюють збільшення частот та інтенсивності небезпечних погодних явищ, які призводять до значного економічного збитку, загрожують стабільності ландшафтних і аквальних екосистем, а також здоров'ю та життю населення. Тому для підвищення рівня ефективності господарювання в аграрній сфері економіки необхідно обґрунтувати природоохоронні заходи щодо відновлення та раціонального використання природних ресурсів, забезпечити реалізацію принципів сталого природокористування з ураховуванням просторово-часових закономірностей змін клімату. Із застосуванням методів багатомірної статистики (метод різницевих інтегральних кривих модульних коефіцієнтів, рівень забезпеченості, метод одномірного аналізу Фур'є, метод ланцюгів Маркова), прогнозування часових рядів (метод Хольта-Уінтерса) та геомоделювання (радіально-базисної функції) встановлені закономірності змін кліматичних умов у зоні Степу України за 1945-2019 рр. та здійснено їх прогноз до 2030 року. Встановлено, що за період досліджень середньорічна температура повітря збільшилася на 3,5°С. Сума річних атмосферних опадів змінювалась в межах 186-778 мм із рівнем варіації 27,2%, в останні 20 років визначено їх зменшення на 40% – до 500-300 мм. Із застуванням геостатистичних методів встановлені закономірності просторової диференціації кліматичних показників. Доведено, що інерційна ймовірність повторення спекотних років оцінена в 0,58, а можливість повторення вологих років в 0,46. Це вказує на циклічне підвищення середньорічної температури повітря та зниження суми річних опадів у зоні Степу. В результаті прогнозування визначено, що при збережені тенденції формування кліматичних умов, із ймовірністю в 93%, буде відбуватися стабільне тренд-циклічне підвищення середньорічного значення температури повітря на 0,06°С в рік і може становити до 2030 року 12,9±0,2°С, із ймовірністю 80% прогнозується тренд-циклічне зменшення суми річних опадів на 62,0мм в рік і може становити до 2030 року 427±50мм. Одержані результати підтверджують значні кліматичні зміни в зоні Степу України, погіршення умов сільськогосподарського виробництва, зниження урожаю, самовідновлюваної та саморегулюючої функції степових ґрунтів, зміни гідрологічного режиму річок. *Ключові слова:* клімат, температура повітря, атмосферні опади, ретроспективний аналіз, геомоделювання, прогнозування, зона Степу.

Spatial and temporal analysis and prognosis of climatic changes in the Steppe zone of Ukraine. Pichura V., Potravka L., Rutta O.

Climate change causes an increase in the frequency and intensity of dangerous weather events, which lead to significant economic damage, threaten the stability of landscape and aquatic ecosystems, as well as the health and life of the population. Therefore, in order to increase the level of efficiency of management in the agricultural sector of the economy, it is necessary to substantiate environmental measures for the restoration and rational use of natural resources, to ensure the implementation of the principles of sustainable nature management with the calculation of space-time patterns of climate change. Using methods of multidimensional statistics (method of difference integral curves of modular coefficients, level of security, method of one-dimensional Fourier analysis, method of Markov chains), prediction of time series (Holt-Winters method) and geomodeling (radial-basis function), regularities of changes of climatic conditions in the Steppe zone of Ukraine for 1945-2019 years have been established and their forecast to 2030 has been implemented. It was found that during the period of research the average annual air temperature increased by 3.5°C. The sum of annual precipitation has varied in the range of 186-778 mm with the level of variation of 27.2%, in the last 20 years their decrease is determined by 40% – up to 500-300 mm. With the stagnation of geostatistical methods, regularities of spatial differentiation of climatic indicators have been established. It is proved that the inertial probability of repetition of hot years is estimated at 0.58, and the possibility of repetition of wet years is 0.46. This indicated a cyclic increase in the average annual air temperature and a decrease in the amount of annual precipitation in the Steppe zone. As a result of forecasting, it is determined that with continued trends in the formation of climatic conditions, with a probability of 93%, there would be a stable trend-cyclic increase in the average annual air temperature by 0.06°C per year and can be 12.9±0.2°C by 2030, with a probability of 80% a trend-cyclic decrease in the amount of annual precipitation by 62.0 mm per year and could be 427±50 mm by 2030. The obtained results have confirmed significant climatic changes in the Steppe zone of Ukraine, deterioration of agricultural production conditions, reduction of crop, self-healing and self-regulating function of steppe soils, changes in the hydrological regime of rivers. *Key words:* climate, air temperature, atmosphere precipitation, retrospective analysis, geomodeling, forecasting, Steppe zone.

Постановка проблеми. Зміна клімату є глобальним викликом XXI століття, який охоплює екологічні, економічні і соціальні аспекти сталого розвитку країн світу. Кліматичні зміни проявляються в інтенсивності, частоті кліматичних аномалій і екстремальних погодних явищах на різних рівнях ієрархії в просторі і часі. За останні 30 років значно збільшилася частота та інтенсивність небезпечних погодних явищ, які призводять до значного економічного збитку, загрожують стабільності ландшафтних і аквальних екосистем, а також здоров'ю та життю населення. Спрогнозовано збереження існуючого напряму тренд-циклічних кліматичних змін [1-3], які викликають суттєві зміни функціонування при-

родних і штучних екосистем, збільшення частоти проявів небезпечних процесів і наслідків, деградації навколишнього середовища. До основних причин глобальної зміни клімату вчені світу відносять: антропогенний фактор [4, 5]; підвищення в кругообігу вуглекислого газу [6]; радіаційний прогрів атмосфери за рахунок поглинання інфрачервоного випромінювання при домінуючому впливі конвективного теплообміну [7]; зміна течій в Північному Льодовитому океані (холодна Лабрадорська течія в районі Гренландії і теплий Гольфстрім), що призводить до періодичних катастрофічних епох стабільного зниження і збільшення температурного режиму в Північній півкулі [8, 9]. Клімат на регіональному рівні формується під впливом трьох найважливіших чинників: циркуляції атмосфери, сонячної інсоляції і рельєфу [10]. Потребують визначення та реалізації попереджувальні заходи, зокрема: широке впровадження басейнових принципів управління навколишнім середовищем, застосування сучасних технологій для зниження кількості викидів в атмосферне повітря вуглекислого газу та полютантів, зменшення площі ріллі і збільшення природних угідь, застосування альтернативних джерел енергії та технологій енергозабезпечення, впровадження адаптивних технології і заходів до неконтрольованих кліматичних змін у різні сфери економічної діяльності тощо.

Збільшення антропогенного навантаження знижує рівень стійкості навколишнього природного середовища, що приводить до проявів кліматичних змін. Особливо негативні прояви антропогенно-кліматичних змін фіксуються в зоні Степу [11, 12]. Значно знизився рівень забезпеченості водними ресурсами та їх якість [13, 14], на 60% знищена природна гідромережа малих та середніх річок [15, 16], зросла частота посух [17, 18] та проявів ерозійних процесів, погіршився стан земельних ресурсів [19–21], що привело до зниження врожаю сільськогосподарських культур [22, 23]. З метою підвищення рівня ефективності господарювання в аграрній сфері економіки необхідно обґрунтувати природоохоронні заходи щодо відновлення та раціонального використання природних ресурсів, забезпечити реалізацію принципів сталого природокористування з ураховуванням просторово-часових закономірностей змін клімату та біокліматичного потенціалу території. Зокрема, внутрішня цілісність заключної частини голоцени (субатлантичний період) дозволяє поширити усереднені кліматичні дані інструментального періоду на 2800 років назад [24], що забезпечує можливість здійснити історичну реконструкцію кліматично-обумовлених змін та прогноз умов функціонування екосистем. Аналіз наявних джерел показав, що питання вивчення, ретроспективного аналізу, моделювання та прогнозування багаторічних змін клімату та біокліматичного потенціалу з метою розробки та ведення нових адаптаційних заходів на різних рівнях господарювання залишаються актуальними і недостатньо дослідженими.

Мета дослідження – встановити просторово-часові закономірності змін та здійснити прогноз кліматичних умов у зоні Степу України.

Матеріали і методи досліджень. У дослідженні використані фактичні значення приземної температури повітря (Т, °С) та суми атмосферних опадів (Р, мм) по даним станції Херсон (широта – 46°37′41″; довгота – 32°35′5″) за 75 років (1945–2019 рр.). Кліматичні норми за період спостережень склали: $\overline{T} = 9{,}8\ ^{\circ}C$; $\overline{P} = 415$ мм. Ці параметри характеризують ретроспективно-циклічні зміни кліматичних умов в зоні Степу України.

Для ретроспективного аналізу, визначення часових закономірностей формування кліматичних умов та оцінки різнорідності часових періодів, у роботі використано такі методи дослідження: описової статистики, регресійного аналізу та перетворення змінних (метод різницевих інтегральних кривих модульних коефіцієнтів, рівень забезпеченості). З метою визначення циклічних складових та виявлення найбільших значень періодограми формування часових рядів використано метод одномірного аналізу Фур'є. Для оцінки ймовірності інерції клімату використано метод ланцюгів Маркова [25]. Імовірність повторень періодів із відповідними умовами кліматичних змін (H-жаркий/C-холодний, D-сухий/W-вологий) розраховано методами Габріеля та Ноймана [11, 25]. Аномальні прояви змін кліматичних умов визначені за величиною щорічних середньоквадратичних відхилень від значення середньої багаторічної норми: $T, P \geq \pm 2\sigma$ – сильні аномалії і $T, P \geq \pm 2\sigma$ – дуже сильні аномалії.

Ретроспективне дослідження та прогнозування змін кліматичних умов здійснено із урахуванням основних складових часових процесів за формулою:

$$T_t, P_t = Tr_t + S_t + C_t + \varepsilon_t, \qquad (1)$$

де T_t, P_t – вхідні дані параметрів кліматичних змін; Tr_t – відгук трендової складової; S_t – відгук сезонної складової; C_t – відгук середньорічної циклічної складової; ε_{t-n} – відгук імовірнісної стохастичної або нерегульованої компоненти зміни кліматичних умов.

Для прогнозування змін кліматичних умов використано адаптивний метод аналізу часових рядів Хольта-Уінтерса (трьохпараметричне експоненціальне згладжування) [26], який враховує закономірності ретроспективних кліматичних змін, в тому числі циклічну та трендову складову:

$$\begin{cases} L_t = \dfrac{\alpha Y_t}{C_{t-s}} + (1-\alpha)(L_{(t-1)} + T_{t-1}) \\ T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \\ C_t = \gamma \dfrac{Y_t}{L_t} + (1-\gamma)S_{t-c} \\ \hat{Y}_{t+p} = (L_t + pT_t)C_{t-c+p} \end{cases} \qquad (2)$$

де Y_t – ретроспективні значення параметрів клімату (температури повітря, атмосферні опади); L_t – вплив ретроспективних значень на проноз $t+n$; T_t – трен-

дова складова; C_t – циклічна складова $t+n$; $\hat{Y}_{t+p}$ – значення прогнозу параметрів клімату (температури повітря, атмосферні опади).

Для просторово-часового аналізу та прогнозування кліматичних умов в зоні Степу України використано робочі модулі Time series and forecasting (TSF) ліцензованого програмного продукту STATISTICA 10.0. та ArcGIS 10.1. Просторові моделі диференціації значень кліматичних визначалися на основі екстраполяції декомпозицій загальнодоступних даних *CliWare* [27] із застосуванням методі радіально-базисної функції та додаткових даних 47 метеостанцій.

Виклад основного матеріалу. Екстенсивне використання земельних ресурсів в зоні Степу призвело до дисбалансу природного стану родючості ґрунтів, значного погіршення їх родючості, порушення екологічної рівноваги навколишнього середовища, зниження ефективності та швидкості природних ґрунтотворних процесів, збільшення енергетичних витрат на нестабільних урожаї сільськогосподарських культур [19–21, 22, 23]. Зокрема, негативні екологічні процеси підсилюються кліматичними змінами і спричиняють великомасштабні прояви вітрової ерозії, засолення та осолонцювання степових ґрунтів, що підтверджує актуальність детального ретроспективного вивчення змін клімату та його прогнозування як основи для розробки адаптивно-циклічних природоохоронних заходів. Ці заходи повинні враховувати зональні та внутрішньозональні відмінності зміни ландшафтів, які обумовлені різними факторами їх диференціації, зокрема, у північних частинах, де опади перевищують величину випаровуваності, це термічний фактор; у південних – фактор зволоження.

Дослідженнями встановлено, що у зоні Степу України за останні 75 років відбулося значне тренд-циклічне підвищення середньорічної температури повітря, асинхронне зменшення суми річних опадів та значний їх нерівномірний сезонний розподіл. Циклічні складові багаторічного формування кліматичних показників склали: температури повітря – 8 років, сума опадів – 11 років. Останні 20 років (рис. 1:1-*а*) визначені як найбільш екстремальним періодом за частотою аномальних кліматичних проявів, які збільшилися у 3 рази (з 23% до 70%), що спричинило зростання температурного режиму за циклічно-поліноміальною закономірністю ($R=0,93$, $R^2=0,86$) і призвело до зростання середньорічної температури повітря в період 1945–2019 рр. на 3,5°С із середньою швидкістю зростання 0,047°С на рік. В період 1998–2019 рр. (рис. 1:1-*б*) фіксується систематичне перевищення багаторічної норми на 0,7–2,5°С і більше. В результаті побудови інтегральної кривої (рис. 1:1-*в*) визначено два основні періоди формування температурного режиму: перший період (1945–1997 рр.) – циклічно-стабільний температурний режим, без вираженого тренду, варіація середньорічної температури повітря становила від 7,2°С до 10,9°С, за норми 9,0°С; другий період (1998–2019 рр.) – стабільне тренд-циклічне підвищення температурного режиму, варіація середньорічної температури повітря становила від 9,6°С до 12,2°С, за норми 11,1°С. За весь період спостереження рівень варіації температурного режиму склав 12,7%, зокрема, зафіксовано 20% (15 років) аномально жарких років із середньорічною температурою 10,8°С і більше та 16% (12 років) аномально холодних років із середньорічною температурою менше 8,4°С.

Зміни температурного режиму фіксується впродовж усіх сезонів, найбільші зміни спостерігаються у літній та осінній періоди. За останні 20 років спостережень середня температура повітря в літній період (VI-VIII місяць) підвищилася від 20,5°С до 24,5°С із незначним рівнем сезонної варіації в 6,0%, в осінній період зафіксовано підвищення температури від 9,5°С до 12,5°С із рівнем варіації 12,7%. Зимовий період характеризується значною варіацією в 25,0% та незначним висхідним трендом у зміні температурного режиму, середнє значення якого підвищилося від -1,5°С до 0°С. Восени температура повітря за 20 років в середньому підвищилася з 10,0°С до 12,0°С з рівнем варіації 15,6%. Порівняльна характеристика помісячних змін мінімальних і максимальних значень представлено на рисунку 2*а* – періоди 1945–1997 рр. та рисунку 2*б* – період 1998–2019 рр. Середньомісячні зміни температурного режиму за два часових зрізи представлено на рисунку 2*д*.

В результаті просторового моделювання встановлені зональні закономірності кліматичних передумов диференціації функціонування степових ґрунтів. Визначено, що середнє значення температури повітря за 1990–2019 рр. в зоні Степу України змінюється у напрямку з півночі на південь за вегетаційний період від 16,1 до 19,4°С (рис. 3*а*), середньорічне значення становить в межах 7,4–11,5°С (рис. 3*б*). Найбільше значення температури повітря фіксується у південній частині зони Степу.

Зонально-кліматичні зміни функціонування ґрунтів підпорядковується принципу лімітуючого фактору, тобто від речовини, концентрація якої є мінімальною, залежить біопродуктивних потенціал ґрунтів, ріст рослин, величина і сталість їх урожаю. В зоні Степу лімітуючим фактором є зволоження. Зокрема, фонові характеристики зональних змін тепло- і вологозабезпечення обумовлюють специфіку і багаторічну ритмічність умов сільськогосподарського виробництва.

Циклічність змін атмосферних опадів у зоні Степу находиться у асинхронній закономірності змін відносно температурного режиму. В період 1945–2019 рр. сума річних атмосферних опадів змінювалась в межах 186-778 мм (рис. 1:2-*а*) із рівнем варіації 27,2%. З 1945 до 1977 року фіксується стабільне тренд-циклічне збільшення суми атмосферних опадів від 186 мм до 600 мм, цей період характери-

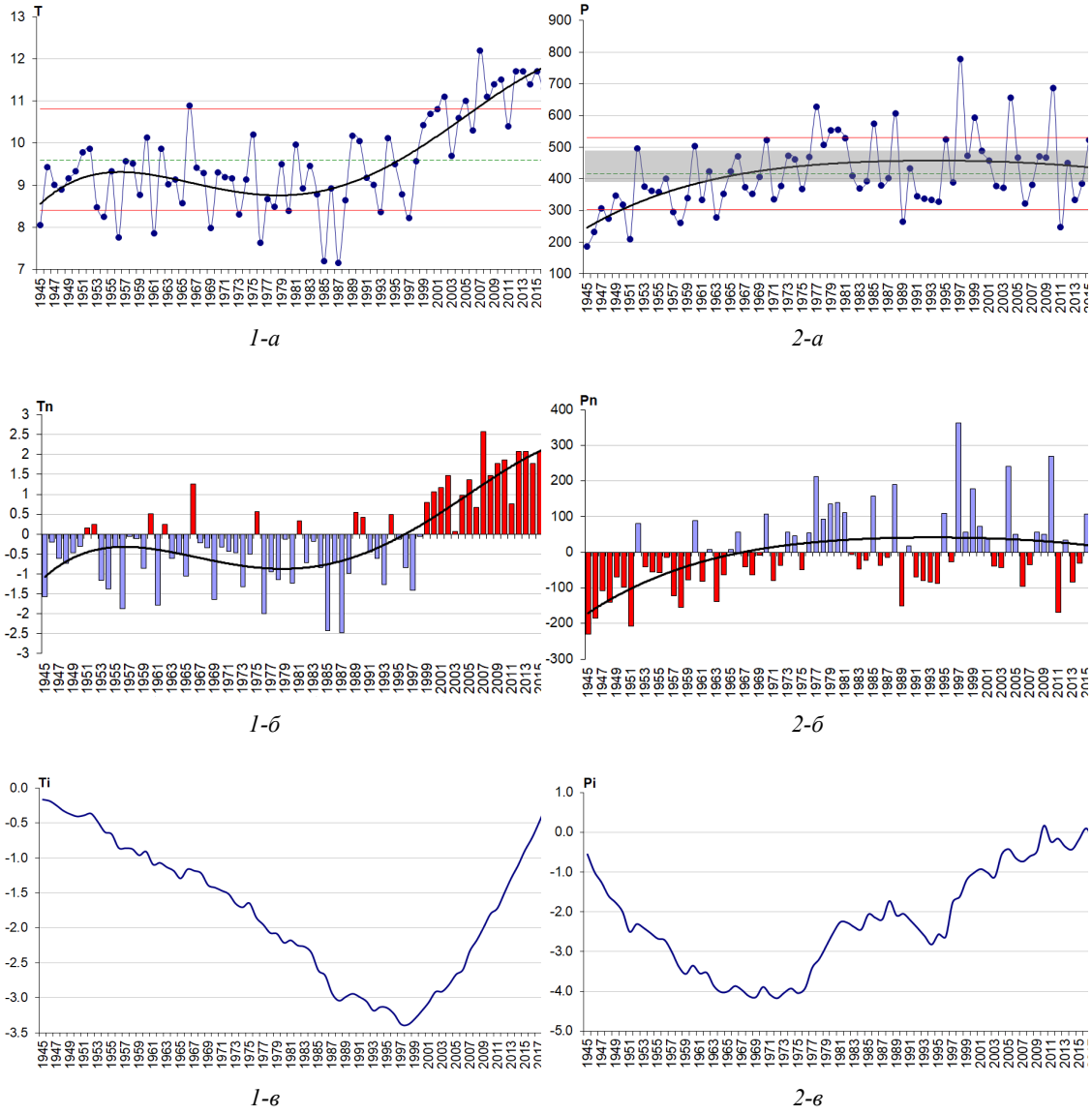


Рис. 1. Характеристика багаторічних змін клімату в зоні Степу України в період 1945–2019 рр.: 1 – температура повітря (T, °C); 2 – атмосферні опади (P, мм); а – багаторічна динаміка; б – відхилення відносно багаторічної норми (T_n, P_n); в – інтегральні криві (T_i, P_i)

зується найбільшою кількістю років (23 роки) із надходженням суми річних опадів менше багаторічної норми (рис. 1:2-*б*). Далі зафіксований другий період 1978–1996 рр. із зниженням суми річних опадів від 600 мм до 310 мм. Третій період (1997–2019 рр.), характеризується від'ємним трендом та значними стохастичними змінами у варіації природного вологозабезпечення, аномальними проявами зливового характеру та непродуктивними опадами, які призводять до збільшення частоти прояву у зимово-весінній період ерозії ґрунтів та підтоплень територій, у вегетаційний період до дефіциту та нерівномірного розподілу вологи. Збільшення суми атмосферних опадів на початку третього періоду до 650–780 мм відзначається їх подальшим зменшенням на 40% – до 500–300 мм. Три періоди змін атмосферних опадів добре зафіксовані на інтегральній кривій (рис. 1:2-*в*). За період 1945–2019 рр. зафіксовано 38 років (50.7%) із сухими умовами (< 400 мм) природного вологозабезпечення (рис. 1:2-*г*), 21 рік (28,0%) із середніми (400–500 мм) та 16 років (21,3%) вологими умовами. Зокрема, зафіксовано 12,0% (9 років) аномально сухих років із надходженням атмосферних опадів менше 300 мм на рік та 13,3% (10 років) аномально вологих років із сумою опадів на рік більше 530 мм. В результаті досліджень для зони Степу встановлено міцну зворотною експоненціальну залежність (r = -0,94) зміни кількості днів із суховіями від зміни суми атмосферних опадів на рік, функція має вигляд: $y = 1500{,}2\exp(-0{,}009P)$, $r^2 = 0{,}88$. Також встановлена зворотно-лінійна залежність (r = -0,76) збільшення кількості днів з відносною вологістю повітря 30%

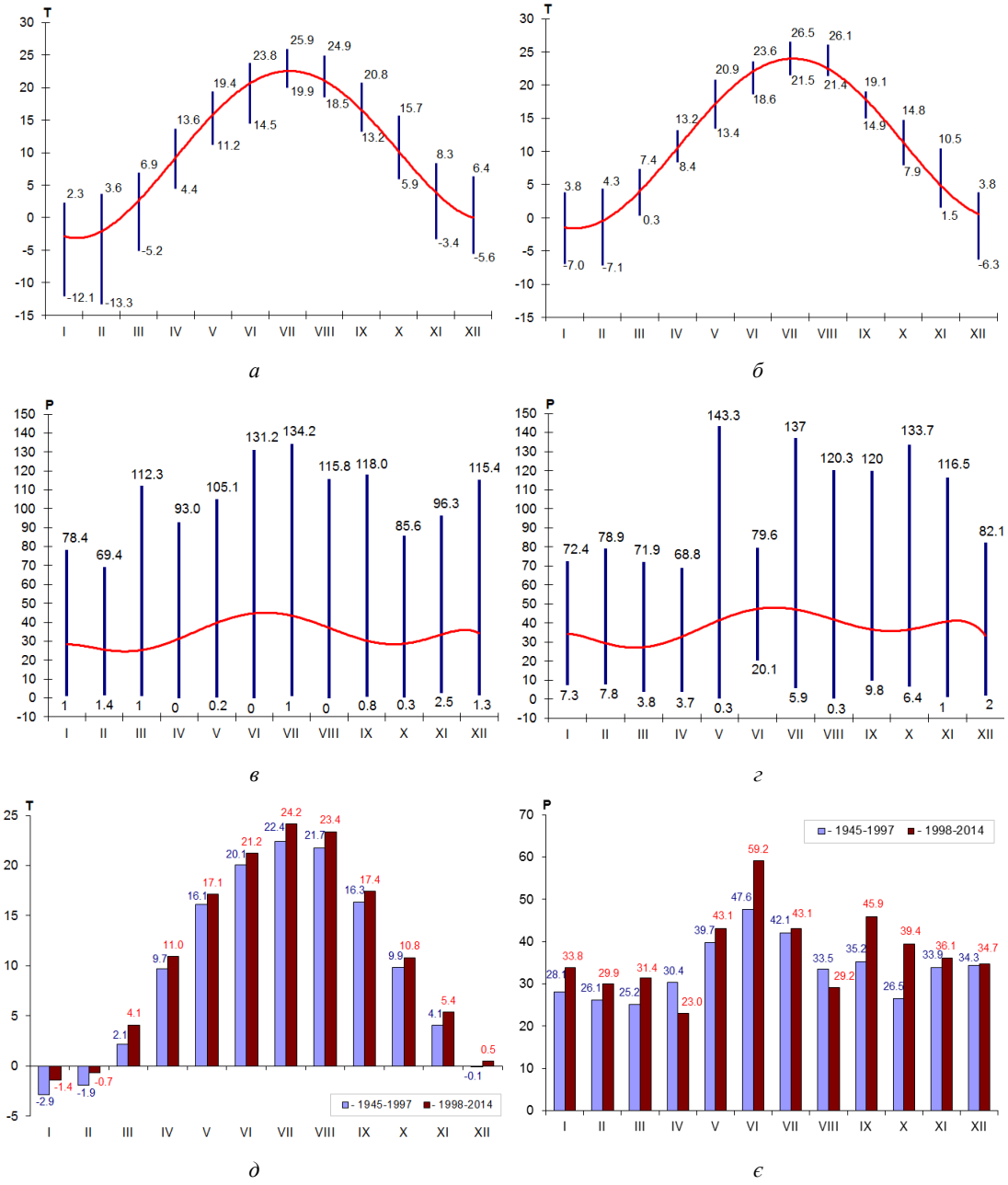
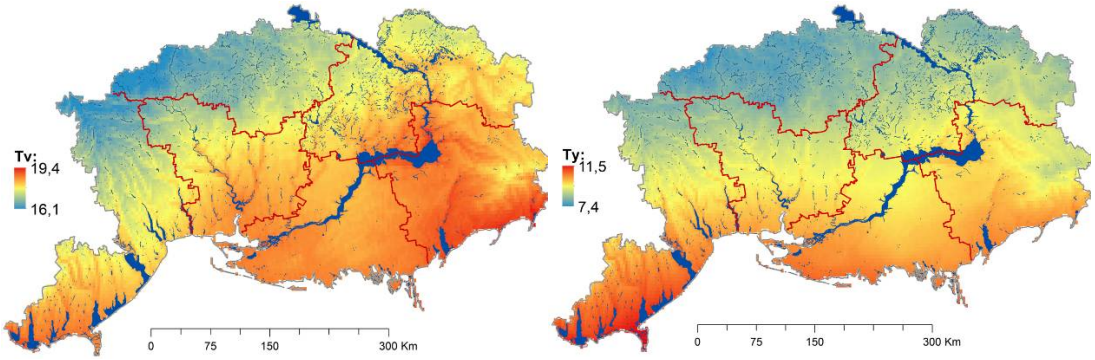


Рис. 2. Порівняльна характеристики сезонних зміни кліматичних умов в зоні Степу України за двома часовими зрізами: варіація зміни температури повітря, Т, °С (а – 1945–1997 рр.; б – 1998–2019 рр.); варіація зміни атмосферних опадів, Р, мм (в – 1945–1997 рр.; г – 1998–2019 рр.); д – зміна середньомісячної норми температури повітря; є – зміна щомісячних значень атмосферних опадів

від зменшення суми річних атмосферних опадів: $y = -0{,}1649P + 124{,}4$, $r^2 = 0{,}58$.

У порівняні із першим (1945–1997 рр.) в другому періоді (1998–2019 рр.) спостерігається збільшення середнього значення суми атмосферних опадів майже по всім місяцям (рис. 2*є*), переважно це обумовлено підвищенням мінімально можливого надходження атмосферних опадів (рис. 2*г*), збільшення частоти опадів зливового характеру у весняно-літній період від 15% до 30%, що обумовлює значне зниження їх продуктивності, підвищення грунтово-ерозійних процесів та збільшення ризику змиву із полів посівів сільськогосподарських культур, порушення транспіраційних процесів та підвищення випаровуваності вологи в літньо-осінній період.

Просторова диференціація суми вегетаційних атмосферних опадів на території зони Степу України за 1990–2019 рр. варіювало з південної до північної частини від 182 мм до 382 мм (рис. 4*а*), за рік сума атмосферних опадів змінюється від 321 мм до 607 мм (рис. 4*б*). Найбільше значення атмосферних опадів фіксується у північно-західній і північно-східних частинах зони Степу.



a *b*

Просторова функція розподілу значень *Tv*:

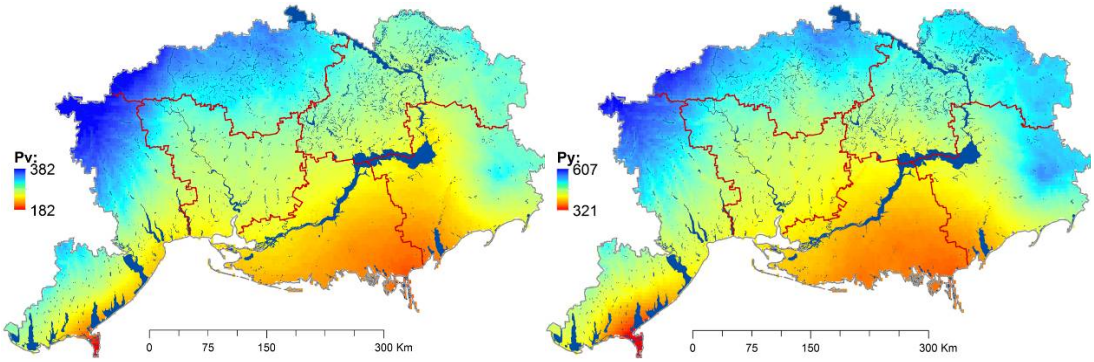
$$Tv = -23{,}271 - 2{,}904x - 0{,}036x^2 + 4{,}215y - 0{,}091y^2 + 0{,}115xy,\ r^2 = 0{,}79$$

Просторова функція розподілу значень *Ty:*

$$Ty = 148{,}909 - 2{,}604x - 0{,}021x^2 - 3{,}215y - 0{,}006y^2 + 0{,}086xy,\ r^2 = 0{,}91$$

де, x – довгота, десяткові градуси, y – широта, десяткові градуси

Рис. 3. Просторова диференціація температури повітря на території зони Степу України за 1990–2019 рр.: а – середньо вегетаційне значення (Tv, °C); б – середньорічне значення (Ty, °C)



a *b*

Просторова функція розподілу значень *Pv*

$$Pv = -4218{,}089 - 84{,}729x + 3{,}475x^2 + 221{,}238y - 0{,}875y^2 - 3{,}219xy,\ r^2 = 0{,}78$$

Просторова функція розподілу значень *Pv*

$$Py = -7728{,}96 - 249{,}927x + 5{,}848x^2 + 473{,}386y - 3{,}429y^2 - 2{,}985xy,\ r^2 = 0{,}85$$

де, x – довгота, десяткові градуси, y – широта, десяткові градуси

Рис. 4. Просторова диференціація опадів (P, мм) на території зони Степу України за 1990–2019 рр.: а – сума вегетаційних опадів (Pv, мм); б – сума річних опадів (Py, мм)

Використання ланцюгів Маркова дозволяє визначити ймовірність річної інерції кліматичних параметрів на основі даних 1945–2019 рр. Так, ймовірність повторення температури повітря більшої за багаторічну норму склала $P_T = 0{,}64$, суми атмосферних опадів за рік $P_P = 0{,}45$. Інерційна ймовірність повторення спекотних (H) років становить $P_{H1} = 0{,}58$, спекотних років після холодних $P_{H2} = 0{,}72$. Таким чином, ймовірність того, що за спекотним роком настане холодний (C) $P_{C1} = 0{,}48$ і аналогічно ймовірність того, що за одним холодним роком буде холодний рік $P_{C2} = 0{,}36$. Інерційна можливість повторення вологих (W) років склала $P_{W1} = 0{,}46$, вологих років після сухих $P_{W2} = 0{,}43$. Ймовірність того, що за вологим роком настане сухий (D) $P_{D1} = 0{,}58$ і аналогічно ймовірність того, що за одним сухим роком буде сухий рік $P_{D2} = 0{,}62$.

Імовірність спекотних і дощових періодів у *t* років дорівнює ймовірності холодних і сухих років відповідно, що повторюються кожні (t+1) років, тобто [25]:

$$P_{S(H;W)} = (1 - p_1)p_1^{t-1}$$
$$P_{S(C;D)} = p_2(1 - p_2)^{t-1}. \quad (3)$$

Отже, ймовірність однорічного ізольованого спекотного року дорівнює $0{,}52\,p_1^{1-1}$, ймовірності трирічного спекотного періоду дорівнює 0,12,

а п'ятирічного – 0,03. Імовірність холодних періодів такої самої тривалості дорівнює 0,60, 0,10, 0,02 відповідно. Ймовірність однорічного ізольованого вологого року дорівнює $0{,}50p_1^{1-1}$, ймовірність трирічного вологого періоду дорівнює 0,12, п'ятирічного – 0,03. Імовірність сухих періодів такої самої тривалості дорівнює 0,60, 0,13, 0,04 відповідно. Ланцюги Маркова, побудовані на основі метеорологічних даних спостережень, доводять, що спекотні періоди тривалістю в 3-5 років вірогідніші, ніж такі ж холодні періоди, а періоди без дощу тривалістю 3-5 років вірогідніший за періоди з дощем. Це вказує на підвищення середньорічної температури повітря та зниження суми річних опадів у зоні Степу України.

В результаті моделювання динаміки клімату (Т – температури повітря, Р – атмосферні опади) в зоні Степу (рис. 5) створені прогнозні моделі виду:

$$\hat{T}_{t+n}=\left(\left(\frac{0{,}15T_t}{S_{t-9}}+0{,}85(L_{(t-1)}+Tr_{t-1})\right)+\mathrm{n}(0{,}1(L_t-L_{t-1})+0{,}9Tr_{t-1})\right)\cdot\left(0{,}15\frac{T_t}{L_t}+0{,}85S_{t-9}\right)_{t-9+n} \quad (4)$$

$$\hat{P}_{t+n}=\left(\left(\frac{0{,}3P_t}{S_{t-11}}+0{,}7(L_{(t-1)}+Tr_{t-1})\right)+\mathrm{n}(0{,}1(L_t-L_{t-1})+0{,}9Tr_{t-1})\right)\cdot\left(0{,}1\frac{P_t}{L_t}+0{,}9S_{t-11}\right)_{t-11+n} \quad (5)$$

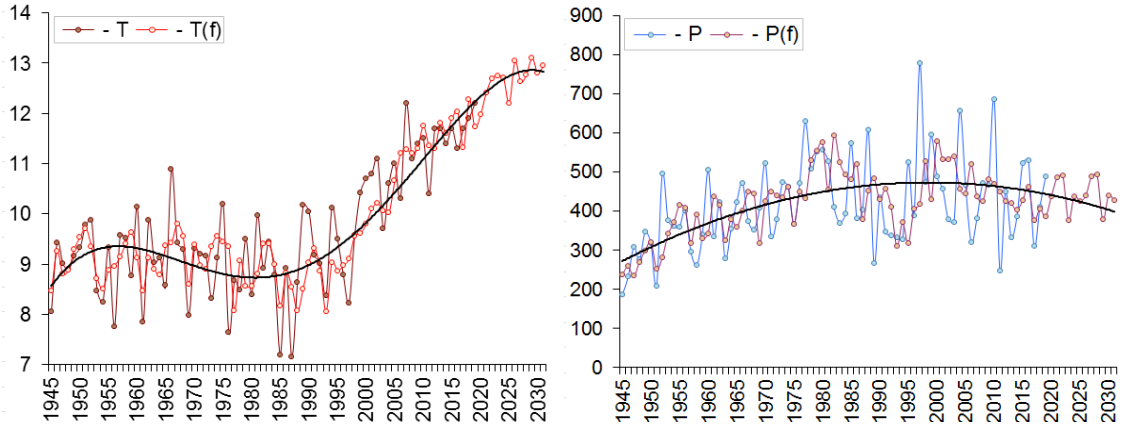
де L_t – вплив ретроспективних даних формування клімату на прогнозний період $t+n$; Tr_t – відгук трендової складової; S_t – відгук сезонної складової на прогнозний період $t+n$; n=10 років.

Похибка моделей для прогнозування кліматичних показників складає: температури повітря – 7%, атмосферні опади – 20%.

Визначено, що при збережені тенденції формування кліматичних умов, із ймовірністю в 93% буде відбуватися стабільне тренд-циклічне підвищення середньорічного значення температури повітря на 0,06°С в рік і може становити до 2030 року 12,9±0,2°С (рис. 5*а*), із ймовірністю 80% прогнозується тренд-циклічне зменшення суми річних опадів на 62,0мм в рік і до 2030 року може становити 427±50мм (рис. 5*б*).

Ретроспективний аналіз та результати прогнозування кліматичних параметрів, підтверджують значні прояви кліматичних змін та асинхронну залежність підвищення температури повітря на зменшення випадань атмосферних опадів. Зокрема, недостатнє зволоження в умовах зони Степу та потреба збільшення врожаїв стимулювали розвиток зрошуваного землеробства. Інтенсивне землеробство на зрошуваних землях із використанням застарілої техніки та технології привело до незворотних процесів погіршення їх еколого-меліоративного стану, підтоплення, засолення та осолонцювання, понаднормове зрошення обумовило профільну деградацію ґрунтів, надмірне використання поверхневих водних ресурсів та зміни гідрологічного режиму річок.

Головні висновки. В результаті ретроспективного аналізу та прогнозування встановлені просторово-часові закономірності змін клімату у зоні Степу України. Останні 20 років визначено як найбільш екстремальний період за частотою аномальних кліматичних проявів, які збільшилися у 3 рази (з 23% до 70%). Встановлено, що середньорічна температура повітря в період 1945–2019 рр. збільшилася на 3,5°С. Сума річних атмосферних опадів змінювалась в межах 186–778 мм із рівнем варіації 27,2%, в останні 20 років визначено їх зменшення на 40% – до 500–300 мм. З використанням ланцюгів Маркова встановлено ймовірність річної інерції кліматичних параметрів, доведено, що інерційна ймовірність повторення спекотних років оцінена в 0,58, а можливість повторення вологих років в 0,46. Це вказує на циклічне підвищення середньорічної температури повітря та зниження суми річних опадів у зоні Степу



а *б*

Рис. 5. Динаміка та прогноз кліматичних змін в зоні Степу України до 2030 року: а – середньорічна температура повітря (фактичні значення, Т, °С; розрахункові значення та прогноз, Т(f), °С); б – сума річних атмосферних опадів (фактичні значення, Р, мм; розрахункові значення та прогноз, Р(f), мм)

України. В результаті прогнозування визначено, що при збережені тенденції формування кліматичних умов, із ймовірністю в 93%, буде відбуватися стабільне тренд-циклічне підвищення середньорічного значення температури повітря на 0,06°С в рік і може становити до 2030 року 12,9±0,2°С, із ймовірністю 80% прогнозується тренд-циклічне зменшення суми річних опадів на 62,0мм в рік і може становити до 2030 року 427±50мм. Одержані результати підтверджують значні кліматичні зміни в зоні Степу України, погіршення умов сільськогосподарського виробництва, зниження урожаю, самовідновлюваної та саморегулюючої функції степових ґрунтів, погіршення гідрологічного режиму ручок. Представлені результати ретроспективного аналізу та прогнозування змін клімату повинні стати основою для розробки та ведення нових адаптивно-кліматичних заходів на різних рівнях господарювання.

Література

1. Wang Q.J., Shao Y., Song Y., Schepen A., Robertson D.E., Ryu D., Pappenbergerd F. An evaluation of ECMWF SEAS5 seasonal climate forecasts for Australia using a new forecast calibration algorithm. *Environmental Modelling & Software.* 2019. Vol. 122. 104550. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104550
2. Felice M.D., Soares M.B., Alessandri A., Troccoli A. Scoping the potential usefulness of seasonal climate forecasts for solar power management. *Renewable Energy.* 2019. Vol. 142. P. 215–223. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.134
3. Dikshit A., Pradhan B., Alamri A.M. Long lead time drought forecasting using lagged climate variables and a stacked long short-term memory model. *Science of the Total Environment.* 2021. Vol. 755 (2). 142638. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142638
4. Zhang H., Huo S., Yeager K.M., Li C., Xi B., Zhang J., He Z., Ma C. Apparent relationships between anthropogenic factors and climate change indicators and POPs deposition in a lacustrine system. *Journal of Environmental Sciences.* 2019. Vol. 83. P. 174–182. https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.03.024
5. Christidis N., Stott P.A. The influence of anthropogenic climate change on wet and dry summers in Europe. *Science Bulletin.* 2021. https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.01.020
6. Paraschiv S., Paraschiv L.S. Trends of carbon dioxide (CO_2) emissions from fossil fuels combustion (coal, gas and oil) in the EU member states from 1960 to 2018. *Energy Reports.* 2020. Vol. 6. P. 237–242. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.116
7. Sorokhtin O.G., Chilingar G.V., Sorokhtin N.O. Adiabatic Theory of the Greenhouse Effect. *Developments in Earth and Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10. P. 469–498. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53757-7.00013-1
8. Chaudhuri A.H., Gangopadhyay A., Bisagni J.J. Interannual variability of Gulf Stream warm-core rings in response to the North Atlantic Oscillation. *Continental Shelf Research.* 2009. Vol. 29 (7). P. 856–869. https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.01.008
9. Weiser J., Titschack J., Kienast M., McCave I.N., Lochte A.A., Saini J., Stein R., Hebbeln D. Atlantic water inflow to Labrador Sea and its interaction with ice sheet dynamics during the Holocene. *Quaternary Science Reviews.* 2021. Vol. 256. 106833. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106833
10. Lisetskii F., Chepelev O. Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology.* 2014. Vol. 8(4). P. 996–1000.
11. Lisetskii F., Pichura V. Steppe Ecosystem Functioning of East European Plain under Age-Long Climatic Change Influence. *Indian Journal of Science and Technology.* 2016. Vol. 9(18). P. 1–9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93780
12. Dudiak N.V., Potravka L.A., Stroganov A.A. Soil and climatic bonitation of agricultural lands of the steppe zone of Ukraine. *Indian Journal of Ecology.* 2019. Vol. 46(3). P. 534–540.
13. Pichura V.I., Malchykova D.S., Ukrainskij P.A., Shakhman I.A., Bystriantseva A.N. Anthropogenic transformation of hydrological regime of the Dnieper river. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(3). P. 445–453.
14. Pichura V.I., Potravka L.A., Skrypchuk P.M., Stratichuk N.V. Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering.* 2020. Vol. 21 (4). P. 1–10. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/119521
15. Oti J.O., Kabo-Bah A.T., Ofosu E. Hydrologic response to climate change in the Densu River Basin in Ghana. *Heliyon.* 2020. Vol. 6(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04722
16. Lisetskii F. Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. *Geosciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11(2). P. 1–6.
17. Assan E., Suvedi M., Olabisi L.S., Bansah K.J. Climate change perceptions and challenges to adaptation among smallholder farmers in semi-arid Ghana: A gender analysis. Journal of Arid Environments. 2020. Vol. 182. 104247. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104247
18. Ukrainskiy P., Terekhin E., Gusarov A., Lisetskii F. Zelenskaya E. The influence of relief on the density of light-forest trees within the small-dry-valley network of uplands in the forest-steppe zone of eastern Europe. *Geosciences (Switzerland).* 2020. Vol. 10(11). P. 1–18.
19. Breus D., Yevtushenko O., Skok S., Rutta O. Retrospective studies of soil fertility change on the example of the Kherson region (Ukraine). International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2019. Vol. 19(5.1). P. 645–652.
20. Dudiak N.V., Pichura V.I., Potravka L.A., Stratichuk N.V. Geomodelling of destruction of soils of Ukrainian steppe due to water erosion. *Journal of Ecological Engineering.* 2019. Vol. 20(8). P. 192–198. https://doi.org/10.12911/22998993/110789
21. Dudiak N.V., Pichura V.I., Potravka L.A., Stroganov A.A. Spatial modeling of the effects of deflation destruction of the steppe soils of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering.* 2020. Vol. 21(2). P. 166–177. https://doi.org/10.12911/22998993/116321
22. Domaratskiy E.O., Bazaliy V.V., Domaratskiy O.O., Dobrovolskiy A.V., Kyrychenko N.V., Kozlova O.P. Influence of mineral nutrition and combined growth regulating chemical on nutrient status of sunflower. *Indian Journal of Ecology.* 2018. Vol. 45(1). P. 126–129.

23. Domaratskiy Ye., Bazaliy V., Dobrovol'skiy A., Pichura V., Kozlova O. 2022. Influence of Eco-Safe Growth-Regulating Substances on the Phytosanitary State of Agrocenoses of Wheat Varieties of Various Types of Development in Non-Irrigated Conditions of the Steppe Zone. *Journal of Ecological Engineering.* 2022. Vol. 23(8). P. 299–308.
24. Ivanov I.V., Lisetskiy F.N. Correlation of soil formation rhythms with periodicity of solar activity over the last 5000 years. Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. *Earth science sections.* 1996. Vol. 340(1). P. 189–194.
25. Sumner G. Mathematics of Physical Geographers. Moscow: Progress, 1981. 297 p.
26. Anderson T. Statistical analysis of time series. Moscow: Nauka, 1976. 343 p.
27. The system of servicing hydrometeorological information of CliWare. URL: http://cliware.meteo.ru/meteo/index.html

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО І ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 633.8:631.529(477.4)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.19

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН РОДИНИ *LAMIACEAE MARTINOV*

Котюк Л.А.[1], **Рахметов Д.Б.**[2], **Іващенко І.В.**[1]
[1]Поліський національний університет
Старий Бульвар, 7, 10008, м. Житомир
[2]Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національно академії наук України
вул. Тімірязєвська, 1, 01014, м. Київ
kotyuk-la@ukr.net, kalateja@ukr.net, rjb2000.16@gmail.com

Ароматичні рослини родини Губоцвіті (*Lamiaceae Martinov*) містять комплекс біологічно активних сполук, яким характерна різнобічна фармакологічна активність й низька токсичність. Використання ароматичних рослин базується на їх насиченості вітамінами, дубильними речовинами, ефірними оліями. Рослинну сировину для досліджень зібрано із дослідних ділянок ботанічного саду Поліського національного університету (м. Житомир). Найвищий вміст аскорбінової кислоти під час фази квітування виявлено у надземній частині *H. angustifolius* (308,9±4,8 мг%), дубильних речовин – *N. transcaucasica* (10,3±0,8%). Визначено, що у складі ефірної олії, отриманої із надземної частини рослин у фазу цвітіння синьоквіткової форми *D. moldavica* домінували гераніаль (26,2%) і нераль (22,4%); *E. cristata* – карвакрол (20,2%) і неролідол (12,2%), *S. hortensis* – карвакрол (89,1%), *L. anisatus* ′Siniy veleten′ – пулегон (59,2%) та ізоментон (14,3%), *M. didyma* – тимол (61,5%) і карвакрол (21,1%), *L. vera* – ліналоол (26,6%) і ліналілацетат (24,6%), *O. vulgare* – *α*-кадинол (14,2%), гермакрен *D* (13,8%), *N. transcaucasica* – цитронелол (39,7%) і оксицитронелаль (12,4), *S. officinalis* – віридіфлорол (44,7%) і *β*-каріофілен (23,0%), *S. sclarea* – ліналоол (65,9%) і *α*-терпінеол (19,7%), *H. angustifolius* – пінокамфон (74,0%) та пара-ментатрієн (7,4%), *H. officinalis* ′Markiz′ – пінокамфон (52,5%), ізопінокамфон (36,8%). Отримані результати експериментальних досліджень свідчать по перспективність використання фітосировини й ефірної олії інтродуцентів родини *Lamiaceae* у фармації, косметичній, харчовій і парфумерній галузях. Компоненти ефірної олії *M. didyma, S. hortensis, E. cristata* і *L. vera* зумовлюють інсектицидні та акарицидні властивості, тому можуть бути використані для отримання біопестицидів.
Ключові слова: Lamiaceae Martinov, аскорбінова кислота, дубильні речовини, ефірна олія.

Prospects of the use of aromatic plants of the *Lamiaceae Martinov* family. Kotiuk L., Rakhmetov D., Ivashchenko I.
Aromatic plants of the *Lamiaceae Martinov* family contain a complex of biologically active compounds characterized by versatile pharmacological activity and low toxicity. The use of aromatic plants is based on their saturation with vitamins, tannins, and essential oils. Plant raw materials for research were collected from experimental plots of the botanical garden of Polis National University (Zhytomyr). The highest content of ascorbic acid during the flowering phase was found in the aerial part of *H. angustifolius* (308.9±4.8 mg%), tannins – *N. transcaucasica* (10.3±0.8%). It was determined that the composition of the essential oil obtained from the aerial parts of plants during the flowering phase of the blue-flowered form of *D. moldavica* was dominated by geranial (26.2%) and neral (22.4%); *E. cristata* – carvacrol (20.2%) and nerolidol (12.2%), *S. hortensis* – carvacrol (89.1%), *L. anisatus* ′Siniy veleten′ – pulegone (59.2%) and isomenthone (14.3%), M. didyma – thymol (61.5%) and carvacrol (21.1%), *L. vera* – linalool (26.6%) and linalyl acetate (24.6%), O. vulgare – *α*-cadinol (14.2%), germacrene *D* (13.8%), *N. transcaucasica* – citronellol (39.7%) and oxycitronellal (12.4%), *S. officinalis* – viridiflorol (44.7%) and *β*-caryophyllene (23.0%), *S. sclarea* – linalool (65.9%) and *α*-terpineol (19.7%), *H. angustifolius* – pinocamphone (74.0%) and *para*-menthatriene (7,4%), *H. officinalis* ′Markiz′ – pinocamphone (52.5%), isopinocamphone (36.8%). The obtained results of experimental studies indicate the promising use of phytoraw material and essential oil of the introducers of the *Lamiaceae* family in the pharmaceutical, cosmetic, food and perfume industries. The essential oil components of *M. didyma, S. hortensis*, *E. cristata* and *L. vera* provide insecticidal and acaricidal properties, so they can be used to obtain biopesticides. *Key words: Lamiaceae Martinov,* ascorbic acid, tannins, essential oil.

Постановка проблеми. У зв'язку із діяльністю людини – вирубкою лісів, переорюванням луків, прокладанням доріг, пестицидним забрудненням ґрунтів, меліоративними заходами, неконтрольованим збором рослинної сировини, відбуваються незворотні зміни у природних екосистемах, зменшується видове різноманіття рослин, особливо із корисними властивостями. У той же час в Україні приділяється недостатня увага введенню в культуру нових нетрадиційних видів рослин, які є джерелом біологічно активних сполук для галузей народного господарства.

Актуальність дослідження. Родина Губоцвіті *(Lamiaceae)* налічує понад 245 родів і 7886 видів, поширених на планеті, переважна більшість яких є економічно важливими [1–3]. В умовах України

поширені рослини родів *Betonica* L., *Elsholtzia* L., *Ajuga* L., *Mentha* L., *Leonurus* L., *Lamium* L., *Thymus* L., *Glechoma* L., *Salvia* L., *Galeopsis* L., *Stachys* L., *Dracocephalum* L., але промислово заготовляють переважно рослин роду *Mentha* L., *Leonurus* L., *Thymus* L., *Origanum* L. Видове різноманіття має тенденцію до зменшення, 13 видів рослин родини *Lamiaceae* занесено до Червоної книги України, 3 види – до Європейського червоного списку [4]. Тому вивчення аспектів практичного використання нових малопоширених видів рослин родини Губоцвіті відкриває значні перспективи їх використання у галузях народного господарства та спонукатиме до широкого впровадження в культуру економічно важливих видів.

Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями. Синтез біологічно активних сполук (БАС) у рослинах відбувається в умовах навколишнього середовища. Саме тому лікувальні властивості БАС, на які багаті рослини, за своєю природою близькі людському організму. Діючі речовини пряно-ароматичних рослин за хімічною будовою нагадують фізіологічно активні сполуки організму людини або продукти його життєдіяльності – метаболіти [5]. Ароматичні рослини та їх окремі частини рідше, ніж синтетичні сполуки, спричиняють ускладнення, особливо алергічні реакції, порушення властивостей організму. Перш за все вони діють комплексно такими наявними в них біологічно активними сполуками, як алкалоїди, глікозиди, флавоноїди, сапоніни, мікроелементи, рослинні гормони, вітаміни та ін. Тому препарати рослинного походження можна призначати тривалий час різними шляхами введення. До більшості з рослинних препаратів організм людини адаптований, оскільки вони часто присутні в рослинній їжі [6]. Природні біологічно активні речовини менш токсичні, тому навіть за тривалого їх застосування викликають значно менше побічних реакцій. Ароматичні рослини можуть бути джерелом напівфабрикатів для отримання складних за хімічною будовою гормональних та інших препаратів. Отримані з рослин препарати мають широкий терапевтичний спектр фармакологічної дії [7]. Використання у харчовій галузі, фармакології, парфумерії біологічно активних сполук, отриманих із рослинної сировини, забезпечить виготовлення якісних препаратів, харчових добавок, ароматизаторів, що в цілому сприятиме покращенню здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ароматичні рослини родини *Lamiaceae* є одночасно харчовими, лікарськими [8, 9], декоративними рослинами [10], вони мають високу бактерицидність [11], радіопротекторність [2], інсектицидні та протигельмінтні властивості [13], містять вітаміни, протеїни, цукри, ліпіди, амінокислоти, макро- й мікроелементи [14]. Vozhdehnazari M. S. зі співавторами (2022) [15] зазначають, що якісний і кількісний склад рослин роду *Satureja* залежить від кліматичних умов регіону зростання. Moukhfi F. зі співавторами (2022) [16] виявили антиоксидантну та антибактеріальну активність ефірної олії материнки (*Origanum vulgare)* проти трьох штамів *Salmonella* пташиного походження. Acimovic M.G. та співавтори (2022) [17] відзначають доцільність використання ефірної олії та гідролату шавлії мускатної (*Salvia sclarea*) для виготовлення косметичних засобів, післязбиральної обробки фруктів, а також у органічному сільському господарстві. Дослідженнями ряду авторів (Pouresmaeil M. et al., 2022) доведено фітотоксичну активність ефірної олії Dracocephalum moldavica L. щодо Bromus tectorum L. [18]. Abbasi N. зі співавторами (2022) [19] встановили високий потенціал протигрибкової активності ефірної олії Dracocephalum moldavica щодо *Penicillium expansum*, *Trichoderma harzianum* і *Aspergillus niger*, зазначаючи, що основними компонентами ефірної олії були геранілацетат (31–50%), гераніаль (16–27%), гераніол (12–13,4%) і нераль (10,67–17,30%). Встановлено ефективність використання компонентів ефірної олії *Hyssopus officinalis* проти лейшманіозу (Hikal & Said-Al Ahl, 2017) [20], *Origanum vulgare, Satureja hortensis* та *Hyssopus angustifolius* – проти гельмінтозів (Дубінін та ін, 2020), що зумовлено наявністю у їх складі терпенів, фенолів та нітрогеновмісних сполук, які здатні негативно впливати на функціонування покривів, процеси травлення паразитичних організмів, їх рухливість, ріст та розмноження [13].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується зазначена стаття. Рослини родини Губоцвіті синтезують біологічно активні сполуки, які у порівнянні із синтетичними сполуками, є безпечними, тому можуть бути джерелом для отримання складних за хімічною будовою гормональних, косметичних, антимікробних, пестицидних та інших препаратів. **Метою** нашої роботи є оцінка біохімічних особливостей нових малопоширених рослин родини *Lamiaceae,* культиивованих в умовах ботанічного саду Поліського національного університету, та визначення напрямів практичного використання фітосировини.

Методологічне або загальнонаукове значення. Рослини зростають на дослідних ділянках ботанічного саду Поліського національного університету (м. Житомир) упродовж 2012–2018 років. Використано посівний матеріал ароматичних рослин із різних грунтово-кліматичних зон. Досліджено різні види, сорти і форми рослин: однорічники – змієголовник молдавський *Dracocephalum moldavica* L. (форма синьоквіткова), змієголовник молдавський сорт Перлинка *Dracocephalum moldavica* L. 'Perlynka' (форма білоквіткова), ельшольція гребінчаста *Elsholzia cristata* Willd.(*E. ciliata* Thunb.), чабер садовий *Satureja hortensis* L.; дворічник – шавлія мускатна *Salvia sclarea* L.; багаторічники – гісоп лікарський *Hyssopus officinalis* L. (сорти: 'Markiz',

'Atlant', 'Vodograj'), гісоп вузьколистий *Hyssopus angustifolius* M.B., лофант ганусовий *Lophanthus anisatus* Adans (сорти 'Siniy veleten' і 'Leleka'), лаванда справжня *Lavandula vera* D.C., шавлія лікарська *Salvia officinalis* L., материнка *Origanum vulgare* L., непета закавказька *Nepeta transcaucasica* Grossh, монарда *Monarda didyma* L.

Сировину збирали у період масового квітування рослин (липень-серпень). Відбирали зразки з надземної частини п'ятнадцяти рослин, подрібнювали, перемішували їх та відбирали середню пробу. Біохімічні дослідження здійснювали у трьох повторностях. Масову частку аскорбінової кислоти встановлювали за Муррі [21]. Визначення вмісту ефірної олії здійснювали методом Клевенджера [22], дубильних речовин – за Крищенком [23]. Хроматографічний аналіз компонентного складу ефірної олії виконували на хроматографі Agilent Technologies 6890 із мас-спектрометричним детектором 5973 [24].

Виклад основного матеріалу. Цінність і продуктивність рослини значною мірою залежить від її хімічного складу. Рослинний організм містить комплекс речовин – від мінеральних до високомолекулярних органічних сполук. Основними показниками якості рослинної сировини, які характеризують їх лікарський, харчовий та технічний потенціал, є вміст аскорбінової кислоти, дубильних речовин та ефірної олії.

Аскорбінова кислота (вітамін С) – біологічно активна сполука, яку людський організм не синтезує, але отримує із продуктів харчування рослинного походження або з фітопрепаратами [25]. Цей водорозчинний вітамін забезпечує процеси обміну в клітинах, зміцнює кровоносні судини, підвищує імунітет організму. Аскорбінова кислота – один із багатьох антиоксидантів, який допомагає організму знешкоджувати вільні радикали [26].

Дослідженнями виявлено значний вміст аскорбінової кислоти в зеленій масі *H. angustifolius* (308,9±4,8 мг%), *N. transcaucasica* (238,6±5,6 мг%) і синьоквіткової форми *D. moldavica* (198,6±7,78 мг%) (табл. 1–2, рис. 1), тому їх пагони із листками й квітками доцільно використовувати в свіжозрізаному вигляді як компоненти овочевих та фруктових салатів, безалкогольних напоїв.

Рослини впродовж свого життя виробляють різноманітні речовини, які не беруть участі в обмінних процесах клітини, так звані «вторинні метаболіти». До таких сполук належать дубильні речовини. Дубильні речовини – це високомолекулярні природні фенольні сполуки (таніди і таніни), які мають виражені бактерицидні, протизапальні й кровоспинні властивості та забезпечують процеси росту й імунного захисту рослин [27].

Результати досліджень свідчать, що як однорічні, так і багаторічні ароматичні рослини родини *Lamiaceae* накопичують дубильні речовини в надземній частині, тому рослини є перспективними для виготовлення лікарських засобів з протизапальними, бактерицидними й кровоспинними властивостями. Серед однорічних інтродуцентів максимальна кількість дубильних речовин виявлена у сировині *D. moldavica* (10,3±1,3%), найменша – у *E. cristata* (4,1±0,5%). У сировині багаторічних інтродуцетів у надземній частині вміст дубильних речовин складав від 0,9±0,01 (*L. anisatus* 'Leleka') до 10,3±0,8% (*N.* transcaucasica) (див. табл. 2).

Ефірні олії є леткою сумішю біологічно активних сполук (монотерпенів, сексвітерпенів, терпеноїдів, спиртів і фенолів та ін.), які синтезують ефіроолійні рослини та зумовлюють їх аромат.

Найбільший вихід ефірної олії в перерахунку на абсолютно суху речовину встановлено у рослин *H. ngustifolius* (2,1%), *S. officinalis* (1, 2),

Таблиця 1

Вміст основних БАС у фітомасі однорічних рослин родини Lamiaceae у фазу квітування в умовах ботанічного саду Поліського національного університету

№ з/п	Вид	Вихід ефірної олії, %	Основні компоненти ефірної олії		Вміст аскорбінової кислоти, мг % на абс. суху масу	Вміст дубильних речовин, % на абс. суху масу
			Компонент	Вміст, %		
1.	D. moldavica	0,7	гераніаль нераль гераніол	26,2 22,4 16,9	198,6±7,8	10,3±1,3
2	*D. moldavica* 'Perlynka'	0,7	гераніаль нераль гераніол	21,1 18,9 16,6	174,4±4,6	10,3±0,8
3.	S. hortensis	0,8	карвакрол	89,1	45,5±1,6	7,2±0,6
4.	E. cristata	0,9	карвакрол неролідол ельшольція-кетон	20,2 12,2 10,4	141,2±1,8	4,1±0,5

Таблиця 2

Вміст основних БАС у фітомасі багаторічних рослин родини Lamiaceae у фазу квітування в умовах ботанічного саду Поліського національного університету

№ з/п	Вид	Вихід ефірної олії, %	Основні компоненти ефірної олії		Вміст аскорбінової кислоти, мг% на суху речовину	Вміст дубильних речовин, % на суху речовину
			Компонент	Вміст, %		
1.	*H. officinalis* 'Markiz'	0,8	пінокамфон ізопінокамфон	52,5 36,8	105,2±0,7	9,0±0,5
2.	*H. officinalis* 'Atlant'	1,0	пінокамфон ізопінокамфон	35,6 54,8	165,7±3,9	9,9±0,5
3.	*H. officinalis* 'Vodograj'	1,0	пінокамфон ізопінокамфон	56,4 32,8	170,1±7,8	9,7±0,5
4.	H. angustifolius	2,1	пінокамфон пара-ментатрієн	74,0 7,4	308,9±4,8	4,1±0,7
5.	*L. anisatus* 'Leleka'	1,0	пулегон ізоментон *β*-каріофіллен	60,0 12,6 5,2	44,5 ±0,4	0,9±0,01
6.	*L. anisatus* 'Siniy veleten'	1,0	пулегон ізоментон	59,2 14,3	174,1±2,5	8,1±0,8
7.	S. officinalis	1,2	вірідіфлорол *β*-каріофілен *α*-туйон	44,7 23,0 7,9	73,5±2,6	8,5±1,1
8.	S. sclarea	0,7	ліналоол α-терпінеол	65,9 19,7	104,2±9,1	4,1±0,8
9.	O. vulgare	0,2	*α*-кадінол гермакрен *D* 1,6-гермакрадієн-5-ол	14,2 13,8 11,1	38,1±1,9	8,6±1,0
10.	L. vera	1,9	ліналоол ліналілацетат *α*-кадінол	26,6 24,6 12,1	40,1±1,9	5,8±0,5
11.	N. transcaucasica	0,8	цитронелол оксицитронелаль гераніол	39,7 12,4 1,0	238,6±5,6	10,3±0,8
12.	M. didyma	1,1	тимол карвакрол 1-октен-3-ол	61,5 21,0 9,7	95,7±7,2	7,0±1,2

L. vera (1,9), *M. didyma* (1,1) і *H. officinalis* 'Atlant', 'Vodograj' (1,0%), тому для промислового використання у фармації, парфумерії й косметичній галузях доцільно віддати перевагу названим видам (див. табл. 2).

Наявність цитралю (суміші гераніалю та нералю) в ефірній олії *D. moldavica* в значній кількості (48,6%) під час цвітіння передбачає перспективність використання ефірної олії як ароматизатора харчових продуктів і косметичних засобів. Окрім того, цитраль має антисептичні та протизапальні властивості, входить до складу ліків для очей, понижує кров'яний і внутрішньочерепний тиск, тому показаний у фармації. Сербські дослідники Aćimović M. та ін. (2019) [18] повідомляють про те, що серед країн, які відомі як центри культивування ароматичних рослин (Єгипет, Іран, Туреччина), Україна займає першу позицію за показниками вмісту у складі ефірної олії рослин *Dracocephalum moldovica* нералю, цитралю і гераніолу, отже може конкурувати за якістю сировини. Гераніол, який є однією із сполук, що домінує в ефірній олії *D. moldavica* і *N. transcaucasica,* надає стійкого трояндового аромату парфумам, шампуням, лосьйонам, ополіскувачам, милу, мийним засобам і навіть льодяникам (див. табл. 1–2).

Високий вміст карвакролу в ефірній олії *S. hortensis* (89,1%), *M. didyma* (21,0%) і *E. cristata* (20,2%) забезпечує можливість виготовлення протимікробних та інсектицидних засобів (див. табл. 1–2). Важливо, що карвакрол здатний збалансовувати роботу травної та імунної систем, не завдаючи шкоди корисній мікрофлорі кишківника, тому має переваги порівняно із синтетичними засобами (рис. 2) [8].

Пінокамфон та ізопінокамфон – сполуки, що переважають в ефірній олії *H. officinalis* і *H. angustifolius,* характеризуються значною біологічною активністю,

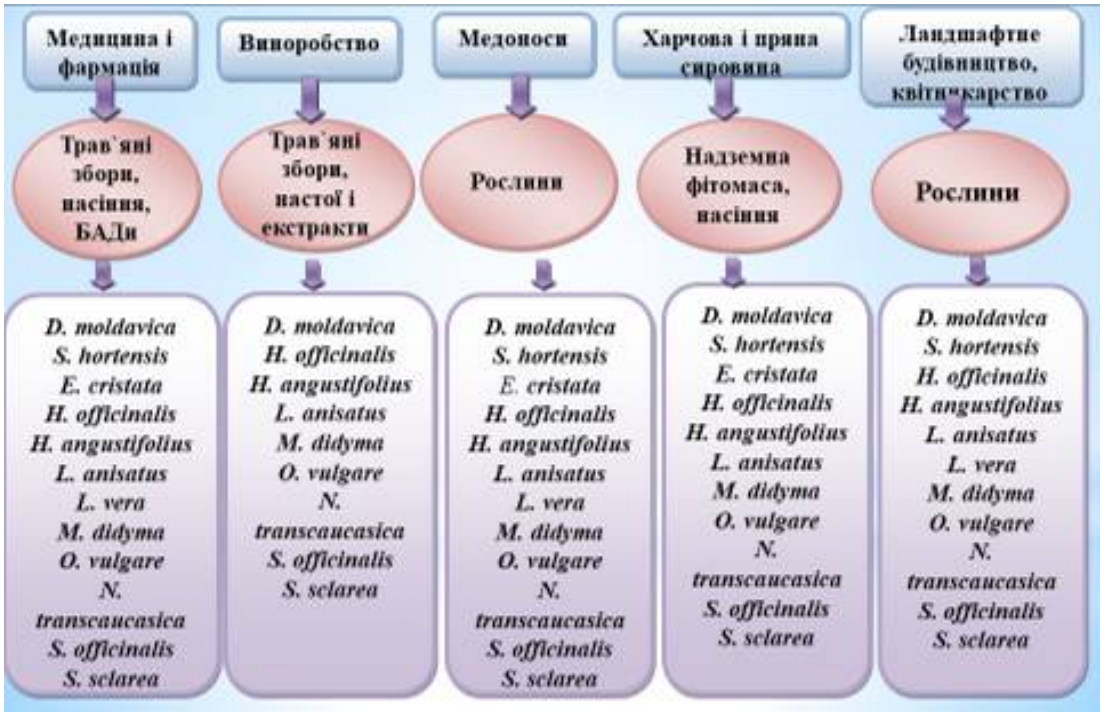


Рис. 1. Напрями використання надземної частини ароматичних рослин родини Lamiaceae, інтродукованих в Центральному Поліссі України

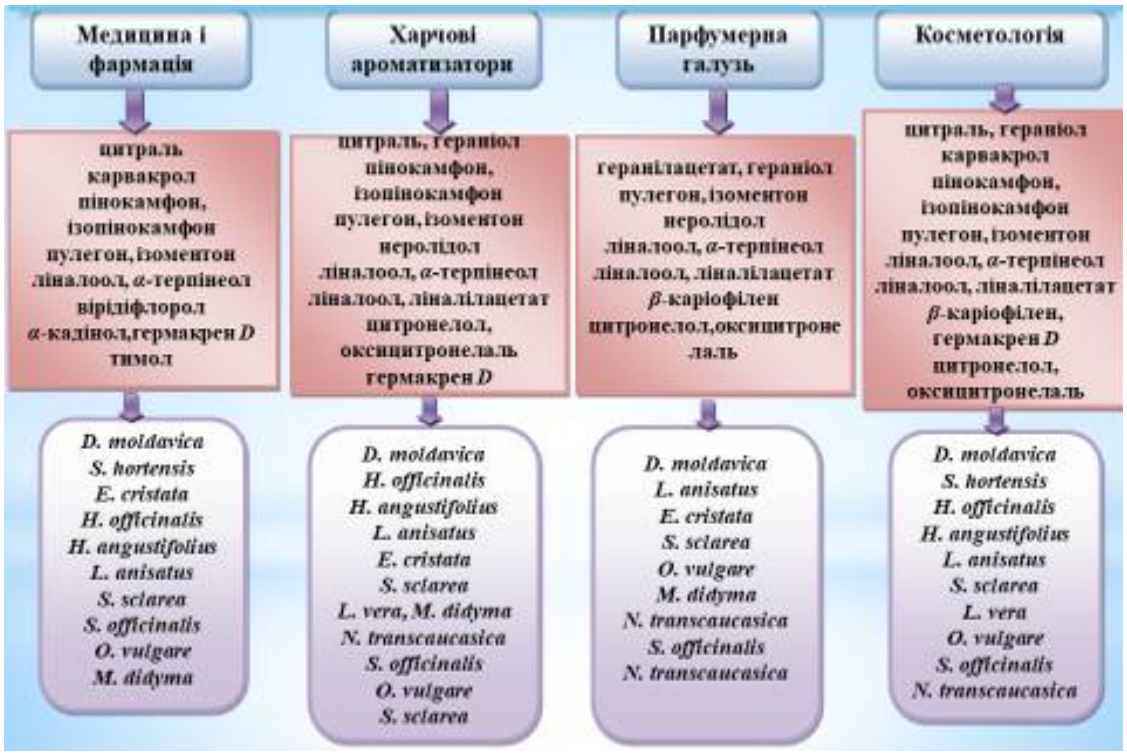


Рис. 2. Напрями використання ефірної олії ароматичних рослин родини Lamiaceae, інтродукованих в Центральному Поліссі України

забезпечуючи антисептичні, жарознижуючі, потогінні, протигельмінтні, тонізуючі, ранозагоювальні властивості. Ефірна олія гісопу має значні перспективи використання у фармацевтичній і харчовій галузях.

Сполуки, що домінують в ефірній олії *L. anisatus* – пулегон та ізоментон, не мають обмежень для застосування у фітомедицині [7], парфумерії, косметичній галузі, ароматерапії, а в харчовій галузі

показані для ароматизації безалкогольних напоїв і м'ятних цукерок.

У значній кількості в ефірній олії *S. officinalis* виявлено вірідіфлорол (44,7%) і *β*-каріофілен (23,0%) (див. табл. 2). Вірідіфлорол має протиінфекційні властивості; *β*-каріофілен використовують в якості ароматизатора в парфумерії та косметичній галузі (див. рис. 2) [25].

Компоненти, які переважають в ефірній олії *S. sclarea* – ліналоол (65,9%), *α*-терпінеол (19,7%), використовують у парфумерії, косметології й харчовій галузі. Ліналоол має аромат конвалії, його застосовують для створення парфумерних композицій, ароматизації мила та інших мийних засобів. Антимікробними властивостями характеризується монотерпеновий спирт *α*-терпінеол, він також є компонентом харчових есенцій, має аромат бузку (див. табл. 2, рис. 2) [28].

Сполуки, що домінують в ефірній олії *O. vulgare, α*-кадінол (14,2%) і гермакрен *D* (13,8%) виявляють імуномоделюючі, протизапальні властивості, забезпечують протиалергійну, антисептичну дію на організм людини. У косметичній галузі їх застосовують для надання м'якого гвоздичного аромату засобам для догляду за обличчям. Сексвітерпеновий спирт *α*-кадинол використовують у фармації [29].

Значний вміст ліналоолу (26,6%) і ліналілацетату (24,6%) в ефірній олії *L. vera* забезпечує бактерицидні, фунгіцидні й інсектицидні властивості (табл. 2). Тому ефірна олія лаванди справжньої придатна для використання в косметології, фармації, для виготовлення парфумерних та інсектицидних засобів (див. рис. 2) .

В ефірній олії *N. transcaucasica* переважають сполуки – цитронелол (39,7%) й оксицитронелаль (12,4%). Цитронелол надає засобам приємного аромату троянди, оксицитронелаль – лимону. Сполуки застосовують як компоненти парфумерних композицій, косметичних засобів, харчових есенцій (див. рис. 2).

Сполука, яка домінує в ефірній олії *M. didyma* – тимол (61,5%), визначає антигрибкові й антисептичні властивості. Тимол застосовують у медицині як антигельмінтний засіб, як антисептичний – для дезинфекції порожнини рота, горла й носоглотки; у стоматології – для обезболювання дентину; у фармацевтичній галузі – в якості консерванта; у бджолярстві – як засіб проти варроатозу й акарапідозу бджіл (див. рис. 2) [30].

Головні висновки. Підвищений вміст аскорбінової кислоти під час фази квітування у надземній частині *H. angustifolius* (308,9±4,8 мг%), дубильних речовин – *N. transcaucasica* (10,3 ±0,8%) свідчить про можливість їхнього використання як джерела цього вітаміну та протимікробного засобу.

Ароматичні рослини-інтродуценти з високим вмістом біологічно активних сполук (монотерпенів, сексвітерпенів, терпеноїдів: спиртів і фенолів) у ефірній олії забезпечують імуномоделюючі, радіопротекторні, антиоксидантні, антисептичні, протигельмінтні властивості. Компоненти ефірної олії *M. didyma, S. hortensis, E. cristata* і *L. vera* зумовлюють інсектицидні та акарицидні властивості, тому їх доцільно використати для отримання біопестицидів.

Перспективи використання результатів дослідження. Аналіз отриманих біохімічних показників вказує на перспективність використання фітосировини й ефірної олії ароматичних рослин родини *Lamiaceae* у фармації, косметичній, харчовій і парфумерній галузях.

Література

1. Ahmad I., Jan S., Begum A., Wali S. Taxonomic diversity and ethnobotanical characteristics of the family Lamiaceae of Swat, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Pure and Applied Biology (PAB)*. 2021. Vol. 4(4). P. 465–470. DOI: https://www.thepab.org/index.php/journal/article/view/2072
2. Napoli E., Siracusa L., Ruberto G. New tricks for old guys: Recent developments in the chemistry, biochemistry, applications and exploitation of selected species from the Lamiaceae Family. *Chemistry & biodiversity*. 2020. Vol. 17(3). DOI: https://doi.org/10.1002/cbdv.201900677
3. Zhao F., Chen Y. P., Salmaki Y., Drew B. T., Wilson T. C., Scheen A. C., Xiang C. L. An updated tribal classification of Lamiaceae based on plastome phylogenomics. *BMC biology.* 2021. Vol. 19(1). P. 1–27. DOI: https://doi.org/10.1186/s12915-020-00931-z
4. Червона книга України. URL: https://redbook-ua.org/category/lamiaceae/
5. Калинкина Г. И., Березовская Т. П., Дмитрук С. Е., Сальникова Е. Н. Перспективы использования в медицинской практике эфиро-масличных растений флоры Сибири. *Химия растительного сырья*. 2000. № 3. С. 5–12.
6. Котюк Л. А. Вміст аскорбінової кислоти і каротину у сировині пряно-ароматичних рослин родини Lamiaceae Lindl. *Біологічні Студії/Studia Biologica*. 2013. Т. 7, № 2. С. 83–90.
7. Rybak O., Hudz N., Svidenko L., Grygorieva O., Makarenko O., Brindza J. The role of herbal adaptogens and immunomodulators in dietary food and phytotherapy. *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality*. 2017. № 1. P. 179–187. URL: https://agrobiodiversity.uniag.sk/scientificpapers/article/view/53
8. Carović-Stanko, K., Petek, M., Grdiša, M., Pintar, J., Bedeković, D., Satovic, Z. Medicinal plants of the family Lamiaceae as functional foods–a review. *Czech journal of food sciences*. 2016. Vol. 34(5). P. 377–390. DOI: https://doi.org/10.17221/504/2015-CJFS
9. Michel J., Abd Rani, N. Z., Husain, K. A. Review on the potential use of medicinal plants from *Asteraceae* and *Lamiaceae* plant family in cardiovascular diseases*. Front. Pharmacol*. 2020. Vol. 11. DOI: 10.3389/fphar.2020.00852
10. Дем'янюк О. С., Тертична О. В., Кудряшова К. М., Пархоменко М. М., Бутурлим Д. А. Використання пряно-ароматичних культур у вертикальному озелененні. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 2. С. 45–54. DOI: 10.33730/2310-4678.2.2022.261248

11. Kozlowska M., Laudy A. E., Przybyl J., Ziarno M., Majewska E. Chemical composition and antibacterial activity of some medicinal plants from *Lamiaceae* family. *Acta Pol Pharm*. 2015. Vol. 72(4). P. 757–67.
12. Bedini, S., Farina P., Napoli E., Flamini G., Ascrizzi R., Verzera A., Conti B., Zappalà L. Bioactivity of different chemotypes of oregano essential oil against the blowfly *Calliphora vomitoria* vector of foodborne pathogens. *Insects*. 2021. Vol.12 (1). DOI: 10.3390/insects12010052
13. Дубінін С. І., Клепець О. В., Рябушко О. Б., Ваценко А. В., Улановська-Циба Н. А., Передерій Н. О. Антигельмінтні властивості лікарських рослин. *Клінічна та експериментальна патологія*. 2020. Т. 19, № 3(73). С. 177–184. DOI:10.24061/1727-4338.XIX.3.73.2020.2
14. Skendi A., Irakli M., Chatzopoulou P., Papageorgiou M. Aromatic plants of Lamiaceae family in a traditional bread recipe: Effects on quality and phytochemical content. *Journal of food biochemistry*. 2019. Vol. 43(11). DOI: https://doi.org/10.1111/jfbc.13020
15. Vozhdehnazari M .S., Hejazi S. M. H., Sefidkon F., Jahromi M. G., Mousavi A. Variability in morphology and essential oil profile for 30 populations of Satureja species with respect to climatic paramours using multivariate analysis: an opportunity for industrial products. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2022. Vol. 25 (5). DOI: https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2130712
16. Moukhfi F., Dakir M., Nait Irahal I., Chninigue J., Outlioua A., Eddine J.J., Chadli N. Antioxidant potential and inhibitory effect of essential oil from the aerial parts of Origanum vulgare L. against Salmonella poultry in Morocco. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2022. Vol. 25 (3). P. 456–467. DOI: https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2091955
17. Acimovic M. G., Loncar B. Lj., Jeliazkov V. D., Pezo L. L., Ljujic J. P., Miljkovic A. R., Vujisic L. V. Comparison of volatile compounds from clary sage (*Salvia sclarea* L.) verticillasters essential oil and hydrolate. *Journal of essential oil-bearing plants*. 2022. Vol. 25 (3). P. 555–570. DOI: https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2105662
18. Pouresmaeil M., Sabzi-Nojadeh M., Movafeghi A., Aghbash B. N., Kosari-Nasab M., Zengin G., Maggi F. Phytotoxic activity of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil and its possible use as bio-herbicide. *Process Biochemistry*. 2022. Vol. 114. P. 86–92. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.01.018
19. Abbasi N., Fattahi M., Ghosta Y., Sefidkon F. Volatile Compounds and Antifungal Activity of *Dracocephalum moldavica* L. at different phenological stages. *Journal of Essential Oil Research*. 2022. Vol. 34(1). P. 87–95. DOI: https://doi.org/10.1080/10412905.2021.1975577
20. Hikal W. M., Said-Al Ahl. H. A. Anti-leishmanial activity of Hyssopus officinalis: A review. *International Journal of Environmental Planning and Management*. 2017. Vol. 3(2). P. 10–15.
21. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: НІЧЛАВА, 2003. 320 с.
22. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла: ГОСТ 24027.2–80. [Действующий с 1981–01–01]. Москва, 1988. 120 с. (Межгосударственный стандарт).
23. Крищенко В. П. Методы оценки качества растительной продукции. М.: Колос, 1983. 192 с.
24. Черногород Л.Б., Виноградов Б.А. Эфирные масла некоторых видов рода Achillea L., содержащие фрагранол. Растительные ресурсы. СПб., 2006. № 42. Вып. 2. С. 6–68.
25. Kotyuk L. A., Rachmetov D. B. The biological peculiarities of Salvia officinalis L. and Salvia sclarea L. under ex-situ conditions. *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality. The scientific proceeding of international network AgroBioNet*. Nitra, 2015. Part 2. P. 379–383.
26. Шанайда, М. І., Покришко О. В. Антимікробна активність ефірних олій культивованих представників родини Lamiaceae juss. *Аннали Мечниковського інституту*. 2015. № 4. С. 66–69.
27. Гринько Е. Н. Обоснование выбора метода количественного определения дубильных веществ в лекарственном растительном сырье. *Здоровье и образование в XXI Веке*: сб. науч. тез. и статей. 2010. Т. 12, № 2. С. 172–173.
28. Aćimović M., Sikora V., Brdar-Jokanović M., Kiprovski B., Popović V., Koren A., Puvača N. Dracocephalum moldovica: cultivation, chemical composition and biological activity. *Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management (JATEM)*. 2019. Vol. 2(1). P. 153–167.
29. Мягких Е. Ф., Мишнёв А. В. Особенности накопления эфирного масла в растениях Origanum vulgare L. в Предгорном Крыму. *Научный журнал КубГАУ*. 2014. № 104 (10). С. 1–11.
30. Вишневская О. Е., Шаварда А. Л., Соловьева А. Е., Зверева О. А. Исследование компонентного состава эфирного масла растений рода *Monarda (Lamiaceae)*, культивируемых в условиях северо-западного региона. *Аграрная Россия.* 2006. № 6. С. 60–62.

УДК 581.524.2:581.9:502.72(477.63)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.20

ІНВАЗІЇ *ANISANTHA STERILIS* (L.) NEVSKI В РОСЛИННІ УГРУПОВАННЯ КРИВОРІЖЖЯ

Красова О.О., Шоль Г.Н., Павленко А.О., Шкута С.І.
Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг
kras.kbs.17@gmail.com

Здійснено огляд наукової літератури з проблеми поширення адвентивного злаку середземноморсько-ірано-туранської ареалогічної групи – *Anisantha sterilis* (L.) Nevski, в Україні. Розглянуто наслідки інвазії цього виду в рослинні угруповання Криворізького регіону. Геоботанічні маршрутні обстеження охоплювали терени всього Криворіжжя; напівстаціонарні дослідження проводились на території Криворізького ботанічного саду НАН України в угрупованнях, що входять до складу синантропних біотопів (I:3.213 – декоративні насадження та I:2.112 – угруповання рудеральних малорічників на бідних ґрунтах). Установлено, що під нещільним наметом дерев (*Gleditsia triacanthos* L.) цей вид домінує в трав'яному ярусі; на перелозі першої стадії демутації він співдомінує з таксономічно спорідненим видом *Anisantha tectorum* (L.) Nevski. Щільність особин *A. sterilis* в угрупованнях сильно варіює і становить від 76 до 406 особин на 0,25 м^2 у насадженні гледичії та 11–184 особини на перелозі. Проте, морфометричні та біомасові параметри рослин у двох ценопопуляціях не надто відрізняються, що свідчить про їх приблизно однакову життєвість. Аналіз віталітетної структури виявив процвітаючий стан ценопопуляції в деревному насадженні та врівноважений – на перелозі. Здатність *A. sterilis* до проникнення в природні трав'яні угруповання викликає занепокоєння в сенсі фітозабруднення території Криворіжжя. Результати проведених досліджень свідчать про спроможність цього виду до інвазій в угруповання ксеромезофітних різнотравних луків (біотоп E:1.32) та мезоксерофітних злаково-різнотравних степів (біотоп E:2.223). У результаті оцінювання інвазійного потенціалу *A. sterilis* за чотирма критеріями ми констатуємо, що на Криворіжжі досліджений вид не виявляє надто потужного впливу на фітосистеми, отже, його слід визнати «помірним». Перспективи використання результатів дослідження ми вбачаємо в організації розширеної системи моніторингу за ценотичною поведінкою цього виду в регіоні. *Ключові слова: Anisantha sterilis* (L.) Nevski, біотопи, інвазійний потенціал, морфометричні показники, віталітетна структура, моніторингові спостереження.

Invasions of *Anisantha sterilis* (L.) Nevski in plants communties of the Kryvorizhzhia. Krasova O., Shol H., Pavlenko A., Shkuta S.

A review of the scientific literature on the problem of the spread of an adventive grass of the Mediterranean-Iranian-Turanian areal group – *Anisantha sterilis* (L.) Nevski, in Ukraine – was carried out. The consequences of the invasion of this species into plant communities of the Kryvyi Rih region are considered. Geobotanical route surveys covered the entire territory of Kryvyi Rih; semi-stationary studies were conducted on the territory of Kryvyi Rih Botanical Garden of National Academy of Sciences of Ukraine in communities that are part of synanthropic biotopes (I:3.213 – decorative plantings and I:2.112 – communities of ruderal young plants on poor soils). It was established that under the loose canopy of trees (*Gleditsia triacanthos* L.), this species dominates in grass layer; in the fallow of the first stage of demutation, it co-dominates with the taxonomically related species *Anisantha tectorum* (L.) Nevski. The density of *A. sterilis* individuals in the communities varies greatly and ranges from 76 to 406 individuals per 0.25 m^2 in the *Gleditsia* plantation and 11–184 individuals in the fallow. However, the morphometric and biomass parameters of the plants in the two cenopopulations do not differ too much, which indicates their approximately equal vitality. Analysis of the vitality structure revealed thriving state for the population in the tree plantation and balanced state for the one in fallow. The ability of *A. sterilis* to enter the natural grass communities is a cause for concern in the sense of phytopollution of the Kryvorizhzhia territory. The results of the conducted research indicate the ability of this species to invade the groups of xeromesophyte herbaceous meadows (biotope E:1.32) and mesoxerophyte grass-herbaceous steppes (biotope E:2.223). As a result of the evaluation of the invasive potential of *A. sterilis* according to four criteria, we state that in Kryvorizhzhia the studied species does not show too strong an impact on phytosystems, therefore, it should be considered "moderate". We see the prospects of using the research results in the organization of an extended monitoring system for the coenotic behavior of this species in the region. *Key words: Anisantha sterilis* (L.) Nevski, biotopes, invasive potential, morphometric indicators, vital structure, monitoring observations.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Проблема інвазій неаборигенних організмів є вкрай серйозною, оскільки це явище нині становить значну загрозу біологічному різноманіттю та життєдіяльності суспільства. Останнім часом негативний вплив неаборигенних організмів посилився й набув глобального характеру, а економічні збитки від нього зросли настільки, що це питання привернуло увагу не лише вчених, а й політиків, державних діячів та громадських активістів [1]. Так, нещодавно Кабінет Міністрів України затвердив план заходів із реалізації Стратегії біобезпеки та біологічного захисту на 2022–2025 роки. Її виконання спрямоване на усунення можливих біологічних загроз, а також запобігання поширенню на території країни генетично модифікованих рослин і тварин та інвазійних чужорідних видів [2].

Ефективному контролю за інвазіями чужорідних видів перешкоджає відсутність дієвої і стандартизованої системи моніторингу. Існуюча інформація щодо поширення інвазійних видів неповна, значна частина не систематизована. Попередження інвазій

чужорідних видів утруднене ще й тим, що доступ до даних щодо їхнього інвазійного потенціалу зазвичай відсутній або малодоступний [3].

Урбанізовані території є місцями найбільшої концентрації чужорідних інвазійних видів. Цьому сприяє різноманітність шляхів іміграції діаспор рослин, велика кількість територій із порушеним природним рослинним покривом, висока рухливість населення в містах та ін. [4]. У першу чергу це стосується флори великих промислових міст, зокрема й Кривого Рогу [5].

Одним із регіональних проявів динаміки адвентивної фракції флори Криворіжжя є стрімка експансія виду з родини *Poaceae* Barnhart. – *Anisantha sterilis* (L.) Nevski, що за біоморфою є малорічним терофітом. Дослідження фітоценотичної «поведінки» цього виду необхідні для упередження негативних наслідків його подальшого розповсюдження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поширення *A. sterilis* (*Bromus sterilis* L.) в Україні наприкінці XX століття обмежувалося більшістю районів Криму, декількома місцями знаходження на крайньому півдні Степу та одиничними локусами в західній частині країни (Львівська, Тернопільська, Закарпатська області) [6]. В аспекті типізації первинних ареалів вид входить до складу середземноморсько-ірано-туранської ареалогічної групи [7]; щодо специфіки міграційної активності виду – ареал належить до суміжнозонального типу [8]. За часом занесення на територію України *A. sterilis* є археофітом, за способом занесення – ксенофітом [9].

Просування виду в північному напрямку й знахідки його на території Київщини О. Г. Яворська пов'язує переважно з залізничними шляхами і меншою мірою шосейними дорогами [10–12]. У Дніпропетровській, Одеській, Миколаївській, Запорізькій та Херсонській областях на момент 2014 року *A. sterilis* траплявся зрідка і вважався новим адвентивним видом. Поява його на закрайках полів та міжсегетальних екотопах надавала вагому підставу низці дослідників стверджувати, що вже найближчим часом він може бути виявлений у посівах, а експансія його може мати ті ж риси, що і в *Anisantha tectorum* (L.) Nevski. [13]. У лівобережній частині Дніпропетровщини вид відмічений на території національного природного парку «Орільський» [14], регіонального ландшафтного парку «Самарські плавні» [15], та вказується для урбанофлори Дніпра [16]. Очевидно, у більшій частині лівобережних областей України вид ще відсутній, принаймні він не наводився у флористичних списках Полтавської міської територіальної громади [17] та Харківщини [18, 19].

Мета дослідження – з'ясувати особливості морфометричних та біомасових параметрів, віталітетну структуру окремих ценопопуляцій *A. sterilis*, фітоценотичну роль та інвазійний потенціал цього виду в рослинних угрупованнях на території Криворіжжя.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри значну кількість робіт, присвячених географічним аспектам поширення адвентивних видів родини *Poaceae*, наразі відсутні відомості щодо їх популяційної організації, життєвого стану, насіннєвої продуктивності. Робота спрямована на вирішення таких питань стосовно нещодавно поширеного в регіоні чужорідного виду.

Матеріали та методи досліджень. Криворіжжя (Кривбас) розглядається дослідниками як своєрідна природничо-господарська одиниця України [20]. Центр його – місто Кривий Ріг, – простягається в субмеридіональному напрямку більш як на 100 км, перетинаючи межу двох природних підзон степової зони. Контури регіону охоплюють залізорудні родовища Криворізької геологічної структури. З точки зору адміністративно-територіального устрою більшість території Криворіжжя знаходиться в південно-західній частині Дніпропетровської області; терени регіону на півночі заходять на територію Кіровоградської, а на півдні – Херсонської та Миколаївської областей.

Маршрутні обстеження охоплювали весь регіон; напівстаціонарні дослідження проводились на території Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС) в рослинних угрупованнях, що входять до складу синантропних біотопів різних категорій (класифікаційна приналежність їх установлена згідно з монографією «Біотопи степової зони України» [21]).

Перший фітоценоз знаходиться в дендрарії ботанічного саду (біотоп I:3.213 – декоративні насадження), другий – на перелозі першої стадії демутації, що сформувався після оранки на розсаднику (біотоп I:2.112 – угруповання рудеральних малорічників на бідних ґрунтах). У межах ценозів виконані геоботанічні описи на площі 100 м^2 наприкінці травня та повторно – на початку вересня 2022 року. Сукупність особин *A. sterilis* у цих фітоценозах ми розглядаємо як ценопопуляції 1 та 2 відповідно.

Задля дослідження морфометричних та біомасових показників *A. sterilis* у ценопопуляціях рослини відбирали з 10 облікових квадратів 0,5×0,5 м. Для з'ясування віталітетної структури ценопопуляцій за методичними вказівками Ю. А. Злобіна [22] в особин з одного квадрату на кожній ділянці окрім висоти генеративних пагонів, вимірювали довжину суцвіття та підраховували кількість колосків у ньому. Отриманий ряд індексних показників ділили на три класи методом ранжування, де a – високий віталітет, b – середній, c – низький. За кількісним співвідношенням у ценопопуляціях особин різного рівня віталітету визначали індекс якості ценопопуляцій Q:

$$Q = 1/2\ (a+b),$$

де Q – індекс якості ценопопуляції; a – частка особин найвищого віталітету (у частках одиниці); b – частка

особин середнього віталітету (у частках одиниці). При встановленні якісних категорій ценопопуляцій керувалися положенням, що депресивні популяції відповідають Q < 0,167; врівноваженим властиві Q від 0,167 до 0,333, процвітаючим – Q >0,333 [22].

Статистичну обробку морфометричних та біомасових показників виконували за рекомендаціями, викладеними в посібнику Г. М. Зайцева [23], застосовуючи пакет Microsoft Excel. Оцінка інвазійного потенціалу здійснена за окремими критеріями, розробленими Н. А. Пашкевич зі співавторами [24].

Виклад основного матеріалу. Уперше масова поява *A. sterilis* на Криворіжжі зафіксована в 2008 році поблизу села Ганнівка Широківського району (південна околиця регіону) під наметом білоакацієвого насадження. Через рік із крайнього півдня регіону новий адвентивний вид поширився в центральні райони м. Кривого Рогу; протягом наступних двох років – у північні райони міста. На території КБС він з'явився в 2011 році.

В останнє десятиліття *A. sterilis* став звичайним компонентом синантропних трав'яних угруповань Кривбасу. Наприкінці травня–початку червня цей вид утворює аспект у травостої газонних покриттів житлових масивів Кривого Рогу та в трав'яному ярусі деревостанів із напівосвітленим та напівтіньовим типом світлової структури (парки, сквери, лісосмуги тощо). Опановує також добре освітлені екотопи (периферичні частини стадіонів, смуги вздовж грунтових шляхів та стежок), у яких співіснує з таксономічно спорідненим *A. tectorum*.

Геоботанічні характеристики фітоценозів із участю *A. sterilis*, досліджених на території КБС, суттєво відрізняються. У ценозі, описаному в дендрарії, перший деревний ярус утворений *Gleditsia triacanthos* L. висотою 15–17 м (зімкнутість 0,3–0,4). Загальне проективне покриття трав'яного ярусу становить 70 %; проективне покриття домінуючого виду *A. sterilis* – 50 % (рис. 1а).

Приблизно однакові частки (до 7 %) складають у надґрунтовому покриві інші злаки (*Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. Presl, *Dactylis glomerata* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Poa angustifolia* L.), представники різнотрав'я (*Geum urbanum* L., *Torilis japonica* (Houtt.) DC., *Fragaria viridis* Duch., *Seseli campestre* Bess.) та дрібний підріст дерев і кущів (*Amorpha fruticosa* L., *Celtis occidentalis* L., *Cercis canadensis* L., *Crataegus fallacina* Klokov, *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L.).

Другий фітоценоз – переліг першої демутаційної стадії на розсаднику, – характеризується меншим загальним проективним покриттям – 60 %. Тут виражене співдомінування *A. sterilis* з *A. tectorum* (близько 45 % проективного вкриття разом). Участь інших видів, переважно одно-та малорічних бур'янів – *Aegilops cylindrica* Host, *Lactuca serriola* L., *Senecio vernalis* Waldst. et Kit., *Stellaria media* (L.) Vill., *Thlaspi arvense* L., не перевищує 1–3 %.

Слід зазначити, що на момент дослідження всі особини квітували, отже, диференціація за онтогенетичною структурою в ценопопуляціях відсутня. Після дозрівання насіння наприкінці липня рослини *A. sterilis* завершують життєвий цикл. Проективне вкриття травостою під наметом гледичії у вересні зменшується до 20 %. Окрім деревного підросту та багаторічних злаків, участь у його формуванні беруть осінні сходи *A. sterilis* та *Galium aparine* L. На перелозі проективне покриття зменшується незначно за рахунок бур'янів, які активно розвивалися в другій половині літа та восени.

Щільність *A. sterilis* у досліджених синантропних угрупованнях сильно варіює і становить від 76 до 406 особин на 0,25 м^2 у насадженні гледичії та 11–184 особини на перелозі. Як відомо, регуляція щільності в популяціях малорічних рудеральних рослин здійснюється завдяки механізму пластичності: зі збільшенням числа особин зменшується їх розмір [25]. За умов різко вираженої різнорідно-

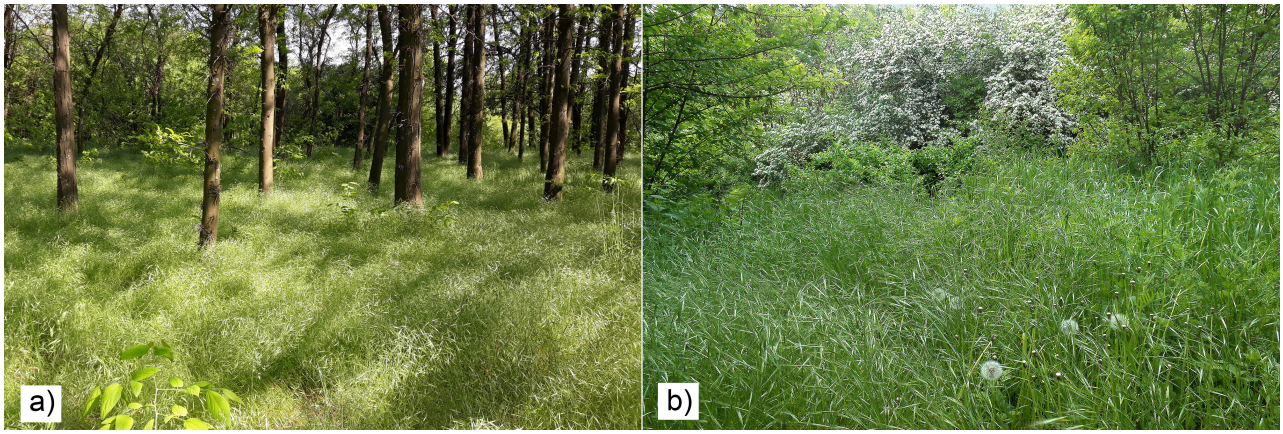


Рис. 1. Anisantha sterilis на території КБС: а) домінування у трав'яному ярусі насадження Gleditsia triacanthos (дендрарій); b) аспект масового розвитку в угрупованні ксеромезофільних злаків на схилі балки Приворотної

сті морфопараметрів особин об'єктивнішими оцінками стану популяцій виявляються характеристики біомаси [26]. Імовірно, провідним чинником диференціації висоти рослин у ценопопуляціях виступає рівень освітлення, оскільки усереднені значення її є більшими на перелозі, де затінення від дерев відсутнє (табл. 1). Щодо загальної біомаси рослин, то її параметри достовірно не розрізняються за критерієм Стьюдента (t) при вірогідності 0,95.

Віталітетна структура ценопопуляцій доволі подібна. Індекси Iq та Q [27] мало відрізняються; значення першого з них в обох випадках практично дорівнюють одиниці (табл. 2).

Проте, оскільки в першій ценопопуляції індекс якості більший за значення 0,333, вона може бути віднесена до процвітаючих.

Занепокоєння в сенсі фітозабруднення території Криворіжжя викликає здатність *A. sterilis* до проникнення в природні трав'яні угруповання. Нами не відмічені випадки вселення цього виду в ксерофітні степові фітоценози, проте, спостерігається проникнення його до складу ксеромезофітних та мезоксерофітних злаковників.

Зокрема, відмічена його експансія в лучні угруповання заплави р. Саксагань, що збереглися в парку «Веселі Терни» (біотоп E:1.32 – ксеромезофітні різнотравні луки *Galietalia veri*). Наразі в цьому старовинному парку відсутні будь-які роботи з догляду за насадженнями, випасається худоба; він використовується як рекреаційна зона [28]. У 2012–2016 роках спостерігалося проникнення *A. sterilis* в угруповання з домінуванням *Elytrigia intermedia* (Host) Nevski, *E. repens* (L.) Nevski, *Poa angustifolia* L. (біотоп E:2.223 – мезоксерофітні злаково-різнотравні степи) на схилі західної експозиції відрогу балки Приворотної, що знаходиться на території КБС (рис. 1b). Зазначимо, що безпосередньо до верхньої виположеної частини схилу прилягає дорога з твердим покриттям, яка, очевидно, слугує шляхом розповсюдження насіння *A. sterilis*. У подальшому чисельність цього чужорідного виду в локалітеті первинного заносу зменшилася, проте, він поширився на інші ділянки балки вздовж дороги. При цьому на протилежному схилі та в інших відрогах балки в умовах епізодичного і слабко вираженого антропогенного втручання осередки виду не зафіксовані. Таким чином, фітоценотична роль *A. sterilis* у дестабілізованих природних угрупованнях зводиться до положення превалента (адвентивного домінанта), тобто виду, який домінує випадково, за наявності особливо сприятливих умов [29]. Оскільки онтогенез особин цього чужинця завершується ще до середини вегетаційного періоду, їх пригнічуюча дія на аборигенні види є доволі нетривалою. Через цю обставину на сьогодні нами не відмічено таких перебудов складу природних фітоструктур, які призвели б до втрати видового різноманіття.

Вплив кожного чужинного виду у вторинному ареалі є важко передбачуваним із огляду на велику кількість чинників, що проявляються як окремо, так і комплексно [3]. Зокрема, інвазійний потенціал виду залежить від фенотипічної пластичності, яка впливає на швидкість появи корисних ознак, а відтак – швидкого пристосування до нових умов, а також від

Таблиця 1

Морфометричні та біомасові характеристики рослин у ценопопуляціях *Anisantha sterilis*

Ценопопуляція	Висота рослин у межах класів розмірності, см			Загальна біомаса рослин (повітряно суха) відповідно до класів розмірності, г/0,25 м²			
	1клас (8,0–40,1)	2 клас (40,2–72,2)	3 клас (72,3–104,3)	1 клас	2 клас	3 клас	Σ
1 (насадження гледичії)	30,3±0,57 24,0	55,6±0,46 13,7	74,7±0,45 1,2	5,8±1,01 55,2	14,4±2,75 60,7	17,6±3,51 63,0	37,7±3,94 33,0
2 (переліг)	30,4±0,77 21,7	58,1±0,63 15,0	82,1±0,77 9,3	1,8±0,42 73,7	8,6±0,78 28,7	24,4±3,18 41,2	34,8±3,26 29,6

* У чисельнику – середнє арифметичне значення параметру з похибкою, у знаменнику – коефіцієнт варіації

Таблиця 2

Віталітетна структура ценопопуляцій *Anisantha sterilis*

Ценопопуляція	Частка особин за класами віталітету			Ступінь процвітання Iq	Значення індексу якості Q	Віталітетний тип
	a (найвищий)	b (проміжний)	c (найнижчий)			
1 (насадження гледичії)	0,54	0,13	0,33	1,02	0,335	процвітаючий
2 (переліг)	0,47	0,15	0,38	1,00	0,310	врівноважений

кількості адаптацій, пов'язаних зі стійким утриманням захопленої території [30].

Враховуючи невеликий період спостережень за особливостями експансії *A. sterilis* у регіоні, ми не маємо можливості провести вичерпну оцінку його інвазійного потенціалу, проте, можемо здійснити це за окремими запропонованими критеріями [24].

Щодо здатності до трансформації середовища та зміни низки загальносистемних параметрів, у чому ключову роль відіграє життєва стратегія виду, то *A. sterilis*, не має потенціалу до значного впливу, оскільки їй притаманна здебільшого R-стратегія (найбільшу загрозу для природних екосистем становлять види-віоленти чи види змішаних життєвих стратегій – CRS). Те ж саме стосується так званої «екологічної сумісності», оскільки види європейського, євразійського типів ареалів (а також середземноморського походження [30]), зазвичай, не становлять значної загрози аборигенним комплексам, на відміну від видів із Північної Америки, які не мають в Україні природних конкурентів та ворогів. За критерієм впливу на окремі аборигенні види рослин чи тварин *A. sterilis* відповідає низькому (неістотному) класу дії, позаяк не призводить до втрати різноманіття регіональної природної флори.

Проте, значна шкодочинність виду виявляється в його спроможності вселятися в кілька типів біотопів. Занотуємо, що із точки зору потенційної загрози для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) України *A. sterilis* уключений до так званого «сірого списку» небезпечних видів із «середнім» інвазійним статусом – тобто таких, що відзначаються помірною інвазійною активністю. У процесі досліджень на територіях природно-заповідного фонду в інших регіонах він виявлений у складі не лише рудеральних угруповань класів *Agropiretea repentis*, *Artemisietea vulgaris*, *Robinietea,* а й у природних угрупованнях п**самофітної рослинності** класу *Festucetea vaginatae* [9]. Випадки проникнення *A. sterilis* у ксеромезофітні лучні (E:1.32) та мезоксерофітні степові (E:2.223) біотопи наразі в літературі не описані (принаймні така інформація нам невідома). Однак вразливих біотопів щодо негативного впливу цього виду виявлено лише два; водночас для визнання значних наслідків дії його на природні екосистеми потрібна фіксація інвазій більш ніж у п'ять типів біотопів (оселищ) [24].

У результаті оцінювання інвазійного потенціалу *A. sterilis* за чотирма критеріями ми констатуємо, що на Криворіжжі досліджений вид не виявляє надто потужного впливу на фітосистеми, отже, його слід визнати «помірним».

Головні висновки. Отже, проведені дослідження дозволили встановити, що щільність *Anisantha sterilis* у синантропних угрупованнях на території КБС сильно варіює і становить від 76 до 406 особин на 0,25 м^2 у насадженні гледичії та 11–184 особини на перелозі. Імовірно, провідним чинником диференціації висоти рослин у ценопопуляціях виступає рівень освітлення, оскільки усереднені значення її є більшими в угрупованні перелогу, де затінення відсутнє, аніж в угрупованні під наметом дерев. Віталітетна структура ценопопуляції *A. sterilis* у насадженні *Gleditsia triacanthos* відповідає процвітаючому типу; на перелозі – врівноваженому. У синантропних угрупованнях на території КБС вид відіграє роль домінанта або співдомінанта лише в першій половині вегетаційного періоду. Фітоценотична роль *A. sterilis* у дестабілізованих природних угрупованнях зводиться до положення превалента (адвентивного домінанта). Інвазійний потенціал *A. sterilis* на Криворіжжі ми оцінюємо як «помірний», оскільки він не виявляє потужного дестабілізуючого впливу на рослинність та біотопи регіону.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати будуть використані в процесі організації розширеної системи моніторингу за ценотичною поведінкою цього та інших інвазійних видів у регіоні. Такі моніторингові спостереження необхідні при плануванні заходів із усунення біологічних загроз.

Література

1. Федорончук М.М., Зав'ялова Л.В., Кучер О.О., Коломійчук В.П., Конякін С.М., Лисогор Л.П., Прядко О.І. Синантропізація флори та рослинності – серйозна загроза біорізноманіттю. ІІІ Всеукраїнська наукова конференція «Синантропізація рослинного покриву України». *Вісник НАН України*. 2020. № 1. С. 62–67. URL: https://doi.org/10.15407/visn2020.01.062
2. Про затвердження плану заходів з реалізації Стратегії біобезпеки та біологічного захисту на 2022–2025 роки. URL: https://zakon.rada.gov.ua (дата звернення: 23.11.2022).
3. Малиновський А.К. Основні напрями та результати досліджень фітоінвазій. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. Вип. 34. Львів, 2018. С. 55–68.
4. Бурда Р.І., Ігнатюк О.А. Методика дослідження адаптивної стратегії чужорідних видів рослин в урбанізованому середовищі. Київ : НЦЕБМ НАН України, ЗАТ «Віпол», 2011. 112 с.
5. Шоль Г.Н. Потенційно інвазійні адвентивні види в урбанофлорі Кривого Рогу. *Рослини та урбанізація* : матеріали VII Міжнарод. наук.-практ. конф. (Дніпро, 3 березня 2018 р.). Дніпро, 2018. С. 29–31.
6. Злаки Украины (анатомо-морфологический, кариосистемологический и эколого-фитоценотический обзор) : монография / Ю.Н. Прокудин и др., ред. Ю.Р. Шеляг-Сосонко. Киев : Наукова думка, 1977. 517 с.
7. Яворська О.Г. Адвентивна фракція синантропної флори Київської міської агломерації : автореф. дис. … канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2002. 22 с.

8. Протопопова В.В., Шевера М.В. Інвазійні види у флорі України. І. Група високо активних видів. *GEO&BIO*. 2019. Т. 17. С. 116–135. URL: https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116
9. Зав'ялова Л.В. Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду України. *Біологічні системи*. Т. 9. Вип. 1. 2017. С. 87–107.
10. Бортняк М.М. Нові відомості про поширення деяких видів родини *Poaceae* на Київщині. *Укр. ботан. журн*. 1981. Т. 38, № 3. С. 47–50.
11. Мосякін С.Л. Нові відомості про поширення адвентивних видів родини *Poaceae* в м. Києві. *Укр. ботан. журн*. 1991. Т. 48, № 3. С. 45–48.
12. Яворська О.Г. Адвентивні види родини *Poaceae* з групи залізничних рослин території Київської міської агломерації. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского*. *География. Геология.* 2008. № 3. URL: https://cyberleninka.ru (дата звернення 12.10.2022).
13. Косолап М.П., Кротінов О.П., Конопля М.І., Курдюкова О.Н., Соломаха В.А., Соломаха Т.Д. Поширення видів роду *Bromus* у зоні Степу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 20. С. 54–58.
14. Барановський Б.О., Манюк В.В., Іванько І.А., Кармизова Л.О. Аналіз флори національного природного парку «Орільський». Дніпро: Ліра, 2017. 320 с.
15. Baranovski B.A., Ivanko I.A., Gasso V.J., Ponomarenko O.L., Dubyna D.V., Roshchyna N.O., Karmyzova L.O., Poleva J.L., Nikolaieva V.V. Biodiversity of the Regional Landscape Park Samara Plavni within the first large reservoir in Europe. *Biosystems Diversity*, 2021. 29 (2). P. 160–179. URL: https://doi:10.15421/012121
16. Karmyzova L., Baranovsky B. Flora of the Dnipro city. Monograph. Rīga : Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. 120 p. URL: https://dx.doi.org/10.30525/978-9934-588-94-5
17. Давидов Д.А., Гомля Л.М. Судинні рослини Полтавської міської територіальної громади: анотований перелік. *Біологія та екологія.* 2021. Т. 7, № 1. С. 70–81.
18. Звягінцева К.О. Анотований конспект урбанофлори Харкова. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. 96 с.
19. Звягінцева К.О. Географічне поширення адвентивного елементу урбанофлори Харкова. *Рослини та урбанізація* : матеріали IX Міжнарод. наук.-практ. конф. (Дніпро, 5 березня 2020 р.). Дніпро, 2020. С. 25–27.
20. Казаков В.Л., Сметана М.Г., Шипунова В.О. Паранько І.С., Коцюруба В.В., Калініченко О.О. Природнича географія Кривбасу : навч. посібник. Кривий Ріг : Октан-Принт, 2000. 106 с.
21. Біотопи степової зони України / Ред. акад. НАН України Я.П. Дідух. Київ–Чернівці : ДрукАРТ, 2020. 392с.
22. Злобін Ю.А. Алгоритм оцінки віталітету особин рослин і віталітетної структури фітопопуляцій. *Чорноморськ. бот. ж*. 2018. Т. 14, № 3. С. 213–226. URL: https://doi:10.14255/2308-9628/18.143/2
23. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва : Наука, 1984. 424 с.
24. Пашкевич Н.А., Зуб Л.М., Лисогор Л.П., Прокопук М.С. До критеріїв оцінки загроз інвазійних чужорідних видів об'єктам ПЗФ України. *Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні : Прикладні аспекти моніторингу та охорони біорізноманіття. Серія: «Conservation Biology in Ukraine»*. Вип. 16. Т. 3. Київ; Чернівці : Друк Арт, 2020. С. 265–271.
25. Марков М.В. Популяционная биология растений. Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та. 1986. 108 с.
26. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценотических популяций растений. Изд-во Казанского ун-та: Казань, 1989. 146 с.
27. Злобин Ю.А. Теория и практика оценки виталитетного состава ценопопуляций растений. *Ботанический журнал*. 1989. Т. 74, № 6. С. 769–781.
28. Шоль Г.Н. Збереження фіторізноманіття лісових біотопів у старовинних парках на урбанізованих територіях. *Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони : історія, сучасність, перспективи* : матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., присвяч. 120-річчю з дня народження проф. О.Л. Бельгарда. Дніпро : Ліра, 2022. С. 40–42.
29. Трасс Х.Х. О типологии доминантов растительных сообществ. *Бюллетень МОИП*. 1963. Т. 68, № 5. С. 29–36.
30. Абдулоєва О.С., Карпенко Н.І. Обґрунтування критеріїв інвазійного потенціалу чужинних видів рослин в Україні. *Чорноморськ. бот. ж*., 2012. Т. 8, № 3. С. 252–256.

УДК 504.453
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.21

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МАЛИХ РІЧОК СХІДНОГО ПОДІЛЛЯ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ

Мудрак О.В.[1], **Хаєцький Г.С.**[1], **Мудрак Г.В.**[2], **Серебряков В.В.**[1]
[1]Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»
вул. Грушевського, 13, 21050, м. Вінниця
[2]Вінницький національний аграрний університет
вул. Сонячна, 3, 21000, м. Вінниця
bil@mail.vinnica.ua, pk_vnau@i.ua

У статті подано оцінку екологічного стану малих річок Східного Поділля (4,4% території України), які є основною басейнів Південного Бугу (площа водозбору – 16,4 тис. км^2), Дністра (7,5 тис. км^2) і Дніпра (2,6 тис. км^2) в межах регіону. Обґрунтовано, що малі річки формують «водний потенціал» місцевого стоку на 60%, вони є динамічними екосистемами, гідрологічний, гідрофізичний, гідрохімічний і гідробіологічний режими яких значною мірою визначаються процесами, що відбуваються на їхніх водозборах. Тому вони потребують особливої уваги, диференційованого підходу і охорони. Аргументовано впровадження європейського досвіду з охорони та відродження малих річок, який показує, що поліпшення їхнього стану можливе лише за умов виконання плану управління річковим басейном, використання стратегічних підходів до збалансованого водокористування в межах не лише окремої річки чи струмка, а усього водозбірного басейну. Малі річки формують водні ресурси, гідрохімічний режим та якість води у середніх і великих річках, вони також створюють умови для формування в межах їхніх басейнів відповідних ландшафтних комплексів. Завжди існує зворотній зв'язок, адже формування малих річок та їхніх басейнів визначається поверхневим стоком з регіональних ландшафтів. На малих річках, що розташовані в умовах однакових ландшафтних комплексів і мають невеликі витрати води, результативна дія природних чинників та антропогенної діяльності проявляються швидше і виразніше. Зважаючи на це, малі річки Східного Поділля особливо чутливі до впливу забруднених стічних вод, що надходять з промислових підприємств, сільськогосподарських угідь і об'єктів комунального господарства. Також малі річки зазнають значних втрат води через негативні кліматичні зміни, а також для використання на господарські потреби, що призводить до зниження транспортуючої здатності водного потоку і збільшення забрудненості. На основі проведених досліджень запропоновано комплекс заходів для поліпшення екологічного стану малих річок Східного Поділля. Обґрунтовано, що лише завдяки впровадженню «екологічних» технологій, комплексних природоохоронних заходів, дотримання екологічних норм і стандартів забезпечить збереження і відновлення біорізноманіття басейну малої річки, поліпшення якості води, а також сприятиме поліпшенню стану здоров'я мешканців місцевих громад і соціально-екологічних умов їхнього проживання. *Ключові слова:* екологічна оцінка, забруднення, русло, басейн, процеси, гідроекосистема.

Assessment of the ecological status of small rivers of the Eastern Division in the context of sustainable development of the region. Mudrak O., Khaetsky G., Mudrak G., Serebryakov V.

The article provides an assessment of the ecological state of small rivers of Eastern Podillia (4.4% of the territory of Ukraine), which are the main basins of the Southern Bug (catchment area – 16.4 thousand km^2), Dniester (7.5 thousand km^2) and Dnipro (2.6 thousand km^2) within the region. It is substantiated that small rivers form the "water potential" of the local flow by 60%, they are dynamic ecosystems, the hydrological, hydrophysical, hydrochemical and hydrobiological regimes of which are largely determined by the processes occurring in their catchments. Therefore, they need special attention, a differentiated approach and protection. The implementation of the European experience in the protection and revival of small rivers is argued, which shows that improving their condition is possible only under the conditions of the implementation of the river basin management plan, the use of strategic approaches to balanced water use within not only a separate river or stream, but the entire catchment basin. Small rivers form water resources, hydrochemical regime and water quality in medium and large rivers, they also create conditions for the formation of appropriate landscape complexes within their basins. There is always a feedback loop, as the formation of small rivers and their basins is determined by surface runoff from regional landscapes. On small rivers that are located in the conditions of the same landscape complexes and have small water flows, the effective action of natural factors and anthropogenic activity manifests itself faster and more clearly. Considering this, the small rivers of Eastern Podillia are particularly sensitive to the influence of polluted wastewater coming from industrial enterprises, agricultural lands and municipal facilities. Also, small rivers experience significant water losses due to negative climatic changes, as well as for use for economic needs, which leads to a decrease in the transport capacity of the water flow and an increase in pollution. On the basis of the conducted research, a set of measures is proposed to improve the ecological condition of small rivers of Eastern Podillia. It is substantiated that only thanks to the introduction of "ecological" technologies, complex nature protection measures, compliance with environmental norms and standards will ensure the preservation and restoration of biodiversity in the basin of the small river, improvement of water quality, and will also contribute to the improvement of the health of residents of local communities and their socio-ecological conditions residence. *Key words:* ecological assessment, pollution, channel, basin, processes, hydroecosystem.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Останні десятиліття відзначаються надмірним антропогенним впливом на водні басейни малих річок України. Така ж проблема стосується і Східного Поділля, що займає 4,4% території країни. Для поліпшення екологічного стану малих річок регіону необхідні прикладні дослідження, які дадуть можливість запропонувати необхідні конструктивні

рішення. Сучасний стан малих річок регіону можна охарактеризувати як поганий і дуже поганий, що стало наслідком порушення природної рівноваги у їхніх басейнах. Основними концепціями вирішення нагальних екологічних проблем малих річок Східного Поділля є попереджувальний характер і прийняття принципів і підходів сталого розвитку, що стосується управління річковим басейном. Адже малі річки формують «водний потенціал» місцевого стоку на 60%, вони є динамічними природними екосистемами, гідрологічний, гідрофізичний, гідрохімічний і гідробіологічний режими яких значною мірою визначаються процесами, що відбуваються на їхніх водозборах. Тому вони потребують особливої уваги, диференційованого підходу до водокористування, охорони і управління [6].

Наразі інтерес до малих річок значно виріс. Це пояснюється їх важливою середовищеутворюючою, санітарно-гігієнічною, рекреаційно-оздоровчою й екологічною функціями, які складають основу гідрографічної мережі і виступають оселищем для різних організмів, матеріалом й енергоносієм для господарської діяльності. Вода малих річок регіону використовується для зрошення полів, риборозведення, водопостачання, водопою тварин, для технічних й енергетичних потреб, особливо для сільського населення. Тому вони першими забруднюються, засмічуються, замулюються, виснажуються і деградують. Це призводить до негативних змін біологічних, гідроморфологічних, хімічних і фізико-хімічних показників, перевищуючи здатність малих річок до самоочищення й самовідновлення [5].

Сьогодні переважна більшість малих річок Східно-Подільського регіону зазнали інтенсивного замулення, значного заростання водно-болотною рослинністю, пересихання, що призводить до погіршення їхнього екологічного стану і поступового зникнення. Європейський досвід (Водна Рамкова Директива ЄС) показує, що для збереження і поступового відродження малих річок необхідно затвердити і неухильно виконувати план управління річковим басейном, стратегічні підходи збалансованого водокористування в межах не лише окремої річки чи струмка, а усього водозбірного басейну. Шлях до поліпшення екологічного стану малих річок Східного Поділля можливий за умови впровадження «екологічно дружніх» технологій, комплексних природоохоронних заходів, дотримання екологічних норм і стандартів для реалізації цілей сталого розвитку усього регіону [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження показують, що оцінці екологічного стану малих річок Східного Поділля не приділяється достатньої уваги. Наукові дослідження переважно зосереджені на загальних екологічних проблемах малих річок України [9–12], ландшафтознавчих аспектах антропогенних водойм Поділля [2], але щодо вивчення питання екологічного стану малих річок регіону, то воно потребує глибшого вирішення вченими-гідрологами, гідробіологами, ландшафтознавцями, екологами. Враховуючи подальше загострення зазначених проблем науковцям і громадськості слід активніше шукати шляхи їх розв'язання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Тема наукового дослідження відповідає важливим напрямам оздоровлення малих річок України та щодо охорони, збереження, відтворення і раціонального використання водних ресурсів. Впровадження дієвих заходів може сприяти поліпшенню стану навколишнього середовища в басейнах малих річок і зменшенню наслідків погіршення екологічної ситуації.

Методичне або загальнонаукове значення – вивчити вплив різних антропогенних чинників (джерел і видів забруднення) на водозбори малих річок Східного Поділля, які формують їхній гідрологічний, гідрохімічний, гідроморфологічний і гідробіологічний стан. Запропонувати заходи, які необхідно виконати з метою поліпшення екологічного стану, охорони та раціонального використання малих річок регіону.

Викладення основного матеріалу. Територією Східного Поділля протікає 3594 річки і струмки, загальною протяжністю 11,8 тис. км. Серед них 3368 струмків, протяжністю менше 10 км, мають загальну довжину 6400 км, 226 малих річок, протяжністю більше 10 км, мають загальну довжину – 4535 км. Загалом малих річок довжиною понад 5 км – 451, їхня загальна довжина становить 6055 км. 225 малих річок регіону мають протяжність від 5 до 9,9 км, струмків і водотоків довжиною менше 5 км є 3145, їхня загальна довжина складає 4880 км. Всього річок довжиною понад 5 км на території Східного Поділля є 457, їхня загальна довжина становить 6920 км. Загальна сумарна довжина всіх малих річок регіону становить 10 935 км. На річках створено 65 водосховищ з площею водного дзеркала 11167 га і 4033 ставки – 20 552 га, сумарною площею – 31719 га. Густота річкової мережі становить 0,45 км/км^2 [4, 8]. Згідно Водного кодексу України, до малих річок належать водотоки, які мають площу водозбірного басейну не більше 2000 км^2 за умови, що річка розташована в одній фізико-географічній зоні. За довжиною водного потоку до малих річок відносяться водотоки довжиною, яка не перевищує 100 км [1].

Найбільша кількість малих річок регіону входить до складу гідрографічної мережі річок Південний Буг (62%), Дністер (28%) і Дніпро (10%) (табл. 1) [8].

Річки регіону живляться дощовими (48%), сніговими (25%) і підземними (27%) водами. Переважна більшість (60%) малих річок довжиною більше 30 км мають площу водозбору від 31,2 до 1770 км^2 (басейн Південного Бугу). Площа водозбору малої

Таблиця 1

Середній річний стік малих річок та площі водозбору в межах Східного Поділля

Басейн	Площа водозбору, тис. км^3	Середній річний стік, млн. м^3
Південний Буг	16,4	960
Дністер	7,5	380
Дніпро	2,6	160

річки в регіоні становить майже 28,1 км^2. Середня довжина малої річки – 15 км, а пересічна густота річкової мережі 0,38 км/км^2 (найбільша вона у басейні річки Рів – 0,53 км/км^2, а найменша в басейні Дохни – 0,23 км/км^2) [4, 6].

Вплив малих річок на водні ресурси Східного Поділля проявляється через існування на територіях їхнього водозбору відповідних антропогенних ландшафтів, що визначається відповідним гідрохімічним режимом і якістю води середніх і великих річок регіону. В умовах однорідного ландшафту, який характерний для басейнів річок Східного Поділля, де мають місце невеликі витрати води, досить активно проходить вплив антропогенних і природних чинників на них. На противагу великим і середнім річкам, малі річки дуже чутливі до антропогенного впливу, що проявляється через хімізацію аграрного виробництва, а також забруднення стічними водами промислових і сільськогосподарських підприємств та комунальних господарств. Нині малі річки використовують як важливий ресурс для господарських потреб, що призводить до погіршення транспортуючої здатності водних артерій. Це, у свою чергу, стає причиною замулення їхніх русл, заростання і зменшення водності. Надмірний рівень розораності агроландшафтів (72,5%) і недосконалість сучасних методів застосування добрив у сільському господарстві стає причиною подальшого погіршення водно-фізичних властивостей ґрунтів в межах водозборів та умов формування стоку води і наносів. Таке антропогенне навантаження сприяє вимиванню з ґрунтів біогенних елементів, що викликає погіршення екологічного стану водотоків і сприяє процесам евтрофікації малих річок і споруджених на них ставків і водосховищ [5].

Екологічний стан малих річок Східного Поділля визначається таким показником як морфологічні особливості їхніх русл, а їхня динамічна рівновага можлива лише при збереженні природної швидкості течії, що сприяє переміщенню матеріалів твердого стоку в межах русла. Наявність швидкої течії сприяє поступовому поглибленню русла річки, а також допомагає очищенню від різноманітних механічних забруднювачів. Але лише при дотриманні величини базису ерозії русла, його природної форми водний потік буде мати властиву йому глибину для підтримання необхідної швидкості течії і природних фізичних і екологічних процесів, які властиві річці. Важливу роль відіграють меліоративні роботи, що нерідко проводяться в межах водозбору і стають причиною зміни швидкості течії і форми русла, що призводить до порушення руслових систем, цілісності руслового потоку від витоку до гирла. Такі тривалі процеси сприяють поступовому відмиранню місць витоків, а в подальшому й усієї річкової екосистеми. Наразі в межах Східного Поділля вже не існує жодної малої річки, де б не були змінені природні процеси як результат господарської діяльності людини і стали однією із важливих водоохоронних проблем [4, 6].

Значної шкоди малим річкам завдає скидання забруднюючих речовин. Наприклад, за 2019 рік у поверхневі води Східного Поділля скинуто забруднених стічних вод 0,672 млн. м^3, що на 0,32 млн м^3 менше з попереднім роком. Забруднені стічні води скидали підприємства комунальної галузі: (КП «Іллінціводоканал» м. Іллінці (0,192 млн м^3), КП «Тульчинводоканал» м. Тульчин (0,402 млн м^3), КП «Немирівводоканал» (0,062 млн м^3), КП «Якушинецьке СКЕП "Сількомсервіс"» с. Якушинці (0,017 млн м^3). Разом із стічними водами у водойми області в 2019 році надійшло 0,063 тис. т азоту амонійного; 0,181 тис. т $БСК_5$; 0,099 тис. т завислих речовин; 0,504 тис. т нітратів; 0,030 тис. т нітритів; 1,497 тис. т сульфатів; 11,92 тис. т сухого залишку; 3,818 тис. т хлоридів; 0,380 тис. т ХСК; 0,162 т алюмінію; 0,893 т заліза; 0,204 т нафтопродуктів, 1,329 т СПАР; 0,102 т цинку; 0,099 т фтору; 34,48 т фосфатів. На сьогодні спостерігається тенденція до зниження ефективності роботи очисних споруд, що пов'язано з фізичним зношенням їх обладнання, а технічний стан усіх каналізаційних очисних споруд потребує їх модернізації і реконструкції, значних капіталовкладень (табл. 2) [3].

У загальному об'ємі водовідведення найбільшою є частка нормативно чистих без очистки вод – на які припадає 50% загального об'єму водовідведення (30,0 млн м^3), нормативно очищених на очисних спорудах – 47% (28,1 млн м^3), з них на очисних спорудах на спорудах біологічного очищення 28,1 млн м^3 та на спорудах фізико-хімічного очищення 0,038 млн м^3. Забруднених стічних вод було скинуто у поверхневі водні об'єкти 1% від загального об'єму водовідведення (0,67 млн м^3), некатегорованих – 2% (0,89 млн м^3) (рис. 1) [3].

Певним чином на екологічний стан малих річок Східного Поділля впливає створення на них ставків і водосховищ, а від режиму їх роботи залежать особливості проходження руслових процесів (замулювання, заростання, поступові зміни у природному руслі річки). Нерівномірні пропуски води, якими відзначаються гідрологічні споруди, є причиною інтенсивного поглиблення та ерозійні процеси, а також прискорюється процес замулення більш

Таблиця 2

Динаміка скиду забруднюючих речовин у складі стічних вод

Рік	ХСК, тис. т	Завислі речовини, тис. т	Сухий залишок, тис. т	Сульфати, тис. т.	Хлориди, тис. т	Азот амонійний, тис. т	Нітрати, тис. т	Нітрити, тис. т	Нафтопродукти, т	СПАР, т	Цинк, т	Фосфати, т	Залізо, т
2015	0,273	0,144	7,561	0,975	2,947	0,081	0,594	0,030	0,449	0,537	0,195	49,81	1,930
2016	0,287	0,113	7,710	0,858	3,053	0,052	0,538	0,032	0,540	0,444	0,220	37,77	1,623
2017	0,362	0,085	10,16	0,776	3,194	0,047	0,642	0,034	0,184	0,447	0,119	28,94	1,204
2018	0,312	0,096	10,72	1,328	3,507	0,051	0,499	0,042	0,229	0,73	0,082	42,54	1,006
2019	0,380	0,099	11,92	1,497	3,818	0,063	0,504	0,030	0,2	1,3	0,1	34,5	0,9

віддалених ділянок русла. Уповільнення пропусків води із ставків і водосховищ сприяють прискоренню акумулятивних процесів у зоні «виклинювання» підземних вод в межах підпору гребель ставків за рахунок зниження транспортуючої здатності потоку. Також зростає швидкість замулювання верхів'їв річок, що призводить до їх поступового відмирання. При врахуванні належного планування роботи та експлуатації ставків і водосховищ на малих річках, вони мають здатність виконувати функції потужних природних біофільтрів на шляху забруднених вод, що надходять з промислових, сільськогосподарських і побутових підприємств.

У водні об`єкти Вінницької області за 2019 рік скинуто 59,7 млн. м³ стічних вод, у тому числі комунальним господарством – 27,7 млн. м³ (46% від загального об'єму), сільським господарством – 26,3 млн. м³ (44%), промисловістю – 4,8 млн. м³ (8%), іншими галузями – 0,9 млн. м³ (2%) (табл. 3) [3].

В умовах інтенсивного антропогенного навантаження забезпечення екологічного благополуччя річкових екосистем залежить від величини річкового



Рис. 1. Скид стічних вод у 2019 році за категоріями стічних вод

стоку, що можливе при належному функціонуванні екосистем річкових долин у різні періоди гідрологічного режиму. Але варто врахувати, що зарегулювання стоку малих річок Східного Поділля відбувалось і відбувається без належного екологічного обґрунтування і без відповідного контрольно, тому важливу роль у вирішенні негативних екологічних процесів можуть відігравати громадські екологічні організації, які при належному підході можуть забезпечити екологічну стійкість малих річок і струмків.

Нині актуальною проблемою є інтенсивне замулювання малих річок, причиною якого є сучасні ерозійні процеси в межах водозбору, абразія берегів, зниження швидкості течії, штучне пониження базису ерозії, утворення значної кількості застійних зон у руслах річок. Також цьому сприяє відсутність весняних повеней та паводків, які майже не зустрічаються на малих річках Східного Поділля, що є результатом їх зарегулювання ставками і водосховищами. Показник, що вказує на початок процесу замулювання малих річок і штучних водойм на них є щорічне зростання середньої каламутності води.

Одна з важливих причин погіршення екологічного стану малих річок Східного Поділля – це негативні антропогенні процеси в межах суміжних ландшафтів, до яких належать, зокрема, знищення лісових і лучних екосистем, що призводить до посилення ерозійних процесів і збільшення твердого стоку. Інтенсивність ерозійних процесів стає важливою загрозою подальшому життю та самому існуванню річок. Так, господарська діяльність людини стала причиною виникнення екологічних проблем, причини яких пов'язані з різними типами ерозійних процесів в межах водозбірних басейнів. Дослідження показують, що при інтенсивному розвитку ерозійних процесів русла малих річок поступово замулюються і відмирають, особливо це небезпечно для струмків довжиною до 10 км, які є важливим джерелом їх живлення. Також варто зазначити, що поряд із заростанням русла водно-болотною і водною рослинністю процес замулювання призводить до скорочення довжини малих річок і

Таблиця 3

Підприємства-забруднювачі малих річок Східного Поділля

Найменування водокористувача-забруднювача	наявна потужність ($м^3$/добу) очисних споруд	2019 рік		
		об'єм скидання зворотних вод, тис. $м^3$	у т. ч. об'єм скидання забруднених (без очи-щення) і недостатньо очи-щених зворотних вод (НДО), тис. $м^3$	кількість забруд-нюючих речовин, що скидаються разом із зворот-ними водами, т
КП "Іллінціводоканал" Іллінецької міської ради м. Іллінці (річка Соб)	800	191,9	НДО – 192,0	268
КП "Тульчинводоканал" м. Тульчин (річка Сільниця)	3500	402,3	НДО – 402	426
СКЕП "Сільсервіс" с. Якушинці (річка Вишня)	200	16,7	НДО – 17	5
КП "Немирівводоканал" Немирівської міської ради м. Немирів (річка без назви – басейн річки Устя)	60	61,5	НДО – 62	34

струмків, зменшення водності та їх поступового і неминучого відмирання.

Інтенсивна господарська діяльність у басейнах малих річок призводить до зменшення їхнього річного стоку і водності. Подекуди зустрічаються процеси розчищення і поглиблення деяких русл малих річок, але вони проводяться вкрай не часто, їх спрямлення, облицювання берегів (річка Вишня в межах м. Вінниця) не сприяють збільшенню водності, а нерідко навпаки, призводять до подальшого погіршення руслових процесів в середині водойм, їх гідробіологічного режиму, зниження показників якості води. Нині на малих річках Східного Поділля спостерігається уповільнення природних процесів самоочищення води, що призводить до накопичення в руслах малих річок забруднюючих речовин та їх замулення. Для поліпшення руслових процесів необхідно вживати сучасні новітні комплексі заходи, спрямовані на поліпшення гідрологічного режиму малих річок. Необхідно завжди враховувати фізико-географічні особливості долини річки та господарської діяльності в її межах, адже лише впроваджуючи такі заходи можна досягнути бажаних результатів. Заходи, що можуть суттєво знизити у меженний період рівень ґрунтових вод на прируслових територіях і призвести до пересушування заплавних ландшафтів, це роботи з розчищення русл малих річок з метою збільшення їх дренуючої здатності, або пропускання більших, ніж є, об'ємів поверхневих вод. Тому втручання у структуру русл малих річок необхідно супроводжувати детальними науковими дослідженнями кожної річки. Як засвідчують дослідження, позитивні наслідки від розширення, поглиблення чи випрямлення русл без застосування водоохоронних заходів на площі водозбору можуть мати лише тимчасовий характер.

Особливо негативними екологічними умовами відзначаються малі річки, що протікають через значні урбоекосистеми. Міський річковий ландшафт є важливим фізико-географічним елементом і своєрідним екологічним коридором у межах міських селитебних ландшафтів. Відомо, що річкові коридори відіграють важливу екологічну роль: забезпечення місця проживання і міграції рослин і тварин, діючі фільтри і бар'єри, джерела води. Господарська діяльність людини значно змінила структуру і функцію міських річкових ландшафтів через прискорене перетворення суміжних ландшафтних комплексів, випрямлення русл, промислового розвитку, роботи комунальних господарств, що призвело до забруднення води, ерозійних процесів на схилах, що безпосередньо прилягають до річки, седиментації і затоплення прибережних ландшафтів. Господарська діяльність людини сприяє погіршенню природної різноманітності річок, збідненню краси річкових ландшафтів міст. Наприклад, річка Вишня (довжина 22 км, у межах Вінниці – 6,2 км) є показником погіршення екологічної стану ландшафтів серед яких вона протікає. Особливо це стосується ділянки, що знаходиться в межах міста, де неподалік русла (20–30 м) зведені будинки, а городні ділянки інколи підходять безпосередньо до самого русла. Як засвідчили спостереження (2017–2021 р.), важливим показником якості води в річці є цвітіння води, що з кожним роком розпочинається в коротші терміни після настання тепла. Такі процеси свідчать про зростання органічного забруднення води. Особливо екологічно небезпечним для річки Вишня є весняний період, коли в річку під час танення снігу потрапляють талі води з вмістом солі, яку використовують для посипання доріг під час зимового періоду, що стає причиною поступового засолення водойми.

Найвагоміші чинники, що становлять екологічну небезпеку для малих річок Східного Поділля, зокрема такі: 1) забруднення річок комунальними, промисловими і сільськогосподарськими стоками; 2) збільшення ерозійних процесів, що сприяє забрудненню поверхневих стоків, які надходять у водойми внаслідок розорювання схилів, балок, ярів, витоків річок, інтенсивного використання заплавних територій під господарську діяльність і приватну забудову; 3) зменшення дренуючої здатності русл малих річок через їх замулення; 4) незворотне використання стоків; 5) зростання зарегульованості поверхневого стоку, що підвищує рівень мінералізації води у ставках (внаслідок випаровування з їх водного дзеркала в середньому 0,5 метрового шару води впродовж року); 6) замулення річок через вирубування лісових і випалювання лучних екосистем на площі водозбору і невідповідність співвідношення площ лісів, лук і орних земель; 7) осушення вільшаників і трав'яних боліт у притерасних ділянках заплав, які є джерелом живлення більшості малих річок [6].

Основним законодавчим актом, який регулює правові відносини у галузі водного господарства, є «Водний кодекс України», важливе місце в якому займає питання охорони поверхневих вод [1]. Водоохоронні заходи, які нині задіяні для відновлення, оздоровлення, збільшення водності і поліпшення якості води в малих річках необхідно застосовувати з урахуванням комплексного підходу, що має сприяти процесам покращення стану навколишнього середовища Східного Поділля загалом. Часткове впровадження природоохоронних і екологічних заходів до бажаних результатів практично не призводить. Дослідження показують, що після розчистки руслових ділянок річок від мулу, за короткий час вони знову замулюються ще з більшою швидкістю. Тому лише комплексна система заходів сприятиме оздоровленню малих річок, що передбачає вплив не лише безпосередньо на гідро-екосистему, а має охоплювати весь водозбірний басейн, який зазнає активного антропогенного навантаження і відображається на стані усієї водної екосистеми. Такий обсяг робіт досить значний і потребує чимало фінансових, матеріальних і виробничих затрат.

Розробляючи систему заходів, спрямованих на оздоровлення та поліпшення екологічного стану малих річок Східного Поділля, необхідно визначити як першочергові пріоритети, так і віддалені перспективи. Найвагомішим питанням цієї роботи є шлях раціонального водокористування в межах басейнів малих річок. Також необхідна різнопланова охорона і відтворення природних ресурсів з обов'язковим виділенням природних ландшафтних комплексів і об'єктів природно-заповідного фонду. Тому необхідно істотно переглянути існуючі насьогодні принципи природокористування в регіоні. особливо у басейнах малих річок. Для вирішення цих питань необхідно врахувати рівень співвідношення між природними і антропогенними територіями, яке має становити 60% на 40%. Для вододілів рекомендоване відсоткове співвідношення ріллі, природних кормових, лісових та водних угідь повинно відповідати пропорції 30:30:20:20 [4].

Найістотніше впливають на басейни малих річок території сільськогосподарського призначення, серед яких значну частку мають орні землі, які інколи знаходяться на схилах, що мають ухил понад 5-7º. Такі схили, а також яри і балки залужують або заліснюють [5]. Тому для збереження малих річок доцільно створити на ділянках природних річкових долин, які збереглися, заказники як резервати біотичного і ландшафтного різноманіття та рослинного й тваринного генофонду. Адже тут зустрічаються колонії сірих журавлів і чапель, сотні лелек, лебеді-шипуни, а в хащах очерету, осоки й рогозу – болотні луні, колонії чайок, диких качок і гусей, на мілководдях росте латаття біле, глечики жовті, водяний горіх плаваючий. Для цього необхідно створити прибережні захисні смуги (ПЗС) й повністю виключити із господарської діяльності заплави рік. Сьогодні ПЗС не повною мірою виконують відведену їм роль буфера на шляху забруднення і самі часто перетворюються на джерело забруднень. Площа ПЗС вздовж малих річок і ставків регіону має складати 35,6 тис. га, а в басейні річки Південний Буг – 5,6 тис. га, проте за відсутності фінансування такі роботи майже не проводяться [6-8].

Важливим чинником поліпшення екологічного стану малих річок Східного Поділля є раціональне використання природних ресурсів в межах їх басейнів. До значних і нерідко незворотних негативних процесів в екосистемах малих річок і до подальшої їх деградації призводить зміна водного режиму річок, осушування водно-болотних і заплавних ландшафтних комплексів, випрямлення русл і облицювання берегових схилів.

Для того, щоб поліпшити якість води малих річок регіону необхідно зменшити об'єми або припинити повністю скидання до них забруднених стічних вод. До заходів, які спрямовані на виведення річкових екосистем із незадовільного і досить небезпечного екологічного стану, зниження негативного впливу забруднень внаслідок надходження до русл малих річок належать такі: 1) нормування водного режиму, необхідного для нормального функціонування гідрологічних екосистем, що досягається регулюванням водного потоку стоку ставків і водосховищ за допомогою шлюзів, а також завдяки спорудженню шпор, на-пів запруд, зміни шершавості русла тощо; 2) спорудження біоплато (для очищення води, визначені як осередки біорізноманіття); 3) побудова переливних фільтруючих кам'яно-накидних запруд і на-пів запруд; 4) створення прирусловых водоохоронних і прибережних лісових смуг тощо; 5) проведення безперервних наукових натурних комплексних (гідрологічних, гідрогеологічних,

інженерно-геологічних, гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних, фітоценотичних, іхтіологічних, еколого-економічних) досліджень для визначення сучасного екологічного стану басейнів малих річок регіону. Комплексні наукові дослідження виконувати за три роки після закінчення виконання водоохоронних заходів [5].

Головні висновки. Існує низка причин, що сформували різнобічний комплекс сучасних екологічних проблем малих річок Східного Поділля. Насамперед, це безконтрольна, безвідповідальна, нераціональна і науково необґрунтована діяльність людини у напрямку використання водних ресурсів малих річок, а також і відсутність екологічних знань у більшості місцевого населення регіону. Тому сьогодні необхідно організовувати й впроваджувати стратегічну екологічну оцінку (СЕО) та оцінку впливу на довкілля (ОВД) небезпечних об'єктів, які впливають на екологічний стан малих річок, а також здійснювати водогосподарську інвентаризацію, паспортизацію, аудит й менеджмент їхніх басейнів, постійно здійснювати первинний облік і гідро- (хімічний, логічний, морфологічний, біологічний) моніторинг та план управління басейном малих річок, створивши банки екологічної інформації та консультативно-впроваджувальні центри з гідроекологічних питань.

Література

1. Водний Кодекс України. К.: Астрея, 1995. 60 с.
2. Денисик Г.І., Хаєцький Г.С., Стефанков Л.І. Водні антропогенні ландшафти Поділля. Вінниця: Теза, 2007. 216 с.
3. Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області (2019 р.). URL: http://www.vin.gov.ua/images/doc/vin/departament-apk/doc/OperMonitor/Dopov/Dop2019.pdf (дата звернення 1.08.2022).
4. Екологічна безпека Вінниччини [Монографія] / За заг. ред. Олександра Мудрака. Вінниця: ВАТ «Міська друкарня», 2008. 456 с.
5. Мудрак О.В. Екологічні проблеми малих річок Вінницької області і шляхи їх вирішення. *Екологічний вісник.* 2004. № 3(25). С. 26–29.
6. Мудрак О.В. Науково-методичні та практичні підходи до охорони й менеджменту заповідних гідрологічних об'єктів як елементів регіональної екологічної мережі (на прикладі Поділля) / М-ли міжн. наук.-прак. конф. «Охорона і менеджмент об'єктів неживої природи на заповідних територіях» (смт Гримайлів, 21–23.05.2008 р). Гримайлів-Тернопіль: «Джура», 2008. С. 220–226.
7. План управління річковим басейном Південного Бугу: аналіз та першочергові заходи / За ред. С. Афанасьєва, А. Петерс, В. Сташука та О. Ярошевича. Київ: Вид-во ТОВ «НВП "Інтерсервіс"». 2014. 188 с.
8. Реєстр річок Вінницької області / Автор-укладач Гавриков Ю.С. Вінниця: Басейнове управління водних ресурсів річки Південний Буг, 2018. 28 с.
9. Романенко В.Д. Основи гідроекології: Підручник. К.: Обереги, 2001. 728 с.
10. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. К.: «Ніка-Центр», 2001. 264 с.
11. Хімко Р.В. Мережко О.І., Бабко Р.В. Малі річки. Дослідження, охорона, відновлення. К.: Ін-т екології, 2003. 378 с.
12. Яцик А.В. Водогосподарська екологія. Т. 1. Кн. 1. Основи гідрології суходолу. К.: Генеза, 2003. 400 с.

УДК 502.51
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.22

ГІДРОЛОГІЧНІ ЗАПОВІДНІ ОБ'ЄКТИ ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО ПРИДНІСТЕР'Я: ЕКОЛОГІЧНА РОЛЬ ТА ВИКОРИСТАННЯ

Питуляк М.Р.[1], **Питуляк М.В.**[1], **Кузик І.Р.**[1], **Стецько Н.П.**[1], **Хом'як Н.В.**[1], **Жулканич Б.М.**[2]
[1]Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, 46000, м. Тернопіль
[2]Ужгородський національний університет
пл. Народна, 3, 88000, м. Ужгород
myroslava.pytuliak@gmail.com, mykola.pytuliak@gmail.com, kuzyk@tnpu.edu.ua,
stetzko@gmail.com, boris.zhulkanich@uzhnu.edu.ua

У статті проаналізовано особливості структури та значення гідрологічних заповідних об'єктів Тернопільського Придністер'я. Визначено показник заповідності межах об'єднаних територіальних громад,який змінюється в межах від 9-46%. Площа об'єктів і територій ПЗФ в межах територіальних громад Тернопільського Придністер'я складає 52055,5 га. Найвища частка природно-заповідних територій фіксується у Мельнице-Подільській селищній територіальній громаді – 56,5%. З'ясовано ,що гідрологічні природо заповідні об'єкти представлені у структурі природно-заповідного фонду всіх територіальних громад Тернопільського Придністер'я на території НПП «Дністровський каньйон» та РЛП «Дністровський каньйон».

Проведено аналіз структури гідрологічних природо заповідних об'єктів. На території Тернопільського Придністер'я під заповіданням знаходиться 3 водоспади, які займають площу 3,7 га; 4 джерела виходу підземних вод (0,06 га) та карстові озерця площею 5 га у с. Озеряни Борщівської територіальної громади. Таким чином, можна стверджувати, що різноманіття гідрологічних заповідних об'єктів Тернопільського Придністер'я є незначним у територіальному відношенні, але вони мають важливе пізнавальне, водоохоронне, рекреаційне значення. Найвищий рекреаційно-туристичний потенціал мають природні водоспади – Русилівські, Сокілецькі та штучний водоспад між селами Нирків та Нагоряни – Червоногородський (на р. Джурин). Формування природних водоспадів пов'язано з особливостями геологічної будови на даній території.

Важливим є значення гідрологічних заповідних об'єктів як природних осередків формування екомережі,а також для формування екологічної культури та вирішення еколого-економічних проблем водокористування. *Ключові слова:* гідрологічні заповідні об'єкти, природо-заповідний фонд, водоспади, озера, Тернопільське Придністер'я, водні об'єкти.

Hydrological protected objects of Ternopil Prydnisteria: ecological role and use. Pytuliak M., Pytuliak M., Kuzyk I., Stetsko N., Khomiak N., Zhulkanych B.

Peculiarities of the structure and significance of hydrological protected objects of Ternopil Prydnisteria have been analyzed in the article. The rate of conservation within the united territorial communities has been determined, which varies from 9% to 46%. The area of the objects and territories of the natural reserve fund within the territorial communities of Ternopil Prydnisteria is 52055,5 hectares. The highest share of nature-reserved territories has been recorded in Melnytsia-Podilska territorial community – 56.5%. It has been found out that the hydrological nature-reserved objects are represented in the structure of the nature reserve fund of all territorial communities of Ternopil Prydnisteria on the territory of the Dnister Canyon NPP and the Dnister Canyon RLP.

The analysis of the structure of hydrological nature protected objects has been carried out. On the territory of Ternopil Prydnisteria under the reserve there are 3 waterfalls, which occupy the area of 3,7 hectares; 4 sources of ground waters (0,06 ha) and karst lakes with the area of 5 ha in Ozeriany village in Borshchiv territorial community. Thus, it can be argued that the diversity of hydrological reserved objects of the Ternopil Prydnisteria is insignificant in territorial terms, but they have important educational, water protection, and recreational value. The highest recreational and tourist potential is possessed by the following natural waterfalls – Rusyliv waterfalls and Sokiletskyi waterfalls, and an artificial waterfall between Nyrkiv and Nahiriany villages – Chervonogorod waterfall (on the Dzhuryn River). The formation of natural waterfalls is associated with the peculiarities of the geological structure in the area.

It is important to highlight the importance of hydrological protected objects as natural centers for the formation of eco-networks, as well as for the formation of ecological culture and the solution of ecological and economic problems of water use. *Key words:* hydrological protected objects, natural reserve fund, waterfalls, lakes, Ternopil Prydnisteria, water objects.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції глобальних і регіональних змін клімату, зменшення запасів прісної води, зниження рівня підземних вод, зумовлюють необхідність активізувати усі форми і способи збереження водних ресурсів. Найбільш репрезентативним напрямком охорони і збереження водних ресурсів є створення гідрологічних заповідних об'єктів. Особливо актуальною є проблема сучасного стану водних об'єктів у Тернопільській області, яка характеризується високою сільськогосподарською освоєністю та розораністю території. Після проведеної у XX ст. тотальної меліорації на теренах Тернопільщини, збереження і охорона водних ресурсів є пріоритетним напрямком екологічної та соціально-економічної політики регіону.

Актуальність дослідження. Через Тернопільську область протікає 2 великі річки Дністер і Горинь, 5 середніх річок, 5 малих і понад 20 дуже малих потоків (довжиною до 10 км). На території області є 26 водосховищ та 886 ставків. Найвища щільність річкової мережі спостерігається на півдні області, де усі річки Західного Поділля впадають у р. Дністер.

Дослідження гідрологічних заповідних об'єктів саме цієї території – Тернопільського Придністер'я, є актуальним та важливим науково-практичним завданням. *об'єктом* нашого дослідження обрано гідрологічні заповідні об'єкти на території Тернопільського Придністер'я, а *предметом* – структуру та функціональну роль цих об'єктів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тематика дослідження відповідає планам науково-дослідних робіт, які проводяться на кафедрі географії і методики її навчання ТНПУ: «Географічні дослідження природно-господарських геосистем Поділля». А також, темою науково-дослідної роботи кафедри геоекології та методики навчання екологічних дисциплін ТНПУ: «Концептуальні і прикладні засади геоекологічної оцінки впливу на довкілля, природоохоронного менеджменту та екологічної безпеки геосистем Подільського регіону».

Результати дослідження мають важливе прикладне значення для реалізації Програми охорони навколишнього природного середовища у Тернопільській області на 2021–2027 роки, Програми розвитку водного господарства та водно-екологічного оздоровлення природного середовища Тернопільської області на 2021–2024 роки, розробки стратегії сталого розвитку територіальних громад Тернопільського Придністер'я, реалізації проектів фонду регіонального розвитку, інфраструктурних та екологічних проектів у цих громадах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми пов'язані із зміною клімату та зниженням рівні підземних і поверхневих вод, в останні кілька років, активізували дослідження водних заповідних об'єктів та гідрологічної мережі загалом. Характеристику природно-заповідного фонду,в тому числі заповідних гідрологічних об'єктів Тернопільської області подано М.Р. Питуляк, М.В. Питуляк в колективній монографії «Заповідне Поділля». Дослідження заповідних гідрологічних об'єктів області, їх стан і роль в умовах аридизації клімату представлено в роботі Царика Л., Царика П., Царика В. [7]. У статті висвітлено роль гідрологічних заповідних об'єктів у збереженні та охороні водних ресурсів краю, проведено аналіз стану природозаповідних водних об'єктів. Подібні дослідження на території Волинської області проводили Карпюк З., Фесюк В., Чижевська Л. [3]. У дослідженні природно-заповідного фонду Волинської області, проведеного колективом авторів Карпюк З., Шевчук О., Ярмолюк Д., звернено увагу на особливості охорони водних екосистем у гідрологічних заказниках і пам'ятках природи [9].

Окремі гідрологічні заповідні об'єкти, їх унікальність та рекреаційне використання у своїх публікаціях висвітлювали Свинко Й. [6], Леньків І. [4] та інші. Комплексна характеристика об'єктів і територій ПЗФ Тернопільського Придністер'я наведена у дослідженнях Царика Л.П. [1].

Новизна. Наукова новизна одержаних результатів дослідження полягає у тому, що в статті проведено аналіз та узагальнено структуру гідрологічних заповідних об'єктів на території територіальних громад Тернопільського Придністер'я. Визначено кількість та площі гідрологічних заповідних територій, оцінено екологічний стан та рівень збереження водних об'єктів громад. Обгрунтовано перспективи використання гідрологічних заповідних об'єктів в екологічному туризмі та рекреації.

Методологічне або загальнонаукове значення проведеного дослідження полягає в удосконаленні підходів до аналізу та виділення природно-заповідних територій гідрологічного спрямування у межах природних та адміністративних районів. Матеріалами для проведення дослідження послужили дані Управління екології та природних ресурсів Тернопільської ОДА [5]. У дослідженні використано як загальнонаукові методи: узагальнення та систематизація, статистичний, системно-структурний, описовий, так і спеціальні: ландшафтно-екологічний, геоінформаційний, геоекологічний аналіз та моделювання.

Виклад основного матеріалу. Тернопільське Придністер'я – географічно охоплює територію колишніх Бучацького Монастириського, Заліщицького та Борщівського районів. Сьогодні це території об'єднаного Чортківського адміністративного району (рис. 1). Безпосередньо до Дністра примикає 8 територіальних громад – Монастириська, Коропецька, Золотопотіцька, Товстенська, Заліщицька, Борщівська, Іване-Пустенська та Мельнице-Подільська.

Загальна кількість об'єктів в межах Чортківського адміністративного району, до якого належить Тернопільське Придністер'я складає 295 одиниць



Рис. 1. Адміністративні території Тернопільського Придністер'я

природо заповідного фонду. Вони займають площу 75433,6 га, що становить 15,1% території. Цей показник є найвищим серед районів області. Найвища частка природно-заповідних територій фіксується у Мельнице-Подільській селищній територіальній громаді – 56,5%. В громаді нараховується 22 об'єкти природно-заповідного фонду (ПЗФ) загальною площею 13816,7 га. Заповідність громад вздовж річки Дністер коливається в межах 9–46%. Загальна площа об'єктів і територій ПЗФ в межах територіальних громад Тернопільського Придністер'я складає 52055,5 га.

Гідрологічні заповідні об'єкти представлені практично у кожній територіальній громаді Тернопільського Придністер'я. Репрезентують збереження водних об'єктів вздовж Дністра переважно гідрологічні пам'ятки природи, ландшафтні та іхтіологічні заказники місцевого значення. Беззаперечним є той факт, що збереження та охорона водних ресурсів, особливо річки Дністер, а також її приток відбувається у межах НПП «Дністровський каньйон» та РЛП «Дністровський каньйон». Варто зазначити, що РЛП «Дністровський каньйон» був першим регіональним ландшафтним парком України [8], створений за ініціативи відомого природоохоронця Тернопільщини – М.П. Чайковського. Враховуючи те, що у структурі земельних угідь НПП і РЛП «Дністровський каньйон» переважають землі під водою та болотами, а основним завданням цих заповідних об'єктів є збереження та охорона екосистеми річки Дністер, можна стверджувати, що ці об'єкти ПЗФ відграють важливу роль у збереженні водних ресурсів Тернопільського Придністер'я.

Окрім НПП «Дністровський каньйон» та РЛП «Дністровський каньйон» у межах Тернопільського Придністер'я нараховується 9 гідрологічних пам'яток природи місцевого значення, загальною площею 8,76 га та 2 іхтіологічні заказники – «Касперівського-Городоцький» і «Городоцько-Добрівлянський». Іхтіологічні заказники є основними місцем відтворення вирезуба – виду, занесеного до Червоної книги України. «Касперівського-Городоцький» іхтіологічний заказник, площею 38,6 га розташований у Чортківському районі Заліщицькій територіальній громаді у межах населених пунктів Касперівці, Городок, Дунів, Кулаківці. Заказник охоплює територію вздовж річки Серет від дамби Касперівської ГЕС до гирла. «Городоцько-Добрівлянський» іхтіологічний заказник, площею 51 га розташований у Чортківському районі Заліщицькій територіальній громаді у межах території сіл Касперівці, Городок, Добрівляни та Бедриківці. Із 1994 року у Заліщицькій територіальній громаді функціонує гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення Джерело «Біла криниця №1» на площі 0,02 га. Заповідний об'єкт знаходиться на північно-східній околиці села Харитонівна в долині невеличкого потічка, що впадає у річку Тупа (притоку Дністра) [5].

Поблизу Заліщицької територіальної громади між селами Нирків та Нагоряни, в долині річки Джурин знаходиться Червоногородський водоспад. Це гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення, площею 0,7 га, створена рішенням виконавчого комітету Тернопільської обласної ради ще у 1972 році. Сьогодні це відомий рекреаційний об'єкт на території Товстенської сільської територіальної громади [5].

Відомі рекреаційні і природоохоронні території – «Русилівські» і «Сокілецькі» водоспади у Золотопотіцькій територіальній громаді, знаходяться в межах НПП «Дністровський каньйон». Гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення «Русилівські водоспади», площею 2 га розташована між селами Русилів та Скоморохи на території Золотопотіцької територіальної громади, в межах Язловецького лісництва Державного підприємства «Бучацьке лісове господарство». Пам'ятка природи представлена каскадом із 20 водоспадів різної висоти (від 1,5 до 12 м) і шириною 10–15 м кожний. Загальна висота водоспадів сягає 150 м [4, 6].

Виникнення й розвиток каскаду обумовлений сприятливими геологічними умовами: наявністю потужної товщі шарів гірських порід різної міцності та інтенсивними тектонічними підняттями території, які призвели до утворення численних розривів у цих породах. Загальна довжина потоку — приблизно 3 км. Верхня його частина в межах пологого схилу плато має порівняно невеликий нахил русла. З наближенням до долини Стрипи нахил русла різко збільшується. Швидкість течії зростає, в руслі появляється ряд східчастих уступів, які утворюють каскад. Потічок бере початок з джерел (місцева назва «Нори») у с. Русилів [6].

Гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення «Сокілецькі водоспади», площею 1 га розташована в околицях с. Сокілець Золотопотіцької територіальної громади. Під охороною знаходиться 6 водоспадів висотою 2–11 метрів, віддаль між ними приблизно становить 10–15 м. Водоспади утворились на порожистому руслі потічка з цілим рядом уступів. Потічок, якому дають початок кілька джерел підземних вод у верхів'ї яру, врізається в потужну товщу девонських темно-червоних пісковиків і аргілітів, які перекриті товщею літотамнієвих вапняків. Залягання цих гірських порід дуже добре проглядаються у верхів'ї яру [4].

Окрім водоспадів в межах Тернопільського Придністер'я, функціонує багато джерел, зокрема гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення «Переволоцькі джерела». Переволоцькі джерела б'ють у с. Переволока в долині р. Стрипи [1]. У яру витікає біля 20 джерел, які зливаються у потічок, утворюючи водоспади які живлять річку Стрипу. Подібні заповідні об'єкти також зустрічаються у Монастириській, Борщівській, Заліщицькій та Іване-Пустинській територіальних громадах (табл. 1).

Таблиця 1

Гідрологічні заповідні об'єкти Тернопільського Придністер'я

Територіальна громада	Категорія заповідного об'єкта	Назва заповідного об'єкта	Площа, га	Загальна площа заповідних об'єктів
Монастириська	НПП	«Дністровський каньйон»	164,7	164,71 га
	гідрологічна пам'ятка природи	«Джерело в Маркові»	0,01	
Коропецька	НПП	«Дністровський каньйон»	384,2	4351,2 га
	РЛП	«Дністровський каньйон»	3967,0	
Золотопотіцька	НПП	«Дністровський каньйон»	2360,0	8593,0 га
	РЛП	«Дністровський каньйон»	6230,0	
	гідрологічна пам'ятка природи	«Каскад Русилівських водоспадів»	2,0	
	гідрологічна пам'ятка природи	«Сокілецькі водоспади»	1,0	
Товстенська	НПП	«Дністровський каньйон»	2175,6	7533,6 га
	РЛП	«Дністровський каньйон»	5357,3	
	гідрологічна пам'ятка природи	Червоногородський водоспад	0,7	
Заліщицька	НПП	«Дністровський каньйон»	3326,6	14705,5 га
	РЛП	«Дністровський каньйон»	10695,7	
	іхтіологічний заказник	«Касперівсько-Городоцький»	36,8	
	іхтіологічний заказник	«Городоцько-Добрівлянський»	51,0	
	гідрологічна пам'ятка природи	Джерело «Біла криниця №1»	0,02	
	Ландшафтний заказник	Касперівський	631,2	
Борщівська	НПП	«Дністровський каньйон»	28,2	39,13 га
	РЛП	«Дністровський каньйон»	10,9	
	гідрологічна пам'ятка природи	«Королівське джерело»	0,01	
	гідрологічна пам'ятка природи	«Пилатківське джерело»	0,01	
	гідрологічна пам'ятка природи	«Борухівські озерця»	0,01	
Іване-Пустенська	НПП	«Дністровський каньйон»	49,6	181,8
	РЛП	«Дністровський каньйон»	132,2	
Мельнице-Подільська	НПП	«Дністровський каньйон»	1817,0	15583,01 га
	РЛП	«Дністровський каньйон»	13 766,0	
	гідрологічна пам'ятка природи	«Вигодське джерело»	0,01	

Складено за [5]

У Монастириській територіальній громаді відомим є гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення «Джерело в Маркові». Заповідний об'єкт, площею лише 0,01 га, розташований поблизу с. Маркове, на території Монастириського лісництва (лісове урочище Маркова) [5]. Ще два джерела, які знаходяться під охороною є у Борщівській територіальній громаді – «Королівське джерело» у с. Королівка та «Пилатківське джерело» у північній околиці с. Пилатківці [5]. Обидві гідрологічні пам'ятки природи місцевого значення мають важливу науково-пізнавальну, історико-культурну та естетичну функції, служать об'єктами збереження та охорони питної води, джерел підземних вод, які живлять малі річки та місцеві струмочки. В межах Борщівської територіальної громади відомим заповідним об'єктом є гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення «Борухівські озерця». Це озерця карстового походження загальною площею 5 га, з водно-болотно рослинністю, розташовані на території загально-зоологічного заказника «Озерянський» у с. Озеряни Борщівської громади. У Мельнице-Подільській територіальній громаді, на околицях с. Вигода, в 2-ох метрах від урізу води функціонує гідрологічна пам'ятка природи «Вигодське джерело» площею 0,01 га. Це джерело із сульфатно-кальцієвою водою, має важливу науково-пізнавальну, історико-культурну та природоохоронну цінність [5].

Головні висновки. Отож, у межах Тернопільського Придністер'я, яке охоплює 8 територіальних громад – збереження водних ресурсів здійснюється на природоохоронних територіях загальною площею понад 50,5 тис. га. Значну частку цих територій займає НПП «Дністровський каньйон» (10306 га), РЛП «Дністровський каньйон» (40160 га). Значно менше територій припадає на гідрологічні пам'ятки природи (8,76 га) та іхтіологічні заказники місцевого значення (89,6 га). На території Тернопільського Придністер'я під заповіданням знаходиться 3 водоспади, площею 3,7 га; 4 джерела виходу підземних вод (0,06 га) та карстові озерця площею 5 га у с. Озеряни Борщівської територіальної громади. Таким чином, можна стверджувати, що спектр гідрологічних заповідних об'єктів Тернопільського Придністер'я є доволі незначним, особливо у територіальному відношенні, але вони мають важливе пізнавальне, водоохоронне,рекреаційне значення.

Перспективи використання результатів дослідження. Необхідність обґрунтування збереження водних ресурсів та створення гідрологічних заповідних об'єктів є актуальним науково-практичним завданням, особливо в умовах аридизації клімату та зменшення запасів поверхневих і підземних вод. Отримані результати дослідження повинні знайти своє відображення у місцевих екологічних програмах та планах дій з охорони навколишнього природного середовища територіальних громад Тернопільського Придністер'я.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з підготовкою обґрунтувань для створення нових заповідних об'єктів гідрологічного профілю,а також розвитком екологічного туризму в регіоні. Найбільш оптимальними для заповідання, у межах досліджуваної території є витоки річок, водно-болотні угіддя, ставки, джерела виходу підземних вод, типові та унікальні ландшафти тощо. Екологічний туризм є одним із перспективних напрямів для Тернопільського Придністер'я, оскільки сприятиме формуванню збалансованої структури землекористування, а також підвищить ефективність використання рекреаційно-туристичних ресурсів.

Література

1. Географія Тернопільської області: монографія. В 2-х т. Т.1. Природні умови та ресурси. ТНПУ ім. В. Гнатюка. Тернопіль: Крок, 2017. 342 с.
2. Заповідне Поділля : краєзнавчі нариси / ред.: Г. І. Денисик, В. Є. Любченко. Вінниця: Тезис, 2001. 102 с.
3. Карпюк З. К., Фесюк В. О., Чижевська Л. Т. Охорона гідрологічних об'єктів у мережі природно-заповідного фонду Волинської області. *Актуальні проблеми охорони навколишнього природного середовища українсько-польських прикордонних територій*: тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф. (Львів – Івано-Франкове, 23–25 жовтня 2019 р.). Львів: ПАІС, 2019. С. 43–44.
4. Леньків І. Сокілецькі водоспади. Тернопільский енциклопедичний словник: у 4-х т. Редкол. Г. Яворський та ін. Тернопіль: Видавничо-поліграфічний комбінат «Збруч», 2008. Т-3: П-Я. С. 307.
5. Офіційний вебсайт Управління екології та природних ресурсів Тернопільської ОДА. Мережа природно-заповідного фонду. URL: https://ecology.te.gov.ua/prirodno-zapovidnij-fond/merezha-pzf/#l-merezha-pzf (дата звернення 02.09.2022).
6. Свинко Й.М. Русилівські водоспади. Тернопільский енциклопедичний словник: у 4-х т. Редкол. Г. Яворський та ін. Тернопіль: Видавничо-поліграфічний комбінат «Збруч», 2008. Т-3: П-Я. С. 708.
7. Царик Л., Царик П., Царик В. Заповідні гідрологічні об'єкти: їх стан і роль в умовах посиленого антропогенезу і аридизації клімату. Н*аукові записки ТНПУ*. Серія *географія*. 2020. № 2. С. 194–204.
8. Чайковський М. Дністровський каньйон. Львів: Каменяр, 1981. 76 с.
9. Чижевська Л.Т., Нич М.М., Карпюк З.К., Качаровський Р.Є. Рекреаційний потенціал гідрологічних об'єктів ПЗФ Гловненської ТГ Волинської області. The 6 th International scientific and practical conference «European scientific discussions» (April 25–27, 2021). Potere della ragione Editore, Rome, Italy. 2021. С. 192–196.
10. Ljubomyr P. Tsaryk, Ivan P. Kovalchuk, Petro L. Tsaryk, Bogdan S. Zhdaniuk, Ihor R. Kuzyk. (2020). Basin systems of small rivers of Western Podillya: state, change tendencies, perspectives of nature management and nature protection optimization. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. Vol. 29.(3). P. 606–620.

УДК 911.9:502.4
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.23

ЖДЕНІЇВСЬКА КЛЮЧОВА ТЕРИТОРІЯ У РЕГІОНАЛЬНІЙ ЕКОМЕРЕЖІ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ: ФОРМУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ ТА СТАН ЗБЕРЕЖЕНОСТІ ПРИРОДНИХ ЛІСІВ

Теслович М.В., Кричевська Д.А.
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Петра Дорошенка, 41, 79000, м. Львів
teslovich_marjana@ukr.net

У статті охарактеризовано історичні та природні передумови формування території Жденіївської ключової території (КТ) – структурного елемента екомережі Закарпатської області, проаналізовано сучасний стан охоплення її екосистем природоохоронним режимом, встановлені нові ділянки – перспективні для заповідання. На картосхемі Жденіївської КТ, що складена у масштабі 1:100000 окреслено нові межі КТ із врахуванням входження до неї заказника «Привододільний» та прив'язки меж до річкових долин, показане розташування всіх заказників та пам'яток природи. Обчислено, що показник заповідності для КТ в пропонованих межах становить 7,2%.

В межах Жденіївської КТ встановлені ділянки старовікових лісів поза наявними тут об'єктами природно-заповідного фонду (ПЗФ), що мають ознаки квазіпралісів та природних лісів і потребують довготермінової охорони. З метою їхнього встановлення проаналізовані детальні плани лісонасаджень (у масштабі 1:25000; 2010 р.) лісництв ДП «Воловецьке лісове господарство». Місця знаходження ділянок вказані на картосхемі «Поширення стиглих та перестійних букових лісів у межах Жденіївської ключової території». В результаті дешифрування космознімку Google Satellite (2020 рік) виявлено, що майже половина цих лісів (49,9%) мають ознаки антропогенного втручання: зруби, під'їзні дороги, розріджена дерева рослинність та ін.

Для найбільшої ділянки старовікового лісу у Підполозянському лісництві (109 га), що не має явних ознак господарського втручання, проведені польові обстеження з метою оцінки відповідності лісових екосистем критеріям пралісів, квазіпралісів або природних лісів відповідно до «Методики визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів». Проведені дослідження підтвердили природне походження цього лісу та відсутність сучасного господарського впливу. Букові ліси характеризуються тут складною структурою, наявністю старих дерев та мертвої деревини різних стадій розкладу. Проте, оскільки в минулому цей лісовий масив зазнавав поодиноких випадків господарського втручання, а природне поновлення не є достатнім для формування корінного деревостану, його не можна віднести до категорії пралісів.

З метою попередження інтенсифікації господарського освоєння букових лісів Жденіївської КТ запропоновано створити тут пралісову пам'ятку природи «Квазіпраліси та природні ліси Підполозянського лісництва» загальною площею 109 га, з яких 15,1 га (13,9%) мають ознаки квазіпралісу, 93,9 га (86,1%) – природного лісу.

Для обґрунтування створення в межах Жденіївської КТ поліфункціональної природоохоронної установи (національного природного або регіонального ландшафтного парку) потрібні подальші різнофахові польові дослідження з метою вивчення цінності її природних комплексів та біорізноманіття. *Ключові слова:* біотичне різноманіття, екологічна мережа, ключова територія, природні ліси, квазіпраліси, Закарпатська область.

Zhdeniivska key area in the regional econetwork of the Transcarpathian region: problems of formation and preservation of natural forests. Teslovych M., Krychevska D.

The article describes the historical and natural prerequisites for the formation of the Zhdeniivska key area (KA) – a structural element of the Transcarpathian region's eco-network, analyzes the current state of coverage of its ecosystems by the nature protection regime, and establishes new areas that are promising for bequests. The map scheme of the Zhdeniivska KA, drawn up on a scale of 1:100,000, outlines the new boundaries of the KA, taking into account the entry into it of the Privododilny reserve and the binding of the boundaries to river valleys, the location of all reserves and natural monuments is shown. It is calculated that the conservation index for KA within the proposed limits is 7.2%.

Within the boundaries of the Zhdeniivska KA, there are areas of ancient forests outside the existing nature reserve fund (PZF) sites, which have the characteristics of quasi-forests and natural forests and require long-term protection. In order to establish them, detailed plans of afforestation (on a scale of 1:25000; 2010) of the forestry enterprises of the SE «Volovets Forestry» were analyzed. The locations of the plots are indicated on the map «Distribution of mature and stagnant beech forests within the Zhdeniiv key territory». As a result of deciphering the Google Satellite image (year 2020), it was found that almost half of these forests (49.9%) have signs of anthropogenic intervention: log cabins, access roads, sparse tree vegetation, etc.

For the largest area of ancient forest in the Pidpolozyan Forestry (109 ha), which has no obvious signs of economic intervention, field surveys were conducted to assess the compliance of forest ecosystems with the criteria of primeval forests, quasi-primal forests or natural forests in accordance with the «Methodology for determining whether forest areas belong to primeval forests, quasi-primal forests and natural forests». The conducted studies confirmed the natural origin of this forest and the absence of modern economic influence. Beech forests here are characterized by a complex structure, the presence of old trees and dead wood of various stages of decomposition. However, since in the past this forest area was subjected to isolated cases of economic intervention, and natural regeneration is not sufficient for the formation of native stands, it cannot be attributed to the category of primeval forests.

In order to prevent the intensification of economic development of the beech forests of Zhdeniivska KA, it is proposed to create here a primeval forest natural monument «Quasi-prime forests and natural forests of the Podpolozyan Forestry» with a total area of 109 hectares, of which 15.1 hectares (13.9%) have signs of quasi-primeforest, 93.9 hectares (86.1%) of natural forest.

In order to substantiate the creation of a multi-functional environmental protection institution (a national natural or regional landscape park) within the boundaries of the Zhdeniivska KA, further multidisciplinary field research is needed to study the value of its natural complexes and biodiversity. *Key words:* biotic diversity, key area, natural forests, quazi-virgin forests, Transcarpathian region.

Постановка проблеми. Основними структурними елементами екомережі є ключові території – типові для певного ландшафту ділянки, що мають важливі екологічні функції. Найчастіше вони охоплюють найбільш збережені природні комплекси, які характеризуються високим видовим різноманіттям та цінними екосистемними послугами [1]. Створення структурних елементів екомережі Закарпатської області, передусім її ключових територій та екологічних коридорів, розпочалося із розроблення у 2005–2007 роках Схеми екологічної мережі Українських Карпат (національний рівень) [2], де в межах Закарпаття окреслено 16 ключових територій, 3 великих регіональних, 4 гідрологічні та близько 10-ти локальних екокоридорів. Саме на цій схемі вперше окреслена Жденіївська ключова територія (КТ), формування території якої є предметом цього дослідження (рис. 1).

Зауважимо, що на Схемі регіональної екомережі Закарпатської області, яка затверджена рішенням обласної ради від 10.07.2014 цей структурний елемент екомережі відсутній [3]. Природні екосистеми Жденіївської КТ за цією Схемою формують частину Синевирсько-Бескидської сполучної території, що з'єднує Ужанський НПП з НПП «Синевир», охоплюючи лісові масиви Вододільного хребта. У пояснювальній записці до Проекту схеми регіональної екологічної мережі Закарпатської області вказано, що ключові території сформовані передусім із врахуванням існуючої мережі об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) та інших територій, які мають важливе значення для збереження біотичного та ландшафтного різноманіття. Таких територій на схемі окреслено близько 14-ти, проте їхні назви відсутні або дублюють назви об'єктів ПЗФ.

Ще одним важливим геопланувальним документом Закарпатської області, де окреслені структурні елементи екомережі Закарпаття, є «Схема комплексної оцінки території. Природно-ресурсний потенціал» [4], яка є складовою Схеми планування області, що затверджена у 2013 році на розрахунковий період до 2031 року. На ній показано межі існуючих та проектованих природоохоронних установ, які в цілому відповідають межам ключових територій, що зазначені на Схемі екомережі Українських Карпат [2]. На місці Жденіївської КТ тут окреслена так звана «проектна територія екомережі», яка відображає приблизні межі запланованого тут національного природного парку (НПП) «Жденіївський». Проведений нами аналіз вище зазначених Схем та Екологічного паспорту Закарпатської області (2020) засвідчує певну неузгодженість щодо переліку і розташування її структурних елементів, зокрема і Жденіївської КТ.

Отже, вивчення природних комплексів та біорізноманіття Жденіївської КТ дозволить більш обґрунтовано підійти до проблематики доцільності її окреслення як структурного елемента в межах регіональної екомережі Закарпатської області та потреби подальшого формування тут поліфункціональної природоохоронної установи.

Актуальність дослідження. На сьогоднішній день існує брак актуальної, детальної та систематизованої інформації про поширеність видів та оселищ у межах Жденіївської КТ. Тому вивчення проблематики формування її території з використанням картографічних методів та методу дишифрування космознімків, а також – польових досліджень є важливим завданням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковимита практичними завданнями. Дослідження стану збереженості екосистем Жденіївської КТ, зокрема її природних лісів, дозволить більш обґрунтовано підійти до потреби створення тут поліфункціональної природоохоронної установи. Крім того, виявлення квазіпралісових та природних лісових екосистем є основою для надання їм охоронного статусу, що зменшить ризики як легальної, так і нелегальної заготівлі деревини в них.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Природоохоронні дослідження у районі розташування Жденіївської КТ проводились ще з 1970 років. Так професор Стойко С.М. у 1977 році [5] пропонував створити тут Латорицький ландшафтний парк. У 69–80 роках у районі розташування Жденіївської КТ було створено 3 пам'ятки природи, а на початку 90-х років – 2 ботанічні заказники «Пікуй» та «Голиця». У 2005 році Фельбаба-Клушина Л.М. [6] наголосила на доцільності формування тут НПП «Закарпатські Бескиди», який мав охоплювати ландшафти від вершин Вододільного хребта з північного сходу до передгір'я – з південного заходу, включаючи Середньоверецький перевал, угіддя Жденіївського, Підполозянського, Нижньоворітського та Верхньоворітського лісництв ДП «Воловецьке лісове господарство». У 2012 році тут створено лісовий заказник «Привододільний», який частково розміщений за межами ключової території. У 2015 році Фельбабою-Клушиною Л. [7] було запропоновано створити РЛП «Верхньолаторицький», який включає також цей заказник, охоплює лісові екосистеми межиріччя Жденіївки та Латориці, а також простягається вздовж приполонинних схилів Вододільного

хребта, де сполучається із запроектованим РЛП «Тересвянським». Зазначимо, що станом на 2022 рік заходи зі створення цих природоохоронних установ не проводяться.

Як структурний елемент екомережі Жденіївська ключова територія вперше була окреслена на Схемі екологічної мережі Українських Карпат [2]. Згідно з Програмою перспективного розвитку природно-заповідної справи та екологічної мережі в Закарпатській області на 2006–2020 роки [8] тут планувалося створення національного природного парку «Жденіївський».

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проведений нами аналіз існуючих геопланувальних документів та Екологічного паспорту Закарпатської області (2020) засвідчує неузгодженість щодо окреслення Жденіївської КТ [9]. Оскільки тут так і не було організовано поліфункціональної природно-заповідної установи, на сьогоднішній день існує брак систематизованої інформації про поширеність тут цінних оселищ та видів, проблематики їх збереження. Мета нашого дослідження – дослідити стан збереженості екосистем Жденіївської КТ, зокрема сучасний стан її природних лісів, які знаходяться поза об'єктами ПЗФ і потребують довготермінового захисту. Під природними лісами ми розуміємо лісові екосистеми, в яких локально і тимчасово проявлявся антропогенний вплив, проте він не змінив ценотичної структури фітоценозів. Відповідно такі екосистеми здатні протягом короткого часу відновитися природним шляхом до стану пралісових екосистем [10].

Вивчення природоохоронної цінності лісових екосистем із застосуванням картографічних та дистанційних методів, польових натурних обстежень дозволить більш обґрунтовано підійти до розроблення менеджмент плану з охорони природних середовищ досліджуваної КТ та потреби створення тут поліфункціональної природоохоронної установи.

Новизна. У статті запропоновано нові межі Жденіївської КТ та встановлено розташування мережі ділянок старовікових букових лісів, зокрема з ознаками квазіпралісів і природних лісів, які знаходяться за межами існуючих об'єктів ПЗФ.

Методологічне або загальнонаукове значення. У статті представлена картосхема Жденіївської ключової території у масштабі 1:100 000, на якій окреслено мережу природно-заповідних об'єктів та розташування ділянок Території Особливого Природоохоронного Інтересу (ТОПІ) Полонинського хребета (UA0000610) [11]. На іншій картосхемі в межах Жденіївської КТ встановлені ділянки природних лісів поза об'єктами ПЗФ, які визначалися нами із використанням детальних планів лісонасаджень та таксаційних матеріалів ДП «Воловецьке лісове господарство» (2010), а їх сучасний стан уточнювався із використанням космознімків (2020).

Польові дослідження передбачали обстеження однієї з найбільших ділянок старовікових лісів відповідно до «Методики визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів» (далі Методика…) [10]. Згідно з «Методикою...» тут було визначено 38 пунктів огляду, на яких проводилась оцінка породного складу лісу та його відповідність регіональному типу, деревостан та його природне походження, наявність дерев основного ярусу, які досягли вікової фізіологічної межі, наявність мертвої деревини старих дерев великих розмірів, вертикальну і горизонтальну структуру деревостану, рівень природного поновлення, наявність лісогосподарської інфраструктури і сліди рубок, наявність слідів заготівлі недеревних лісових продуктів, випасання худоби, слідів впливу рекреації, стану лісової підстилки. Результати огляду за вказаними критеріями заносились у відповідні таблиці [10].

Виклад основного матеріалу. Жденіївська ключова територія (КТ) розташована на північному сході Закарпатської області у межиріччі річок Жденіївка та Бескид (лівої притоки Латориці). КТ охоплює південно-західні макросхили західної частини Вододільно-верховинської (Міжгірно-верховинської) фізико-географічної області (за Мельником А.В., 1999) [12]. Тут представлені ландшафти середньогірно-скибового типу. В межах Буковецької полонинини знаходяться найвищі вершини Вододільного хребта – г. Пікуй (1408 м), Зелемений (1304 м), Нондаг (1303 м), Великий Верх (1309 м). Для пригребеневої частини хребта характерні виходи потужних кам'яних розсипів, які представлені тут великими брилами пісковиків. На схилах хребтів збереглися високопродуктивні бучини, буково-ялицеві та ялицево-букові ліси, що репрезентують фітоценози геоботанічних підокругів букових закарпатських лісів та темнохвойно-букових привододільних лісів [13]. Верхня межа лісу проходить на висоті 1200–1250 м. над р.м. і часто представдена фрагментами букового криволісся із домішками вільхи зеленої *(Alnus viridis)*. Вище знаходиться субальпійський пояс рослинності, де переважають чорничники та біловусникові пустища.

В межах Жденіївської КТ трапляються також рідкісні болотні фітоценози з домінуванням осоки Девелла (Carex davalliana), що має реліктовий ареал, локалітети пізньоцвіту осіннього (Colchicum autumnale), реліктові осередки дуба скельного (Quercus petraea) та сосни звичайної (Pinus Sylvestris) на горі Високий Камінь (712 м н.р.м.) [6].

Цінні з природоохоронної точки зору екосистеми охороняються в межах п'яти заказників місцевого значення: лісового «Привододільного» (722 га) та ботанічного «Пікуй» (425,3 га), які охоплюють привершинні природні комплекси Буківської Полонини; ботанічних «Голиця» (79,5), де в межах двох ділянок охороняється шафран Гейфеля та «Бузок» (6 га), де зростає ендемічний вид – бузок угорський; гідрологічного «Бистрий» (1,5), який має важливе значення

для функціонування р.Латориця. Окрім заказників в межі КТ попадають три пам'ятки природи: комплексна загальнодержавного значення «Високий камінь» (22 га), ботанічна місцевого значення «Тис ягідний» (1,5 га) та гідрологічна – джерело мінеральної води (0,5 га) (рис. 1).

Значна частина Жденіївської КТ попадає до Території Особливого Природоохоронного Інтересу (ТОПІ) Полонинський хребет (UA0000610), яка є однією з перспективних ділянок Смарагдової мережі. Її було обґрунтовано фахівцями на Міжнародних біогеографічних семінарах 23–24 травня 2018 року у м. Київ та 16–17 червня 2019 року у м. Мінськ з метою збереження оселищ Резолюції №4 Бернської конвенції, що знаходяться під загрозою і потребують спеціальних заходів охорони. До таких оселищ тут віднесені: лісові (G1.11 Прирічкові вербові ліси, G1.12 Борео-альпійські прирічкові галереї, G1.6 Букові ліси), лучні (E1.71. Угруповання Nardus stricta, E2.2 Рівнинні та низькогірні сінокосні луки, E4.3 Кислі альпійські та субальпійські трав'яні угруповання, E5.5 Субальпійські мокрі або вологі високотравні і папоротеві ділянки) та прирічкові (C3.55. Слабо зарослі гравійні береги річок) [14]. Станом на 2022 рік ця ділянка Смарагдової мережі ще не затверджена Постійним комітетом Бернської конвенції.

За «Схемою комплексної оцінки території. Природно-ресурсний потенціал» (2013) у місці розташування Жденіївської КТ окреслено межі проектованого національного природного парку (НПП) «Жденіївський» [4] площею близько 20,5 тис. га. (рис. 1). До нього мали увійти, передусім, східна частина лісового заказника місцевого значення «Привододільний» (722 га) та ботанічний заказник місцевого значення «Пікуй» (425,3 га), які охоплюють привершинні природні комплекси Буківської

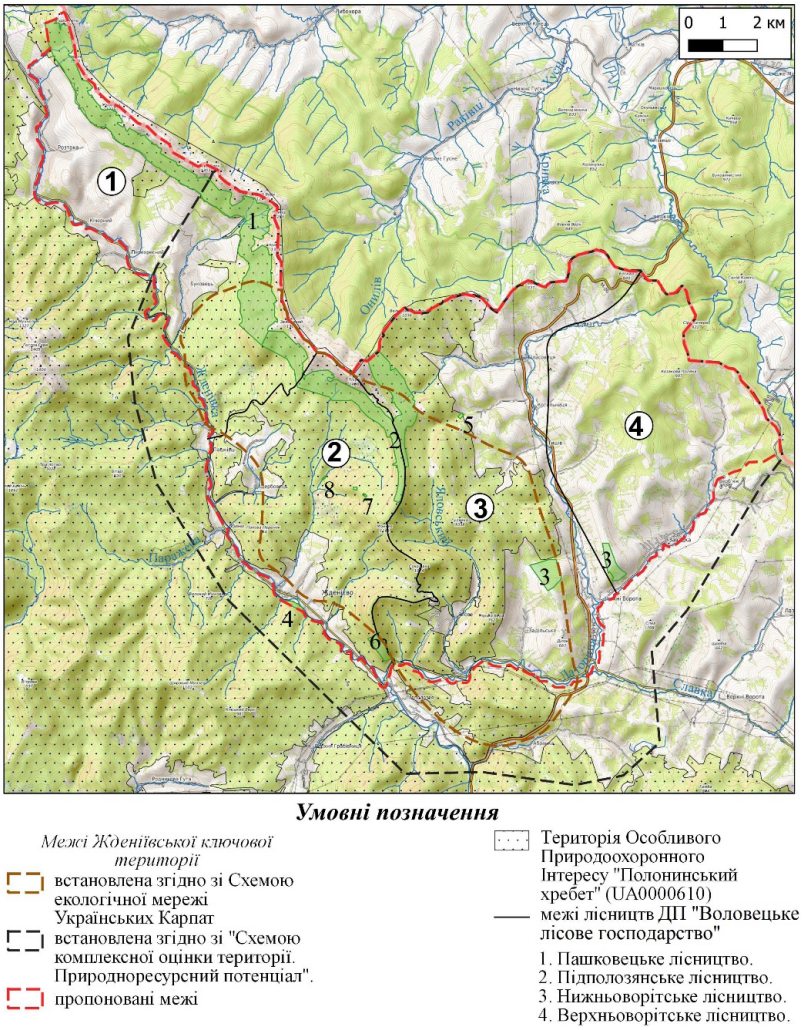


Рис. 1. Межі та об'єкти ПЗФ Жденіївської ключової території.
Об'єкти природно-заповідного фонду:
1. Лісовий заказник місцевого значення «Привододільний». 2. Ботанічний заказник місцевого значення «Пікуй». 3. Ботанічний заказник місцевого значення «Голиця». 4. Ботанічний заказник місцевого значення «Бузок». 5. Гідрологічний заказник місцевого значення «Бистрий». 6. Комплексна пам'ятка природи загальнодержавного значення «Високий камінь». 7. Ботанічна пам'ятка природи місцевого значення «Тис ягідний» 8. Гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення (свердловина)

Полонини, а також інші наявні тут об'єкти ПЗФ. Зауважимо, що зі сторони Львівської області ці об'єкти ПЗФ межують з НПП «Бойківщина».

Лісові масиви Жденіївської ключової території знаходяться у господарському використанні ДП «Воловецьке лісове господарство» (чотири лісництва). Саме це лісогосподарське підприємство забезпечує дотримання природоохоронного режиму у створених об'єктах ПЗФ, а його лісові масиви є основою для створення тут природоохоронної установи.

Для більш чіткого компанування території Жденіївської КТ, ми пропонуємо включити до неї всю територію заказника «Привододільний» разом зі схилами, які переважно використовуються місцевим населенням як сільськогосподарські угіддя (пасовища та сіножаті), а також встановити західні, південні і східні межі по долинах річок. Відповідно на півночі та північному сході межа КТ проходитиме по хребту від г. Старостина (1229 м) до Верецького перевалу, на сході – по р. Бескид, на півдні – по р. Латориці, а на заході – по р. Жденіївці включно з їх прибережно-захисними смугами (рис. 1). В таких межах площа території становитиме 17,1 тис.га. Показник заповідності Жденіївської КТ у цих межах становитиме 7,2%, а частка лісовкритої площі – 62,6%.

Найбільш цінною з природоохоронного погляду залишатиметься привершинна та центральна заліснена частина КТ, яка охоплює лісові масиви Підполозянського і Нижньоворітського лісництв ДП «Воловецьке лісове господарство» і репрезентує ділянку Смарагдової мережі.

У 2016 році фахівцями Всесвітнього фонду природи (WWF-Україна) [15] у межах заказників «Привододільного» та «Пікуй» виявлено пралісові ділянки, які підвищують цінність цих об'єктів ПЗФ. Проведений нами аналіз картографічних фондових матеріалів ДП «Воловецьке лісове господарство» (2010) [16] показав, що поза об'єктами ПЗФ в межах Жденіївської ключової наявні стиглі та перестійні лісові деревостани, які можуть мати ознаки квазіпралісів або природних лісів. Найбільше таких ділянок встановлено у Підполозянському лісництві: 11 відокремлених масивів загальною площею майже 304 га; у Нижньоворітському лісництві є 18 відокремлених невеликих масивів загальною площею 260 га; у Пашковецькому лісництві – 3 масиви загальною площею 43,7 га; у Верхньоворітському – 3 масиви загальною площею 23,3 га (рис. 2).

З метою моніторингу стану старовікових букових лісів нами проведене дешифрування космознімків 2020 р. Межі встановлених старовікових лісів експортовано у форматі KML із мобільного застосунку Smallforest 1.0.3.A та відтворено на основі космознімку Google Satellite за допомогою програмного забезпечення QGIS 3.16.8. Такий аналіз показав, що в межах встановлених ділянок є ознаки господарського втручання: зруби, наявність під'їзних доріг, суттєво розріджена деревна рослинність тощо.

Відповідно станом на 2022 рік близько 49,9% виявлених нами за лісовпорядчими матеріалами масивів стиглих та перестійних лісів зазнали антропогенного втручання і їх не можна віднести до пралісів, квазіпралісів або природних лісів. Так, наприклад, в межах кв.12 (вид. 18, 24, 25, 28, 29) Нижньоворітського лісництва, де згідно з детальними планами лісонасаджень (2010) поширені стиглі лісові екосистеми, у 2021 році зафіксовано зруб лісу. Вирубки були проведені з метою розширення площі кар'єру з видобутку щебеню, піску та гравію КП «Агрошляхбуд».

Для польових натурних обстежень нами була обрана найбільша за площею ділянка природного лісу, яка розташована у центральній частині Жденіївської ключової території на висотах 760 – 1190 м. над р.м. на західних схилах хребта Пікуй – Мончел, який є південним відрогом основного Вододільного хребта. Ця ділянка не має ознак інтенсивного антропогенного втручання, а її площа становить близько 109 га (рис. 3).

Цей лісовий масив межує з ботанічним заказником «Пікуй», з півдня оточує ботанічну пам'ятку природи «Тис ягідний». Включає три виділи 6 кварталу (5, 12, 23), шість виділів 10 кварталу (5, 6, 16, 18, 48, 49) та 1 виділ 11 кварталу Підполозянського лісництва. Ліси належать до категорії експлуатаційних, за винятком першого виділу 11 кварталу, що належить до категорії захисних протиерозійних лісів. Слід зазначити, що для даних ділянок характерне переважання крутих та дуже крутих схилів. Понад 44% досліджуваних лісів зосереджено на схилах крутизною понад 16 градусів.

Згідно з детальними планами лісонасаджень тут представлені стиглі та перестійні букові ліси, що мають природне походження. Переважаючою деревною породою є бук лісовий (Fagus sylvatica) віком 180–190 років. На всіх висотних рівнях лісу у домішку представлений клен-явір (Acer pseudoplatanus), а на окремих ділянках, переважно у підрості, – ялиця біла (Abies alba).

Підріст найкраще розвинений на добре освітлених ділянках. Домінуючим видом у підрості є бук лісовий (за винятком 5 вид. 10 кв., де переважає ялиця біла). Вік підросту в середньому становить 20–25 років. Його кількість коливається від 3 до 8 тис.шт./га. Таке природне поновлення є недостатнім для формування корінного деревостану згідно з Правилами рубок головного користування. Відповідно до «Методики ...» такі лісові ділянки не можуть належати до пралісів, проте їх можна віднести до категорії природних лісів.

Чагарникові та трав'яні види зустрічаються переважно на добре освітлених частинах ділянки. Вони представлені ожиною шорстковолосистою (Rubus hirtus), у трав'яному покриві зустрічаються: ожика гайова (Luzula luzuloides), зірочник лісовий (Stellaria

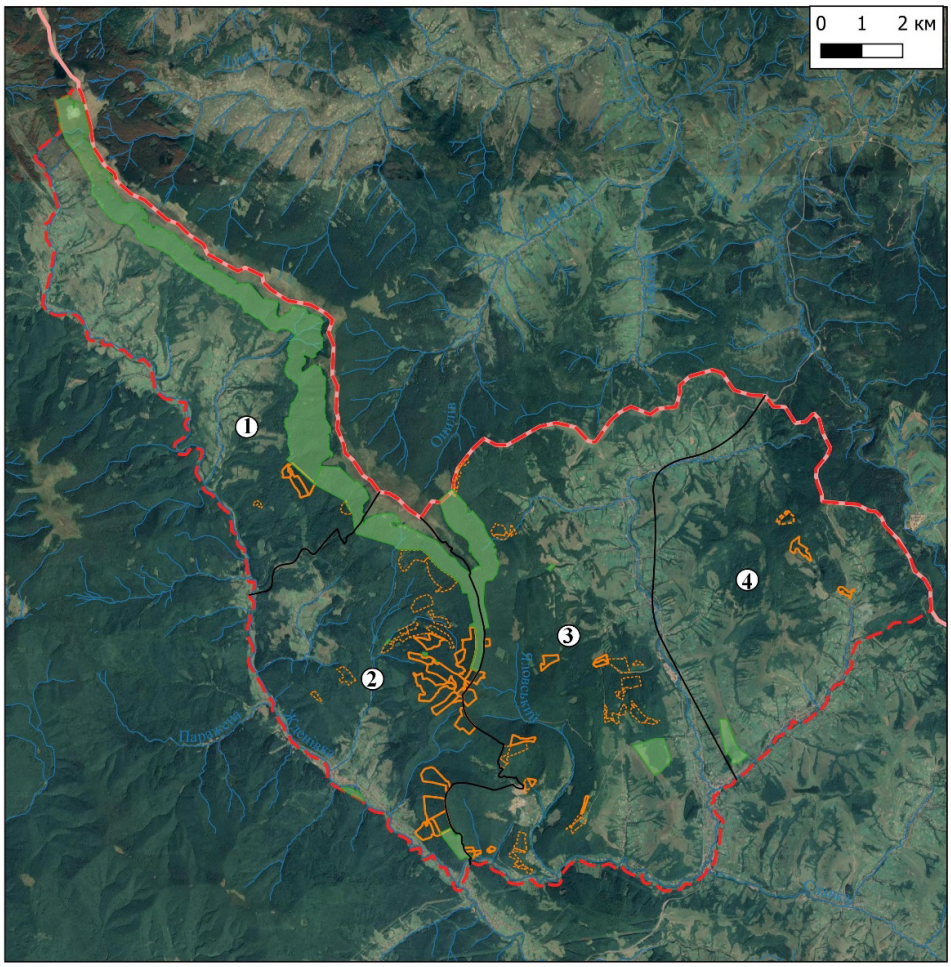


Рис. 2. Поширення стиглих та перестійних букових лісів у межах Жденіївської ключової території

holostea), безщитник жіночий (Athyrium filix-femina), вовчі ягоди звичайні (Daphne mezereum).

На висоті вище 800 м над р.м. зустрічаються кам'яні розсипи та відслонення. Для частин ділянки, де крутизна схилів становить більш як 20 градусів, відмічено вітровальні і буреломні процеси.

Найстаріші дерева на території дослідження сягають віку близько 250 років. Їх було виявлено на 27 з 38 пунктів натурного обстеження, що свідчить про рівномірність поширення. Також наявна мертва деревина різних стадій розкладу (рис. 5).

Загалом для деревостану характерна складна структура: у нижній та середній частинах схилів можна виділити 3 яруси, а у верхній – 2, що включають всі стадії розвитку лісу.

У зв'язку з тим, що ділянка переважно є важкодоступною, в її межах відсутня лісогосподарська інфраструктура та сліди ведення лісового господарства. На пологих схилах 23 виділу 6 кварталу та 5 виділу 10 кварталу були виявлені поодинокі видимі сліди рубок у вигляді пошкодження дерев.

Сліди заготівлі недеревних лісових продуктів не були виявлені. Раніше через лісовий масив проходили пішохідні стежки, проте на сьогодні для ділянки характерна щільна лісова підстилка без ознак порушення. Відповідно не було виявлено також слідів випасу худоби, рекреації та туризму.

На основі результатів камерального та натурного етапів дослідження нами встановлено, що ліси кв. 10 (вид. 18, 48, 49) та кв. 11 (вид. 1) загальною площею

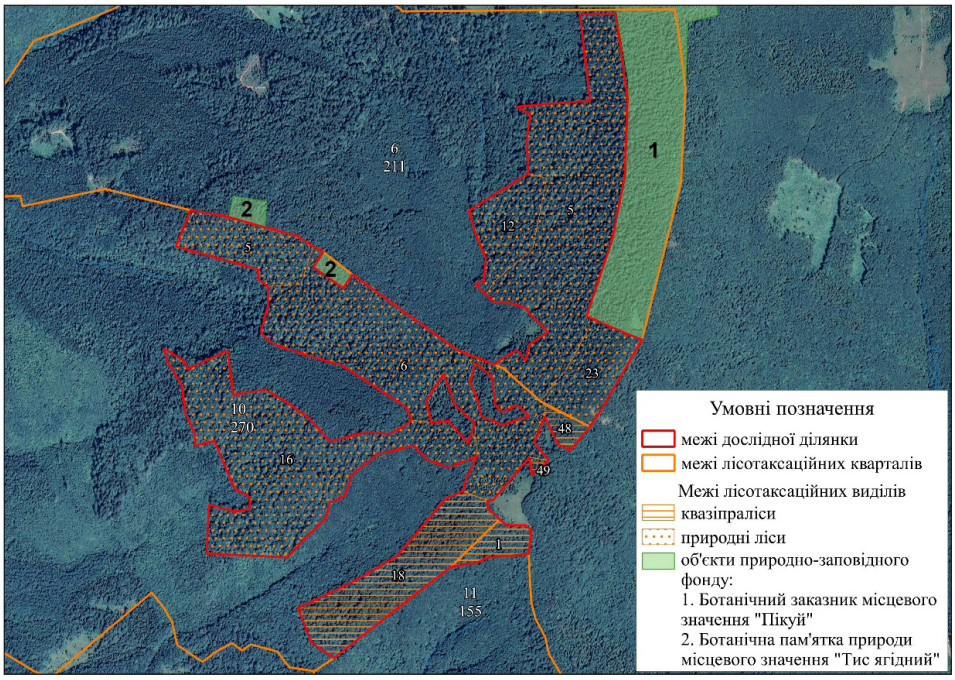


Рис. 3. Дослідна ділянка природних лісів Жденіївської ключової території в межах Підполозненського лісництва



Рис. 4. Природний буковий ліс у південній частині (вид. 18, кв. 10)



Рис. 5. Мертва деревина у природному буковому лісі (вид. 5, кв. 6)

15,1 га мають ознаки квазіпралісу, а у кв.6 (вид. 5, 12, 23) кв.10 (вид. 5, 6, 16) загальною площею 93,9 га – природного лісу.

Згідно із сучасними науковими аналітичними працями [17, 18] відсутність охоронного статусу для значної частини природніх лісів призводить як до легальної, так і нелегальної заготівлі деревини в таких екосистемах. Крім того, проблемою є застосування екологічно-необґрунтованих підходів ведення лісового господарства, що зумовлює фрагментацію природних лісових фітоценозів [19].

Тому з метою збереження виявлених ділянок природних лісів і квазіпралісів ми пропонуємо створити тут пралісову пам'ятку природи «Квазіпраліси та природні ліси Підполозянського лісництва» загальною площею 109 га, що передбачено статтями 3 та 28 Закону «Про природно-заповідний фонд України» та Лісовим кодексом (ст. 1, 37, 39[1], 46, 70, 79, 84, 105).

Це дозволить збільшити частку заповідності в межах КТ і зберегти цінні природні середовища G1.6 Букові ліси Смарагдової мережі.

Головні висновки. У 2013 році на базі Жденіївської КТ планувалося створити НПП «Жденіївський» приблизні межі якого були окреслені на «Схемі комплексної оцінки території. Природноресурсний потенціал» як межі «проектної території екомережі». У статті запропоновано нові межі Жденівської КТ із врахуванням меж лісового

заказника «Привододільний», меж лісогосподарських підрозділів та природних контурів – передусім, долин річок.

Встановлено, що природно-заповідний режим Жденіївської КТ забезпечується п'ятьма заказниками та трьома пам'ятками природи, а показник заповідності Жденіївської КТ в уточнених нами межах становить 7,2%. Центральна частина КТ входить до ТОПІ Полонинський хребет (UA0000610) – перспективної ділянки Смарагдової мережі, де природоохоронний режим наразі не забезпечується, оскільки відсутні національні правові механізми для управління такими природоохоронними комплексами.

Поряд з об'єктами ПЗФ в межах Жденіївської КТ нами встановлено важливі осередки біотичного та ландшафтного різноманіття – природні лісові екосистеми, що не зазнали суттєвих змін у процесі історичного розвитку. Аналіз картографічних фондових матеріалів ДП «Воловецьке лісове господарство» в межах Жденіївської ключової території показав, що за межами існуючих об'єктів ПЗФ наявні стиглі та перестійні лісові деревостани, які потребують вивчення і охорони. Вони поширені дрібними ділянками у всіх лісництвах. Їх загальна площа становить 631,0 га, майже половина з них (48,2% від загальної площі) зосереджена у Підполозянському лісництві. В результаті дешифрування космознімку (2020 рік) було встановлено, що 314,7 га (49,9%) цих лісів мають ознаки антропогенного втручання.

Проведені польові дослідження однієї з найбільших за площею ділянок старовікового лісу (109 га), яка розташована у центральній частині Жденіївської ключової території на висотах 760–1190 м над р.м на важкодоступних крутосхилих ділянках із кам'янистими розсипами у Підполозянському лісництві, підтвердили природне походження цього лісу та відсутність сучасного господарського впливу. Букові ліси характеризуються тут складною структурою, наявністю старих дерев та мертвої деревини різних стадій розкладу. Проте, оскільки в минулому цей лісовий масив зазнавав поодиноких випадків господарського втручання, а природне поновлення не є достатнім для формування корінного деревостану, його не можна віднести до категорії пралісів. За всіма іншими ознаками досліджені лісові виділи можна віднести до категорії квазіпралісів та природних лісів. З метою попередження інтенсифікації господарського освоєння ми пропонуємо створити тут пралісову пам'ятку природи «Квазіпраліси та природні ліси Підполозянського лісництва» загальною площею 109 га, з яких 15,1 га (13,9%) мають ознаки квазіпралісу, 93,9 га (86,1%) – природного лісу.

Перспективи використання результатів дослідження. Проведене нами дослідження є передумовою для оголошення в межах Жденіївської КТ пралісової пам'ятки природи «Квазіпраліси та природні ліси Підполозянського лісництва» загальною площею 109 га. Подібні геоботанічні дослідження потрібно провести в межах інших встановлених нами старовікових лісових масивів, де не було виявлено ознак господарського втручання. В подальшому це дозволить більш обґрунтовано підійти до потреби створення тут національного природного парку «Жденіївський» або іншої поліфункціональної природоохоронної установи.

Література

1. Hong J., Jian P., Yanni Z., Dongmei X., Jianquan D. Zoning for ecosystem restoration based on ecological network in mountainous region. *Ecological Indicators*, 2022. 142. P. 1–9. URL: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109138
2. Попович С.Ю. Основні структурні елементи Карпатської екомережі. *Заповідна справа в Україні.* 2007. № 13(1–2). С. 80–89.
3. Схема екологічної мережі Закарпатської області. URL: https://ecozakarpat.gov.ua/?page_id=2087 (дата звернення: 19.10.2022).
4. Схема планування території Закарпатської області. URL: https://oda.carpathia.gov.ua/storinka/shema-planuvannya-terytoriyi-zakarpatskoyi-oblasti (дата звернення: 19.10.2022).
5. Стойко С.М. Дубові ліси Українських Карпат: екологічні особливості, відтворення, охорона. Львів, 2009. 221 с.
6. Фельбаба-Клушина Л.М. Фітоценологічна характеристика та охорона угруповань. *Український ботанічний журнал.* 2005. № 62(4). С. 484–494.
7. Устименко П.М., Дубина Д.В., Фельбаба-Клушина Л.М. Рослинність верхів'я долини Тиси (Закарпатська область): сучасний стан, фітоценорізноманітність, антропогенна трансформація, охорона: монографія. Ужгород: ТОВ «ІВА», 2015. 128 с.
8. Програма перспективного розвитку природно-заповідної справи та екологічної мережі в Закарпатській області на 2006 – 2020 роки: затверджена рішенням Закарпатської обласної ради від 12.01.2006 р. N 695. (Втратив чинність 04.04.2019). URL: https://ips.ligazakon.net/document/ZA060045 (дата звернення: 01.09.2022).
9. Теслович М. В., Кричевська Д. А. Історичні та геопросторові аспекти формування екомережі Закарпатської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2021. № 55. С. 299–317. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-22
10. Методика визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів: затвердженом Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 18.05.2018 р. № 161. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0707-18#Text (дата звернення: 01.09.2022).
11. Території, що пропонуються до включення у мережу Емеральд (Смарагдову мережу) України («тіньовий список», частина 3) / К.Б. Борисенко, О.І. Бронсков, О.М. Бронскова та ін.; за заг.ред. О.В. Василюка, А.А. Куземко, В.П. Коломійчука, Ю.К.Куцконь. Чернівці: Друк Арт, 2020. 408 с.
12. Мельник А.В. Українські Карпати: еколого-ландшафтознавче дослідження: монографія. Львів, 1999. 222 с.
13. Голубець М.А. Геоботанічне районування Українських Карпат – основа раціонального природокористування.

Праці Наукового товариства ім. Шевченка. Т. XII: Екологічний збірник. Екологічні проблеми Карпатського регіону. 2003. С. 283–292.
14. Emerald Network – General Viewer: веб-сайт. URL: https://emerald.eea.europa.eu/ (дата звернення: 16.10.2022).
15. Праліси, квазі-праліси і природні ліси України: веб-сайт. URL: http://gis-wwf.com.ua/# (дата звернення: 09.11.2022).
16. Українське державне проектне лісовпорядне виробниче об'єднання: веб-сайт. URL: https://www.lisproekt.gov.ua/golovna (дата звернення: 15.10.2022).
17. Смалійчук, А.Д. Праліси та старовікові ліси Українських Карпат: геопросторовий аналіз структури та чинників. *Фізична географія та геоморфологія.* 2017. № 3(87). С. 92–100.
18. Смалійчук, А., Проць, Б. Природні ліси Українських Карпат. Львів: Карти і Атласи, 2018. 104 с.
19. Криницький Г.Т., Чернявський, М.В. Наближене до природи та багатофункціональне ведення лісового господарства в Карпатському регіоні України та Словаччини. Ужгород: ПП «Коло», 2014. 280 с.

УДК 504.3-502.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.24

ОЦІНКА ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ РОСЛИН НА ПРИКЛАДІ ПАРКА ІМ. Т. Г. ШЕВЧЕНКА, М. ДНІПРО

Фалько В.В.
Сумський державний університет
вул. Римського-Корсакова, 2, 40000, м. Суми
vera_falko@ukr.net

У статті розглянуті питання ролі зелених насаджень у вирішенні проблем сучасного міста. В умовах промислового забруднення довкілля міські зелені насадження, затримуючи і осаджуючи атмосферний пил, сприяють значному покращенню і оздоровленню навколишнього середовища, але при цьому токсичні речовини впливають на анатомічну будову і функції рослин. Однією з найгостріших і актуальних для зелених насаджень проблем є забруднення атмосферного повітря, особливо це питання стоїть в промислових містах України. В Україні для оцінки рівня екологічної безпеки природних об'єктів використовують значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Ці нормативи є первинними, постійно діючими стандартами якості навколишнього природного середовища. Порівняльний аналіз ГДК забруднюючих речовин для рослин і людини дає змогу зробити висновок, що рослини в цілому і деревні породи більш чутливі до забруднень атмосферного повітря забруднюючими речовинами, ніж людина, і забруднення атмосферного повітря безпосередньо впливає на всі форми міських зелених насаджень. Ступінь атмосферного впливу на рослини залежить від забезпечення гарантованої якості атмосферного повітря. У проблемі екологічної безпеки введено нове поняття: гарантована якість атмосферного повітря для рослин, яке ми розуміємо як таку якість, за досягнення якої з високою імовірністю гарантується відсутність перевищення концентраціями забруднюючих речовин своїх допустимих величин, за яких вплив забруднень на рослини відсутній. При досягненні такої якості з високою імовірністю гарантується відсутність негативного впливу забруднень атмосферного повітря на рослини. Для характеристики та аналізу гарантованої якості введені її складові. Розроблено науковий підхід для побудови математичних моделей з метою визначення гарантованої якості атмосферного повітря для рослин та управління нею в прогнозних дослідженнях та на основі показників досліджень. У статті наведено результати оцінки гарантованої якості атмосферного повітря для рослин, що проводилась для парка ім. Т. Г. Шевченка, м. Дніпро. *Ключові слова:* зелені насадження, забруднення, повітря, гарантована якість.

Assessment of guaranteed air quality for plants (case of the park named after T. Shevchenko in Dnipro). Falko V.
The article examines the role of green areas in solving the problems of the modern city. In the conditions of industrial pollution of the environment, urban green areas retain and settle atmospheric dust, contributing to a significant environmental improvement. However, at the same time, toxic substances affect plants' anatomical structure and functions. Air pollution is one of the most acute and relevant problems for green areas, especially in industrial cities of Ukraine. The maximum permissible concentrations of pollutants are used to assess the level of environmental safety of natural objects in Ukraine. These regulations are the primary, permanently valid environmental quality standards. A comparative analysis of MPCs of pollutants for plants and humans allows concluding that plants and trees are more sensitive to atmospheric air pollution than humans, and atmospheric air pollution directly affects all forms of urban green spaces. The degree of atmospheric influence on plants depends on ensuring the guaranteed quality of atmospheric air. In the problem of environmental safety, a new concept has been introduced: the guaranteed quality of atmospheric air for plants, which we denote as quality, that achieve, highly guarantees the pollutants concentrations stay in their permissible values, at which there is no impact of pollutants on plants. When achieved, this quality guarantees the absence of air pollution's negative impact on plants with a high probability. The components of the characterization and analysis of the guaranteed quality are introduced. A scientific approach has been developed for elaborating mathematical models to determine the guaranteed quality of atmospheric air for plants and its management in predictive studies based on research indicators. The article presents the results of the guaranteed quality assessment of atmospheric air for plants implemented for the park named after T. Shevchenko, Dnipro. *Key words:* green areas, pollution, air, guaranteed quality.

Постановка проблеми. За прогнозами вчених до середини XXI століття в містах буде жити 80% населення планети. Міста займають лише два відсотки світової площі. Але навіть зараз більше половини всіх людей у світі проживає в містах і міських агломераціях, і ця тенденція зростає. Через безперервний процес урбанізації останніми роками особливо гостро постало питання оптимізації міського середовища. У великих містах сконцентрована значна кількість інфраструктурних об'єктів, вони характеризуються високою щільністю населення і таке поєднання можна розглядати як небезпеку. Велика скупченість людей на порівняно невеликі площі, промислові виробництва, підприємства енергетики, транспорт створюють на території міста несприятливу екологічну ситуацію. Досягненням Україною Цілей Сталого Розвитку є виконання стратегічного завдання Цілі 11 – зменшити негативний екологічний вплив міст у перерахунку на одну особу населення, в тому числі шляхом приділення особливої уваги якості повітря і видаленню міських та інших відходів [1]. Для поліпшення екологічного стану

міст важливе місце посідає озеленення з використанням рослин з високими сануючими властивостями, що гарантує створення екологічно безпечного природного середовища для життя і здоров'я населення, і відіграє суттєву роль у вирішенні складного спектру проблем розвитку сучасного міста [2].

Актуальність дослідження. Зелені насадження міст включають всі форми зелених насаджень і зелених будівель: парки, наділи, перелоги, ігрові та дитячі майданчики, спортивні зони, вулична зелень та вуличні дерева, міські зелені насадження, зелені насадження на громадських будівлях, природоохоронні території, ліси та інші відкриті простори, що облаштовані для структурування та проектування міста, і потребують додаткового догляду. В умовах промислового забруднення довкілля стає актуальним оцінка впливу забруднення атмосферного повітря на зелені насадження міст та забезпечення його гарантованої якості для рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати окремих досліджень присвячені ролі рослин в покращенні мікроклімату міського середовища, збагаченню атмосферного повітря киснем, в них детально розглянуто ступінь атмосферного впливу на рослини в залежності від різних факторів [3-6]. Проте аналіз наукової літератури показав відсутність досліджень щодо забезпечення гарантованої якості атмосферного повітря для рослин та її оцінки, що є важливим елементом сталого розвитку промислових міст.

Новизна. Вперше введено нове поняття: гарантована якість атмосферного повітря для рослин, забезпечення якої виключає з високою ймовірністю вплив забруднень атмосферного повітря на рослини і досягнення необхідного рівня екологічної безпеки природних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Функції та вплив міських зелених насаджень різноманітні: окрім наданням естетичності міським територіям, зелені насадження міст регулюють температуру, очищують повітря, зменшують шум, позитивно впливаючи на міський клімат і здоров'я жителів. Вони забезпечують середовище проживання для флори та фауни, підтримуючи біологічне різноманіття міста.

Беручи до уваги постійне збільшення кількості жителів міст, «зелена інфраструктура» набуває усе більшого значення. Загальновизнано, що розвинута система зелених насаджень сприяє підвищенню якості життя та відпочинку, підтримці здорового клімату, збереженню біорізноманіття. Окрім того, зелена інфраструктура є важливим фактором для підтримки чистоти повітря, регенерації підземних вод і захисту ґрунтів міста.

Провідної ролі в збагаченні киснем повітря міст набувають вічнозелені дерева. Хвойні дерева на 1 т фітомаси виділяють кисню на 12%, а поглинають вуглекислого газу на 20% більше, на відміну від листяних порід [3]. Вічнозелені рослини покращують мікроклімат міського середовища, оберігають від надмірного перегріву ґрунт, поверхню будівель, дорожні покриття, створюють комфортні умови для перебування на відкритому повітрі. Для порівняння, порівняно з озелененими територіями, температура повітря серед міської забудови влітку вища на 2–5 ^{0}C [4].

Проте, взаємозв'язок «рослина – міське середовище» передбачає не лише вплив рослин на навколишнє середовище, а й зворотній вплив довкілля на рослини. Стан атмосферного повітря є одним з чинників навколишнього середовища, який в значній мірі впливає на якість довкілля, здоров'я населення та тваринний і рослинний світ [5]. Саме тому однією з найактуальніших проблем для зеленої інфраструктури постало забруднення атмосферного повітря, яке особливо гостро стосується промислових міст України [6]. В атмосферному повітрі промислових міст зазвичай спостерігається перевищення допустимих концентрацій одночасно кількох забруднюючих речовин. Вплив їх спільної або послідовної дії на рослини є відмінними від дії кожної окремої речовини.

В Україні для оцінки рівня екологічної безпеки природних об'єктів використовують значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Ці нормативи є первинними, постійно діючими стандартами якості навколишнього природного середовища, єдиними для всієї території України. Гранично допустима концентрація (ГДК), найпоширеніший індикатор екологічної ситуації – така маса шкідливої речовини в одиниці об'єму (в мг на 1 м^3 повітря, 1 л рідини чи 1 кг твердої речовини) окремих компонентів біосфери, періодичний чи постійний, цілодобовий вплив якої на організм людини, тварин і рослин не викликає відхилень у нормальному їх функціонуванні протягом усього життя нинішнього та майбутніх поколінь Гранично допустимі максимально разові концентрації забруднюючих речовин в повітрі для людини і рослин наведені в таблиці 1, гранично допустимі середньодобові концентрації забруднюючих речовин в повітрі для людини і деревних рослин в таблиці 2 відповідно [7].

В умовах промислового забруднення довкілля міські зелені насадження, затримуючи і осаджуючи атмосферний пил, сприяють значному покращенню і оздоровленню навколишнього середовища. Проте, результатом цього процесу вплив токсичних речовин на анатомічну будову рослин та їх функції. Ступінь атмосферного впливу на рослини залежить від низки факторів, серед яких: зміна оптичних властивостей листя, закупорювання продихів та гальмування біосинтетичних процесів, подразнення і гальмування росту рослин тощо [8]. До всього, відбувається скорочення тривалості життєвого циклу рослин, а у дерев з'являються ознаки старіння та зниження життєздатності.

Таблиця 1

Гранично допустимі максимально разові концентрації забруднюючих речовин в повітрі для людини і рослин

Речовина	ГДК максимальні разові, мг/м³		
	Рослини в цілому	Деревні породи	Людина
Азоту оксид	0,02	0,04	0,2
Аміак	0,05	0,1	0,2
Бензол	0,1	0,2	0,3
Метанол	-	0,2	1,0
Промисловий пил (цемент)	-	0,2	0, 5
Сірководень	-	0,008	0,008
Сірчана кислота	-	0,1	0,3
Сірки діоксид	0,02	0,03	0,5
Сполуки фтору газоподібні (В перерахунку на F)	-	0,02	0,02
Формальдегід	0,02	0,02	0,035
Хлор	0,25	0,025	0,1

Таблиця 2

Гранично допустимі середньодобові концентрації забруднюючих речовин в повітрі для людини та деревних рослин

Речовина	ГДК середньодобові, мг / м³	
	Деревні породи	Людина
Азоту оксид	0,02	0,04
Ангідрид сірчистий	0,015	0,05
Аміак	0,04	0,04
Бензол	0,05	0,1
Промисловий пил (цемент)	0,05	0,05
Метанол	0,1	-
Оксид вуглецю	3,0	3,0
Пари сірчаної кислоти	0,03	0,1
Сірководень	0,008	0,008
Сполуки фтору газоподібні (В перерахунку на F)	0,003	0,005
Формальдегід	0,003	0,003
Хлор	0,015	0,03

У ході виконання дослідження було встановлено, що під дією промислових газів у рослин з'являються порушення регулюючої функції продихів, руйнується протоплазма і хлоропласти, спостерігається потовщення стінок у клітинах палісадної паренхіми, збільшується проникливість клітинних оболонок, відбувається деформація клітин мезофілу, пригнічується процес поділу і розтягування клітин. Також відчутно знижується інтенсивність транспірації, пригнічується фотосинтез (в 1,5–2 рази). Надалі у рослин спостерігаються пригнічення росту та розвитку надземної частини і кореневої системи. Під впливом токсичних речовин у рослин спостерігається некроз, побуріння або скручування листя, зменшення розмірів, часткове або повне опадання хвої та листя. Загалом перелік негативних наслідків є досить різноманітним та неспецифічним, оскільки одна шкідлива речовина здатна викликати у різних видів рослин різні ефекти, тоді як один ефект може бути спричиненим різними речовинами.

Токсична дія SO_2 проявляється в ушкодженні поверхні листя або хвої через руйнування в них хлорофілу. Рослинність, яка щорічно скидає листя, менше піддається впливу SO_2, ніж хвойна. За умови вмісту SO_2 в повітрі 0,23–0,32 мг/м³ відбувається порушення процесів фотосинтезу, що призводить до загибелі рослинності. Двооксид азоту в концентрації 4–6 мг/м³ зумовлює значні пошкодження рослин. Тривала дія NO_2 за концентрації, меншої, ніж 2 мг/м³, призводить до хлорозу рослин. Менші концентрації хоч і не завдають рослинам помітної шкоди, проте гальмують їхній ріст. За дослідженнями автора [9] дія забруднюючих речовин призводить до пошкодження асиміляційних органів, зниження біологічної продуктивності рослин, скорочення періоду вегетації та тривалості життя міських зелених насаджень.

Беручи до уваги усе вищезазначене, проблема запобігання забруднення атмосфери густонаселених промислових міст потребує нагального вирішення. За існуючого підходу до контроля й управління якістю атмосферного повітря питання забезпечення високої гарантованої якості атмосферного повітря в населених місцях для рослин все за залишається без розв'язання. Важливо зазначити, що за досягнення достатньої якості з високою імовірністю гарантується відсутність негативного впливу забруднень атмосферного повітря на рослини.

Вплив забруднення атмосферного повітря на рослини характеризується концентраціями в повітрі шкідливих для них речовин. Ці концентрації розглянуті як випадкові величини, розподіл їх в приземному шарі атмосфери описується випадковим векторним полем, що в заданій точці місцевості перетворюється у векторну випадкову величину C^*. Аналогічно векторними випадковими величинами розглядаються і допустимі концентрації $C_д$.

Тоді для досягнення високої якості повітря необхідно забезпечити з високою імовірністю P відсутність перевищення концентраціями забруднень допустимих за нормативами для рослин величин.

Таким чином, для рішення задачі необхідно визначити імовірність P і способи управління нею, де

$$P = P(C^* < C_{доп}) = P(C^* - C_{доп} < 0).$$

Для визначення імовірностей P з використанням дослідження даних вимірів використано визначення статистичної імовірності деякої події:

$$P = m / n, \quad (1)$$

де m – число появи деякої події; n – число випробувань.

У задачі, що розглядається, подія – це не перевищення концентрацією забруднюючої речовини (ЗР) своєї гранично допустимої концентрації (ГДК), а величина n – число вимірів концентрацій.

В [10] введено поняття імовірності якості приземного шару атмосферного повітря в населених місцях, в якому буде відсутнє з імовірністю Р перевищення максимальною або середньодобовою концентрацією хоча б однієї ЗР своєї $ГДК_{мр}$ або $ГДК_{сд}$. Якщо імовірність P близька до 1, то таку якість по показникам $ГДК_{мр}$ та $ГДК_{сд}$ будемо називати гарантованою. Виходячи з цього, рівень гарантованої якості буде визначатися величиною імовірності P.

Для характеристики та аналізу гарантованої якості введені її складові:

а) гарантована якість по окремим j-тим речовинам:

– з максимальними концентраціями $С_{мрj}$ в повітрі, що по величині мають імовірність $Р_{мрj}$ не перевищення $ГДК_{мрj}$;

– з середньодобовими концентраціями $С_{сдj}$ в повітрі,що по величині мають імовірність $Р_{сдj}$ перевищення $ГДК_{сдj}$;

б) гарантована якість по системі j=1, 2, …, n ЗР речовин:

– з максимальними концентраціями ($С_{мр1}$, $С_{мр2}$, …, $С_{мрn}$) у повітрі, що по величинам мають імовірність $Р_{мр}$ не періщення концентрацією хоча б однієї ЗР своєї $ГДК_{мрj}$;

– з середньодобовими концентраціями ($С_{сд1}$, $С_{мр2}$, …, $С_{сдn}$) у повітрі, що по величинам мають імовірність $Р_{сд}$ не перевищення концентрацією хоча б однієї ЗР своєї $ГДК_{сдj}$.

Гарантовану якість повітря з імовірністю P та її складової з ймовірностями $Р_{мрj}$, $Р_{сдj}$, $Р_{мр}$, $Р_{сд}$ визначаймо за даними вимірів на стаціонарних постах Гідрометцентру. Для визначення гарантованої якості повітря будемо оцінювати шукані ймовірності, виходячи з наступного:

$$P = \frac{m_\Sigma}{4n}, \quad (2)$$

де m_Σ – число не перевищень максимальною або середньодобовою концентрацією хоча б однієї ЗР своєї $ГДК_{мр}$ або $ГДК_{сд}$, n – число діб, за які проводиться дослідження, 4 – число вимірів за добу.

Решта ймовірностей буде мати вигляд:

$$P_{мрj} = \frac{m_{мj}}{4n}, \quad (3)$$

де $m_{мj}$ – число не перевищень j-тою максимальною концентрацією своєї $ГДК_{мрj}$;

$$P_{сдj} = \frac{m_{сj}}{n}, \quad (4)$$

де $m_{сj}$ – число не перевищення j-тою середньодобовою концентрацією своєї $ГДК_{сдj}$;

$$P_{мр} = \frac{m_м}{4n}, \quad (5)$$

де $m_м$ – число не перевищень максимальною концентрацією хоча б однією ЗР своєї $ГДК_{мрj}$;

$$P_{сд} = \frac{m_с}{n}, \quad (6)$$

де $m_с$ – число не перевищень середньодобовою концентрацією хоча б однією ЗР своєї $ГДК_{сдj}$.

Якщо ймовірність P близька до 1 (дорівнює не менше 0,993–0,997), то така якість повітря буде гарантованою в протилежному випадку – ймовірною якістю.

Якщо ймовірність P близька до 1 (дорівнює не менше 0,993–0,997), то така якість повітря буде гарантованою в протилежному випадку – ймовірною якістю.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились з використанням наукового пошуку та узагальнення даних літературних джерел – при аналізі впливу забруднювачів повітря на здоров'я рослини, теоретичних основ екології, теорії ймовірностей та математичної статистики, обчислювальних методів.

Результати. Оцінка гарантованої якості атмосферного повітря проведена з використанням середньодобових концентрацій ЗР над територією парка ім. Т. Г. Шевченко, м. Дніпро. Оцінка була проведена за даними спостережень на стаціонарному

посту № 10 міста, що проводились Лабораторією Гідрометцентру, м. Дніпро. Оцінка проводилась за вимірами середньодобових концентрацій забруднюючих речовин: пилу $С_{сд1}$, діоксиду сірки $С_{сд2}$, оксиду вуглецю $С_{сд3}$, діоксиду азоту $С_{сд4}$, формальдегіду $С_{сд5}$. Величини $ГДК_{Ссдj}$ для цих ЗР відповідно надані в таблиці 3.

Таблиця 3

Величини $ГДК_{Ссдj}$ для забруднюючих речовин

$ГДК_{Ссдj}$	$ГДК_{Ссд1}$	$ГДК_{Ссд2}$	$ГДК_{Ссд3}$	$ГДК_{Ссд4}$	$ГДК_{Ссд5}$
мг/м^3	0,15	0,05	3	0,04	0,003

Величини середньодобових концентрацій розглянуті для 147 діб, тобто в нашому випадку n=147. У результаті обробки даних спостережень і розрахунків за формулами (4), (6) ймовірностей $P_{сдj}$, $P_{сд}$, що наведені в таблиці 4, $P_{сд1}$ =0,053 (при m_{c1}=5); $P_{сд2}$ =1 (при m_{c2} =147); $P_{сд3}$ =0,986 (при m_{c3}=145); $P_{сд4}$ =0,047 (при m_{c4}=7); $P_{сд5}$ =0,163 (при m_{c5}=24).

Таблиця 4

Результати оцінки величин $Р_{сдj}$

$P_{сд1}$	$P_{сд2}$	$P_{сд3}$	$P_{сд4}$	$P_{сд5}$
0,053	1	0,986	0,047	0,163
m_{c1}	m_{c2}	m_{c3}	m_{c4}	m_{c5}
5	147	145	7	24

Ймовірність від сумарної дії від усіх ЗР дорівнює Р=0, так як не за одну добу не спостерігалась відсутність перевищення концентраціями хоча б однієї ЗР своєї $ГДК_{сдj}$. Із цих даних слідує, що локальну гарантовану якість атмосферного повітря досягнуто тільки для забруднення діоксиду сірки, SO_2 і оксиду вуглецю, СО.

Досить низькі ймовірності не перевищення своїх $ГДК_{сдj.}$ пилом, діоксидом азоту і формальдегідом привели до того, що сумарна для середньодобових концентрацій гарантована якість атмосферного повітря над територією парка ім. Т. Г. Шевченко не досягається. Це не гарантує відсутність можливості впливу забруднення атмосфери на рослини у парку ім. Т. Г. Шевченко, м. Дніпро, і ймовірності значного пошкодження рослин та їх захворювання.

Головні висновки. Визначено, що рослинам властива висока чутливість до забруднення атмосферного повітря. Вказано, що їх стан відображає наявність викидів чи вмісту пріоритетних забруднювачів атмосфери, хоча найхарактерніші ознаки їх впливу на рослини проявляються переважно при високих концентраціях.

У проблемі екологічної безпеки введено нове поняття: гарантована якість атмосферного повітря для рослин, яке ми розуміємо як таку якість, за досягнення якої з високою імовірністю гарантується відсутність перевищення концентраціями забруднюючих речовин своїх допустимих величин, за яких вплив забруднень на рослини відсутній.

Розроблено науковий підхід для побудови математичних моделей з метою визначення гарантованої якості атмосферного повітря для рослин та управління нею в прогнозних дослідженнях та на основі показників досліджень.

Перспективи використання результатів дослідження. Для підвищення екологічності умов життя населення рослини в міський забудові виконують багато функцій: очищають забруднене повітря, зменшують рівні шуму та пилу, зволожують повітря, впливають на мікроклімат міста, створюють гарні умови для відпочинку. Для підтримки необхідного рівня сталості зелених насаджень у міській забудові необхідно забезпечення гарантованої якості атмосферного повітря для рослин, оцінка якої може застосовуватися для вирішення проблем міського середовища.

Література

1. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019 (дата звернення: 14.02.2021).
2. Городские зеленые зоны: краткое руководство к действию / Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения. 2017. 24 с.
3. Bytnerowicz A., Omasa K., Paoletti E. Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective. *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 147. P. 438–445. Doi: 10.1016/j.envpol.2006.08.028
4. Nowak D.J., Hirabayashi S., Bodine A., Greenfield E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 2014. 193. P. 119–129. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.05.028
5. Ren, Y. et al. Air quality and health effects of biogenic volatile organic compounds emissions from urban green spaces and the mitigation strategies. *Environmental Pollution.* 2017. Vol. 230. P. 849–861.
6. Горова А. І., Бучавий Ю. В. Оцінка ступеня озеленення санітарнозахисних зон промислових підприємств Дніпропетровська. *Екологія та здоров'я*, 2016. № 2. С. 35–38.
7. Непошивайленко Н.О. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 70 с.
8. Ганаба Д. Пилове навантаження на деревні насадження міста Хмельницького. *Вісник Черкаського університету*. Сер.: Біол. науки. 2015. № 19. С. 55–60.
9. Рудь Н. В. Оцінка екологічного ризику впливу забруднення навколишнього середовища на рослинність Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України. *Інтродукція рослин*. 2013. № 1. С. 98–101.
10. Білик Є. Ю., Поліщук С. З., Полторацька В. М., Фалько В. В., Гильов В. В. Поняття гарантованої якості атмосферного повітря та її оцінка. Енергетика, екологія, безпека життєдіяльності та комп'ютерні технології у будівництві: колективна монографія. ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»; під загальною редакцією д.т.н., проф. М. В. Савицького. Дніпро, 2018. С. 23–29.

УДК 639.3:628.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.25

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ФІЗІОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ *CHLORELLA VULGARIS* ТА ЇЇ ЗДАТНІСТЬ ДО БІОАКУМУЛЯЦІЇ

Шило Д.О., Клімкіна І.І.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Д. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро
darishashilo@gmail.com, irina_klimkina@ukr.net

Висвітлені результати дослідження впливу важких металів на фізіологічну активність *Chlorella vulgaris* та її здатність до біоакумуляції. Отримано експериментальні результати дослідження резистентності клітин *Chlorella vulgaris* під впливом підвищених концентрацій свинцю та кадмію. Лабораторні дослідження на визначено мікроелементного складу біомаси водоростей ICP-MS методом виконувались на базі екологічної лабораторії ТУ «Фрайберзька гірнича академія», Німеччина. Було проведено культивування мікроводоростей у розчинах з додаванням $Pb(NO_3)_2$ із загального концентрацією свинцю 0,03 мг/л, з додаванням $CdCl_2$ із загального концентрацією кадмію 0,001 мг/л та контрольного розчину без додавання важких металів. Встановлено, що *Chlorella vulgaris* має високу здатність до швидкого приросту біомаси при дотримані певних умов, а саме наявності поживного середовища та оптимальної температури в межах 20-30°С. Протягом культивавання на розчинах з додаванням важких металів мікроводорості не втратили здатності до розмноження та підтримання життєдіяльності. Результати дослідження показали, що додатковий вплив концентрацій свинцю та кадмію на рівні ГДК сприяє підвищенню акумуляції переважної кількості досліджених хімічних елементів. У дослідних варіантах на тлі додаткового стресу кадмієм та свинцем в біомасі хлорели спостерігається підвищення концентрацій хрому у 3,8 і 10,7 разів відповідно, мангану приблизно у 2,5 і міді у 1,28 разів в обох варіантах, цинку в 4,3 і 2,1 рази, свинцю у 1,8 і 1,3 рази відповідно. Було виявлено, що мікроводорості *Chlorella vulgaris* мають певну резистентність до впливу важких металів. Як наслідок, висновки дослідження можуть використовуватися для розробки біотехнології доочищення поверхневих та/або промислових вод від важких металів та інших токсичних елементів. *Ключові слова:* важкі метали, ГДК, біоакумуляція, стічні води.

Investigation of the effect of heavy metals on physiological activities of *Chlorella vulgaris* with special references to heavy metal bioaccumulation. Shylo D., Klimkina I.

The article higlights the result of the investigation of the effect of heavy metals on physiological activities of *Chlorella vulgaris* with special references to heavy metal bioaccumulation. Experimental result of the effect of elevated concentrations of lead and cadmium on *Chlorella vulgaris* were obtained. Laboratory test for determine the microelement composition of algae biomass by the ICP-MS method were perfomed on the basis of the ecological laboratory of the TU Bergakadamie Freiberg. Cultivation of microalgae was carried out in solutions with the addition of $Pb(NO_3)_2$ with a total lead concentration of 0.03 mg/l, with the addition of $CdCl_2$ with a total concentration of cadmium of 0.001 mg/l, and a control solution without the addition of any metals. It has been established that *Chlorella vulgaris* has a high ability to rapidly increase biomass under certain conditions: the presence of a nutrient medium, the optimal temperature in the range of 20–30°C. During cultivation in solutions with the addition of heavy metals, microalgae did not lose their ability to reproduce and maintain vital activity. The results of the study showed that the additional affect of lead and cadmium concentrations contributes to an increase in the accumulation of chemical elements that were studied. In the experimental samples, there is an increase in the concentrations of chromium by 3.8 and 10.7 times, manganese by approximately 2.5 and copper by 1.28 times in both samples, zinc by 4.3 and 2.1 times, lead by 1.8 and 1.3 times. *Chlorella vulgaris* microalgae have been found to be resistant to the effects of heavy metals. It was found that *Chlorella vulgaris* is resistant to heavy metals. The results of the work can be used development of biotechnology for further purification of surface and/or industrial waters from heavy metals and other toxic elements. *Key words:* heavy metals, MPC, bioaccumulation, wastewater.

Постановка проблеми. Забруднення навколишнього середовища важкими металами є однією з найпоширеніших проблем у світі. Важкі метали надходять до природних джерел зі стоками гальванічних, приладобудівних, хімічних виробництв, гірничозбагачувальних комбінатів, теплоелектростанцій та шахтних вод. Важкі метали є токсичними для екосистем та забруднення цими компонентами є характерним для вод басейну Дніпра [1]. Це створює серйозні ризики як для екосистем, так і для людей. Потрапивши в організм важкі метали можуть накопичуватись у кістках та різних органах, спричиняючи їх дисфункцію.

Актуальність дослідження. Важкі метали становлять особливу небезпеку для навколишнього середовища у зв'язку з токсичністю та здатністю накопичуватися в їх організмах. Важкі метали можуть потрапляти у водойми з різних джерел ,однак серед усіх виділяють два основні шляхи їх надходження: природний і антропогенний. Метали – природні складові водного середовища. Деякі з них, наприклад Fe, Mn, Zn, Co, Mo, завжди присутні в низьких концентраціях у водному середовищі. Природні джерела можуть включати ерозію рудопроявів, перенесення металовмісного пилу вітром, лісові пожежі. До антропогенних джерел, основа яких – процеси індустріалізації та урбанізації, належать згоряння палива, видобування корисних копалин, вихлопні гази транспорту, скидання твердих побутових від-

ходів, застосування важких металів у складі добрив і пестицидів.

Регіональне забруднення малих річок важкими металами спричинює погіршення якості води у середніх і великих річках, що створює серйозну небезпеку для здоров'я населення.

За результатами узагальнення даних державного обліку водокористування у 2016 році в поверхневі водні об'єкти скинуто 5399 млн. м^3 стічних вод, у тому числі: підприємствами промисловості – 3444 млн. м^3 [2]. Проби поверхневої води було перевірено на наявність восьми металів: кадмій (Cd), свинець (Pb), ртуть (Hg), нікель (Ni), миш'як (As), хром (Cr), мідь (Cu) та цинк (Zn). Вище за ГДК була концентрація кадмію яка дорівнювала 2,66 мкг/л [3].

Зазвичай очищення стічних вод від іонів важких металів здійснюється за допомогою наступних методів:

– фізико-хімічні: реагентний метод, феритизація, сорбція;

– біологічні: біоінженерні споруди типу біоплато, фітоакумуляція іонів вищими водними рослинами, осадження іонів важких металів біогенним сірководнем, біосорбція.

Традиційні фізико-хімічні методи мають недоліки пов'язані з високою вартістю, енергоємністю, складністю експлуатації та використання хімічних реагентів, а застосування реагентів-окисників провокує забруднення продуктами окиснення й утворення небажаних осадів. Наразі широкого використання у сфері очистки поверхневих стічних вод набувають біотехнології [4].

Chlorella vulgaris широко використовується в екологічних технологіях щодо очищення стічних вод з різною концентрацією забруднюючих речовин. Це пояснюється тим, що для своєї життєдіяльності водорості споживають вуглекислий газ та мінеральні елементи і виділяють кисень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Метою роботи є дослідження впливу важких металів на фізіологічну активність *Chlorella vulgaris* та її здатність до біоакумуляції мікроелементів з навколишнього водного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератур показав, що *Chlorella vulgaris* може ефективно накопичувати важкі метали з водного середовища, але ефективність біоакумуляції залежить від концентрації металу [5, 6]. Під час дослідження біоакумуляції важких металів різними типами мікроводоростей було виявлено, що певні види водоростей є більш ефективними для певних важких металів. Найвищий біокумуляційний фактор у мікроводорості *Chlorella vulgaris* був із металами Cu, Fe, Al [7].

Аналіз літературних даних доводить доцільність можливого використання мікроводоростей *Chlorella vulgaris* для очистки поверхневих стічних вод забруднених важкими металами.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В експериментальних умовах досліджено можливість застосування клітин мікроводорості *Chlorella vulgaris* з метою біоакумуляції важких металів з водного середовища.

Новизна. Отримано експериментальні результати дослідження резистентності клітин *Chlorella vulgaris* під впливом підвищених концентрацій свинцю та кадмію. Визначено мікроелементний склад біомаси водоростей методом ICP-MS (на базі екологічної лабораторії ТУ «Фрайберзька гірнича академія», Німеччина).

Методологічне або загальнонаукове значення. Для досягнення необхідної кількості біомаси клітини *Chlorella vulgaris* культивували на поживному середовище № 3 ($MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,75 г/л; KH_2PO_4 – 1,5 г/л; $CO(NH_2)_2$ – 0,3 г/л; $FeCl_3$ – сліди) в лабораторних умовах при природному освітленні та температурі, а також примусовому додаванні повітря через акваріумний компресор, протягом 7 днів.

На фазі експоненціального зростання клітини у кількості $20.55*10^6$ кл/мл (при підрахунку у камері Гаряєва) були відібрані для культивуванні у розчинах з додаванням $Pb(NO_3)_2$ із загального концентрацією свинцю 0,03 мг/л, з додаванням $CdCl_2$ із загального концентрацією кадмію 0,001 мг/л та контрольного розчину без додавання важких металів. *Chlorella vulgaris* була культивована на цих розчинах протягом 3 днів (рис. 2).

Результати культивування *Chlorella vulgaris* на поживному середовищі № 3 з метою отримання необхідної біомаси для подальшого використання в експерименті з важкими металами представлені на рис. 1.

Як видно з рис. 1, після різкого зменшення кількості клітин на другий день культивування, що може бути пов'язано з адаптацією клітин до нових умов існування, зокрема поживного середовища, температури та освітлення, спостерігається зростання біомаси мікроводорості протягом тижня культивування. Слід відмітити високу здатність *Chlorella vulgaris* до швидкого приросту біомаси при дотримані певних умов, а саме наявності поживного середовища та оптимальної температури в межах 20-30^{o}C.

Для проведення експерименту з визначення біоакумуляційних показників мікроводоростей при культивуванні на розчинах з підвищеним вмістом свинцю та кадмію проводили забір клітин для інокуляції за умов попереднього експоненціального зростання культури *Chlorella vulgaris* (рис. 2).

Рисунок 2 показує, що протягом трьох днів культивування на розчинах з додаванням важких металів мікроводорості були здатні підтримувати життєдіяльність і не втратили можливості до розмноження.

Після експерименту біомаса була відцентрифугована і висушена при 90^{0}C. Зразки біомаси розчиняли розчином aque-regio (H_2O, HCl та HF) під впливом

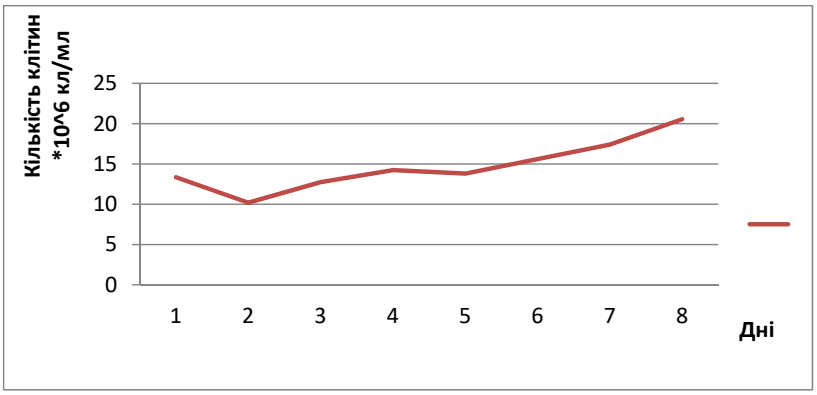


Рис. 1. Приріст клітин Chlorella vulgaris протягом 7 днів культивування

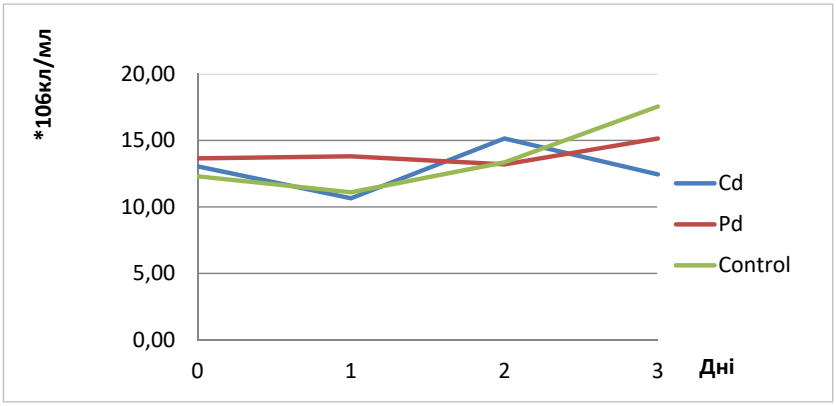


Рис. 2. Культивування Chlorella vulgaris у розчинах культурального середовища з додаванням кадмію (із загальною концентрацією 0,001 мг/л), свинцю ((із загальною концентрацією 0,03 мг/л) і без навантаження важкими металами (контроль) протягом 3 днів експерименту

температури 200^{0}C та тиску (метод Microwave digestion) і розводили до ICP-MS аналізу.

Отримані результати використовували для обчислення біоакумуляційного фактора, який розраховували як співвідношення концентрації елемента в біомасі до його концентрації в культуральному розчині (табл. 1).

З таблиці 1 видно, що біомаса мікроводоростей в експериментальних варіантах містить більшу концентрацію металів, зокрема важких, а також інших токсичних елементів, у порівнянні із контрольними зразками. Хоча результати даного експерименту не дають змогу встановити механізм накопичення або можливої сорбції важких металів клітинами, можна стверджувати, що додатковий вплив концентрацій свинцю та кадмію на рівні ГДК сприяє підвищенню акумуляції переважної кількості досліджених хімічних елементів. Так, у дослідних варіантах на тлі додаткового стресу кадмієм та свинцем в біомасі хлорели спостерігається підвищення концентрацій хрому у 3,8 і 10,7 разів відповідно, мангану приблизно у 2,5 і міді у 1,28 разів в обох варіантах, цинку в 4,3 і 2,1 рази, свинцю у 1,8 і 1,3 рази відповідно. Проте, вказані концентрації не викликали стрімкого пригнічення показників росту (рис. 2), що вказує на резистентність клітин *Chlorella vulgaris* до негативного впливу важких металів на рівні ГДК.

Таким чином, мікроводорості *Chlorella vulgaris* виявили певну резистентність до впливу важких металів, тому вважаємо за доцільне використовувати дану культуру для розробки біотехнології доочищення поверхневих та/або промислових вод від важких металів та інших токсичних елементів.

Таблиця 1

Біоакумулятивний фактор накопичення кадмію та свинцю біомасою *Chlorella vulgaris*

	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Pb
Контроль	6	27	245	5	88	25	69	40	98
0,001 мг/л Cd	23	69	92	6	180	32	298	34	181
0,03 мг/л Pb	64	62	98	6	10	32	148	59	129

Література

1. Хімко Р.В., Мережко О. І., Бабко Р. В. Малі річки – дослідження, охорона, відновлення : довідник. Київ, 2003. 380 с.
2. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2016 році : проект / М-во розвитку громад та територій України URL : https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teplo-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/natsionalna-dopovid/proekt-natsionalnoyi-dopovidi-pro-yakist-pitnoyi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukrayini-u-2016-rotsi/
3. Слободник Я., Алігізакіс Н., Освальд Петер. Скринінговий моніторинг річкового басейну Дніпра : звіт. Київ, 2021. 13 с.
4. В. Я. Ціпух, Л. А. Саблій. Аналіз методів очищення стічних вод від іонів важких металів. *Екологічні біотехнології та біоенергетика* : матеріали науково-практичного семінару присвяченого 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 87–91.
5. Afkar, E., Ababna, H. , Fathi, A. A. Toxicological Response of the Green Alga *Chlorella vulgaris*, to Some Heavy Metals. *American Journal of Environmental Sciences.* 2010. Vol 6, No. 3. P. 230–237.
6. L. Wang et al. Fast and efficient cadmium biosorption by Chlorella vulgaris K-01 strain: the role of cell walls in metal sequestration. *Algal Research*. 2021. Vol. 60, No. 92.
7. Abirhire, O. Bioaccumulation of heavy metals using microalgae. Asian Journal of Microbiology. *Biotechnology and Environmental Sciences.* 2011. Vol 13, No. 1. P. 91–94.

УДК 633.85:638.19
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.26

POLLINATION OF SUNFLOWER BY HONEY BEE: REVIEW

Shpak Ya., Sosnovskyi K., Burkut V., Zarochentseva O., Zhuk A., Fedoriak M.
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
Kotsiubynsky str., 2, 58012, Chernivtsi
dr.yaroslav.shpak@gmail.com, sosnovskyi.kostiantyn@chnu.edu.ua, volodymyr.burkut@gmail.com,
o.zarochentseva@chnu.edu.ua, a.zhuk@chnu.edu.ua, m.m.fedoriak@gmail.com

Sunflower oil importance, cultivation history, floral anatomy, flowering physiology, evolutionary adaptations of sunflower for insect cross-pollination and behavior of honey bees at its visiting are described. This plant has long, interesting and confusing history with rediscovering its seed oility and repatriation in form of big headed oil cultivars in North America. Sunflower inflorescence consists of unisexual sterile ray florets with showy big petals that attract pollinators and bisexual fertile disc florets that produce seed. Its flowering develops by gradually opening of florets rows with transition from staminate male to pistillate female stage. In nature sunflower is an insect cross-pollinated plant. Quantity and quality of sunflower seed yield still strongly depend on honey bee pollination even in case of modern autofertile hybrids and significantly increases under presence of this ecosystem service. Disk florets produce nectar and pollen which play role of reward for pollination. Sunflower nectaries are located at style base directly above floret ovary. They secret nectar which bees use as raw for honey production. Sunflower anthers produce large quantities of pollen. In addition to reproductive function it is used for bee foraging too. This pollen has high energy value due to fatty acids presence (mainly lauric, palmitic and α-linolenic) but deficit of proteins and essential amino acids (methionine and tryptophan) makes low its total nutrient value. Ultraviolet target pattern of sunflower inflorescence guides bees from side to center of inflorescence. They deposit pollen which collected from another heads when move among stigmas of pistillate stage florets rows and then reach staminate stage florets rows for nectar and pollen collection. In addition, permanently are being breeded a lot of new autofertile sunflower hybrids that requires estimation their melliferous potential and also its comparing with old cross-pollinated cultivars. *Key words:* sunflower, honey bee, pollination.

Запилення соняшника медоносною бджолою: огляд. Шпак Я.В., Сосновський К.С., Буркут В.І., Зароченцева О.Д., Жук А.В., Федоряк М.М.

Описано значення соняшникової олії, історію вирощування, квіткову анатомію, фізіологію цвітіння, еволюційні пристосування соняшника для перехресного комахозапилення та поведінку бджіл при його відвідуванні. Ця рослина має довгу, цікаву й заплутану історію з перевідкриттям олійності його насіння і репатріацією у формі крупнокошикових олійних сортів у Північній Америці. Суцвіття соняшника складається з одностатевих безплідних несправжньоязичкових квіток з показними великими пелюстками, що приваблюють запилювачів і двостатевих плідних трубчастих квіток, що продукують насіння. Його цвітіння розвивається поступовим відкриттям квіток з переходом із чоловічої тичинкової стадії в жіночу приймочкову стадію. В природі соняшник є перехреснозапильною рослиною, що запилюється комахами. Кількість і якість урожаю насіння соняшника й досі сильно залежать від запилення медоносними бджолами навіть у випадку сучасних автофертильних гібридів та достовірно зростає за наявності цієї екосистемної послуги. Трубчасті квітки продукують нектар і пилок, що відіграють роль винагороди для запилювачів. Нектарники соняшника розміщені при основі стовпчика прямо над квітковою зав'яззю. Вони виділяють нектар, який бджоли використовують в якості сировини для виробництва меду. Пиляки соняшника виробляють велику кількість пилку. На додачу до репродуктивної функції він використовується бджолами в якості корму. Цей пилок має високу енергетичну цінність через наявність жирних кислот (головним чином лауринової, пальмітинової та α-ліноленової), але дефіцит білків та незамінних амінокислот (метіоніну й триптофану) знижує його поживну цінність. Ультрафіолетовий цільовий візерунок соняшникових суцвіть проводить бджіл від краю до середини кошикового диска. Вони відкладають пилок, який зібрали при відвідуванні інших кошиків під час руху міжряддями приймочок квіток у жіночій стадії, а потім досягають квіток у чоловічій стадії для збору нектару й пилку. На додачу, постійно виводять багато нових автофертильних гібридів соняшника, що вимагає оцінки їх потенційної медодайності, а також її порівняння зі старими перехреснозапильними сортами. *Ключові слова:* соняшник, медоносна бджола, запилення.

Problem statement. A synthetic review of sunflower evolutionary adaptations for cross bee pollination in context of ecological coaction is necessary for conscious effective management of this ecosystem service (pollination of sunflower crops by honey bees).

Topicality of the research. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of the most important plants among oilseed crops in the world. Its oil is very popular due to light taste, the stability at high cooking temperatures, the absence of cholesterol, high contents of unsaturated fatty acids and vitamin E [1; 2, p. 85; 3; 4]. This crop is pollinator-dependent and needs insects for cross-pollination. Honey bee (*Apis mellifera* L., 1758) is the most numerous and effective among its pollinators (fig. 1).

Sunflower honey is tasty, good looking and widespread due to big areas of sunflower crops and long period their flowering [5-10]. It is interesting that Ukraine is one of the biggest exporters of sunflower oil [11; 12] and honey [13] in the world simultaneously. Also beekeepers are interested in melliferous potential of modern autofertile sunflower hybrids [14].

Connection of the author's research with important scientific and practical tasks. The research is performed in frame of research project No. 0122U001217 "Monitoring and optimization of ecosystem services



Fig. 1. Honey bees which are visiting inflorescence of sunflower. Photo taken by Dr. Yaroslav Shpak

under conditions of destructive agroindustrial impacts based on the concept of socioecological system".

Analysis of recent researches and publications. In papers [7; 9; 10] is emphasized current meaning of pollination by honey bee for sunflower seed yield. Study [11] highlights significance of sunflower cultivation and its oil production for Ukraine. Article [13] tells about history, modern level, problems and Ukrainian potential of honey production. Work [4] is devoted to sunflower adaptations for attraction of pollinators. Researches [5; 6] describe particularities of sunflower nectar productivity.

The specification of previously unresolved parts of the general problem, the article is devoted to. Majority of previous papers that devoted to pollination of sunflower by honey bee are analytical and describe this topic outside of ecological and evolutionary contexts.

Novelty. Synthetic literature review of sunflower adaptations for bee pollination in ecological context is performed.

Methodological and scientific significance. Studying of sunflower floral anatomy and flowering physiology is needed for performing of practical nectar productivity estimation. Syntetical review of sunflower adaptations for bee pollination is important for modern agroecology.

Presentation of the main material. Sunflower belongs to Compositae (Asteraceae) family [15]. The word "helianthus" is derived from the Greek words "helios", meaning sun, and "anthus", meaning flower. The sunflower plant origins from eastern North America [16]. Archaeologists state that Native Americans began to cultivate sunflower more than four millenniums ago. Locals even squeezed oil from its seeds long time prior to European colonization. Sunflower was taken to Europe by Spanish explorers in 1500s and was utilized widespread for ornamental and medicinal purposes [2]. The first European record of using sunflower seed as a source of oil is an English patent No. 408, in 1716, granted to Arthur Bunyan. Sunflower seeds came into Russian Empire from the Netherlands in the 18th century. The first suggestion of extracting oil from the seed was recorded in the proceedings of the Russian Academy in 1779. Inadvertently the Orthodox Church of Russian Empire may have encouraged sunflower as an oilseed because Strict Lenten regulations prohibited many oil foods, but they omitted specific mention of sunflower. Consequently sunflower oil became popular as a food [17]. In the mid-twentieth century after great breeding efforts to increase the oil content in Soviet Union, sunflower turned into one of the most important oil crops in the world [2; 9; 16]. Sunflower inflorescence is located at the head (also known as "capitulum") which is surrounded by three rows of involucral bracts for protecting during development. There are two florets (individual inflorescence flowers, also known as "flowers" too) types of sunflower: showy zygomorphic *ray florets* (also known as "ligulate" or "pistillate" florets/flowers) at the head edge and actinomorphic *disc florets* (also known as "perfect" or "hermaphrodite" florets/flowers) wich are located on the remainder head place (fig. 2).

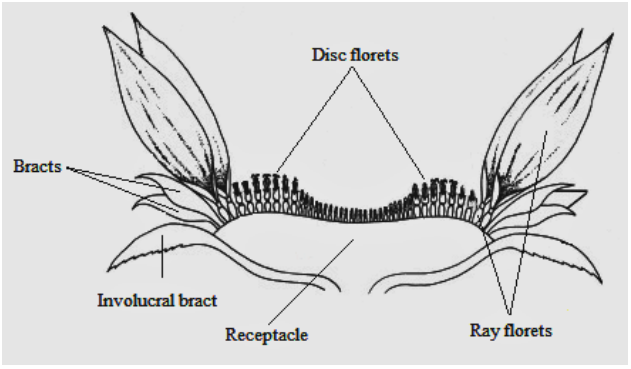


Fig. 2. Longitudinal section of sunflower head.
Adapted from [15, p. 3].

Unisexual ray flowers are *sterile*, although they have a *pistil*. Their big petals are usually golden yellow and also may be pale yellow, orange-yellow, reddish or even white. The sunflower disc at flowering has florets transition from pistillate to staminate stage (fig. 3).

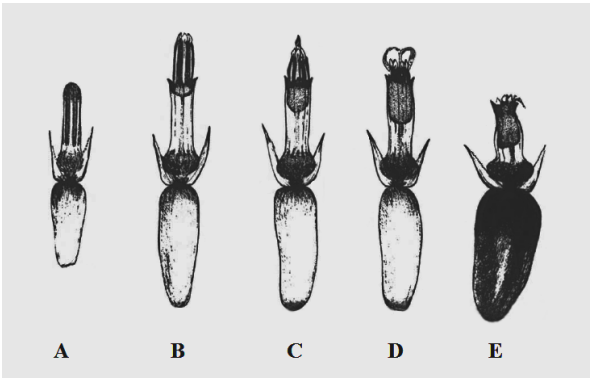


Fig. 3. Stages of sunflower floret maturation: A – unopened bud; B – staminate; C – transitional; D – pistillate; E – wilted
Adapted from [18].

Bisexual disc florets with pistil and *stamen* are *fertile* (fig. 4)

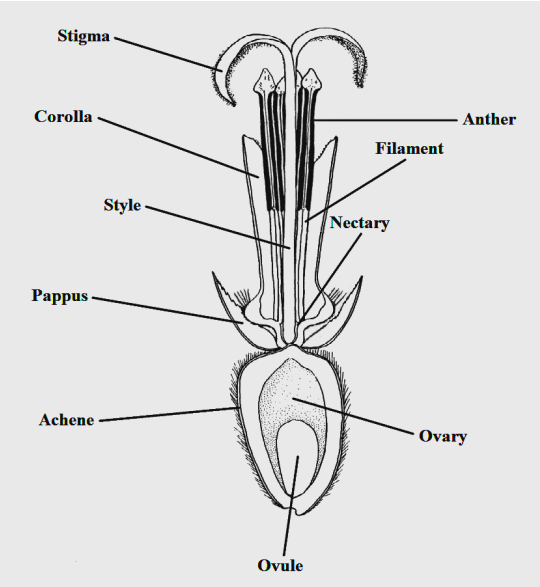


Fig. 4. Longitudinal section of sunflower disc floret in pistillate stage

Adapted from [19].

Their *corolla* (except at the tip) consists of five fused petals. Five fused *anthers* in the corolla tube form the second tube with separate *filaments* which attached to the base. The *style* is enclosed in the anther tube and terminated distally in the bilobed *stigma* which is curled outward above the anther tube [16, p. 21; 17, p. 85; 20-22]. In different papers the disk of the sunflower inflorescence conventionally is divided into 3 regions (also known as "zones"/"circles"/whorls), where each occupies 1/3 its radius. In fact, it contains florets rows that form spiral pattern wich closely is connected to the Fibonacci sequence (fig. 5, 6).

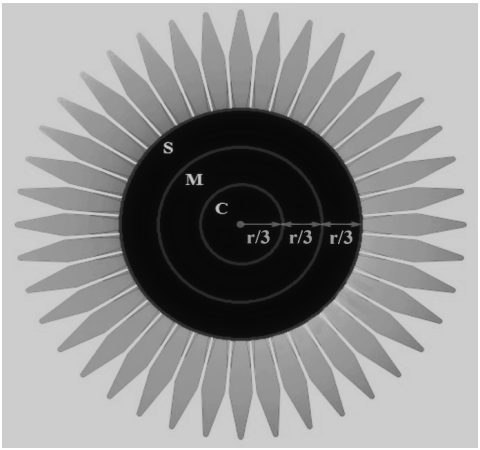


Fig. 5. Regions of sunflower head: S – side; M – middle; C – central

Adapted from [3].

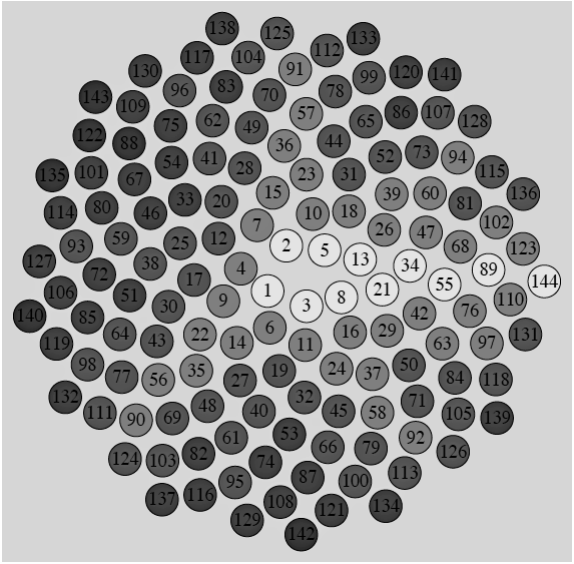


Fig. 6. Nodes of the sunflower spiral according to the Fibonacci metric

Adapted from [23].

The flowering (with staminate to pistillate stage transition) starts in side (also known as "outmost whorl", "outer circle", "periphery"), continues in middle (also known as "middle whorl", "middle circle", "middle") and finishes in central region (also known as "inner whorl", "inner circle", "center") of sunflower disc. Typical sunflower head has next florets rows toward from side to center: wilted → staminate stage → pistillate stage → unopened. The flowering takes 5 to 10 days for single disc. Usually its florets are open for 2 days. On the 1 day, in the anther tube is released own anthers pollen, on the 2 day, any pollen mass remaining is pushed up through the stigmas, then their lobes open outward. They are receptive for another florets pollen, but unattainable for own pollen. The sunflower florets wilt soon after the pollination. Their fertility can holds even 2 weeks at pollinators absence, but durative waiting of pollination reduces seed quantity and quality [1; 3; 19, p. 345-346; 21; 23; 24]. Naturally sunflower is an insect pollinated plant, and the lack of pollinators causes development of unfertilized seeds which have hulls without kernels [5; 25]. It is self-incompatible and needs coming of pollen from another plants because fertilization between florets of same head worsens size, oil content and germination of seed. No exact quantity of honey bees for maximum seed productivity is known. For estimatin of pollination activity count bees quantity per: sunflower head/ crops area or quantity their colonies per crops area unit [19, p. 346-348]. The sunflower has different adaptations for attraction of pollinators. Particulary, its inflorescence has *UV (ultraviolet) target pattern* which are visible for compound eyes of bees (fig. 7).

It guides them toward from side to center of inflorescence. Bees move through rows of pistillate stage florets, thus deposite the pollen collected at previous



Fig. 7. Sunflower inflorescence photographed in visible light (left) and under UV-lighting (right)
Adapted from [26, p. 93].

visitations of another inflorescences, before reaching pollen of staminate stage florets which are located in head central region [21; 22; 26, p. 93]. *Ffloral nectar* (also known as "flower nectar") of sunflower is secreted from the *nectaries* at style base directly above the ovary, mainly at staminate stage but to pistillate stage while the stigmas are still receptive. Timely nectar reward to bees facilitates incoming of pollen to receptive stigmas. Nectaries parameters vary among genotypes and impact on the florets attraction for pollinators. Nectar quality and quantity depend on size, shape and location density of nectaries stomates. Florets of highly attractive genotypes have large nectaries with more stomata than florets of less attractive ones. Sunflower nectar has high energy value due to presence of sugars, particularly fructose, glucose, raffinose and sucrose [5; 18; 21; 22]. *Extrafloral nectar (EFN)* is secreted by nectar-producing glands (also known as "extrafloral nectaries") apart from the flowers. Bees periodically collect it from the glands in bracts and on upper leaves of sunflower, particularly during the afternoon. They rarely collect floral nectar simultaneously with extrafloral nectar and never do it at the same visit of individual plant [27; 28].

Pollen of the sunflower is released from the anthers when open the staminate stage florets [19, p. 345-346]. It contains eight fatty acids which make up the half mass its lipids. The most abundant among them are lauric, palmitic and α-linolenic acids. Instead, amino acids and protein contents of sunflower pollen are relatively low compare to other important forage plants of bees. Particulary, contents of essential amino acids such as methionine and tryptophan in it, are likely below then minimum requirements for honey bees. This composition disbalance adversely affects on their development in case when the almost exclusive source of pollen are the sunflower crops [29]. The anthers tops of sunflower are covered by glandular and non-glandular trichomes which may are dehisced, dislodged or collected by insects at the foraging. Suggested that trichomes contain chemical agents that play role of "repelents" or "attractiants" [21]. Honey bees collect pollen mainly early in the morning and late afternoon, probably in the association with its availability. They actively scrape pollen from the anthers, others collect it incidentally during the collecting of nectar and either put it into their corbicula or discarded it. Often bees are dusting by pollen when collect nectar (fig. 8).

A few of them scrabble over the florets in the staminate stage for pollen without collecting nectar at same visits, but collect nectar at others. It is interesting that nectar-collecters with pollen visit more florets per head than nectar-collecters without pollen [27]. A lot of modern sunflower hybrids are the autofertile, because their self-incompatibility is decreased because of selection against this trait. Although they are less dependent on cross-pollination, honey bee service is still needed for improving quantity and quality their seed yield [8; 9; 30]. There is hypothesis that self-fertile hybrids have less melliferous potential then traditional cross-pollinated cultivars, but it still needs autoritetical affirmation [5; 6].

The main conclusions. Sunflower gradual row flowering and the male to female disk florets transition are



Fig. 8. A honey bee wich is dusted by sunflower pollen. Photo taken by Dr. Yaroslav Shpak

adaptations for cross-pollination. Big bright petals of ray florets, the ultraviolet target pattern and nectaries promote the atraction of insect pollinators. Sunflower gives nectar which honey bees use for production of quality honey. Instead, its pollen has relatively low total nutrient value that is caused by composition disbalance. Sunflower crops need honey bee pollination service for the obtaining of high seed yield.

Prospects for using the research results. In the future, theoretical information of this review is planned will use for the research of nectar productivity and melliferous potential of modern autofertile sunflower hybrids.

References

1. Hassan F. U., Kaleem S., Ahmad M. Oil and fatty acid distribution in different circles of sunflower head. *Food Chemistry*. 2011. No 128. P. 590–595.
2. Kaya Y., Jocic S., Miladinovic D. Sunflower. *Technological Innovations in Major World Oil Crops* / edited by Gupta S. New York, 2012. Vol. 1: Breeding. P. 8–129.
3. Mirzabe A. H., Chegini G. R. Measuring picking force of sunflower seeds and prediction of reasonable range of air-jet parameters to remove sunflower seeds from the head. *Agricultural Engineering International: The CIGR e-journal*. 2015. Vol. 17, No 3. P. 415–429.
4. Whitted E. Evaluating the relationship of pollinator attractiveness to floret length in inbred sunflower (*Helianthus annuus*, *Asteraceae*) lines. Ames: Iowa State University, 2019. 47 p.
5. Nectar Dynamics and Pollinators Preference in Sunflower / Bergonzoli S. et al. *Insects*. 2022. Vol. 717, No 13.
6. Effect of environmental conditions and genotype on nectar secretion in sunflower (*Helianthus annuus* L.) / Chabert et al. *OCL.* 2020. Vol. 27, No 51.
7. Petrov M. et al. Evaluation honey yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop under climatic conditions for Ruse region in Bulgaria: Project: 6 th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (Bucharest, 8–10 June 2017) / edited by Negreanu G.-P., Duțu I.-C. Bucharest, 2017. P. 439–444.
8. Honey bees-potential pollinators in hybrid seed production of sunflower / Rajasri M. et al. *IJABPT*. 2012. Vol. 3, No 2. P. 216–221.
9. Bee Pollination Highly Improves Oil Quality in Sunflower / Silva C. A. S. et al. *Sociobiology*. 2018. Vol. 65, No 4. P. 583–590.
10. Terzić S., Miklič V., Čanak P. Review of 40 years of research carried out in Serbia on sunflower pollination. *OCL.* 2017. Vol. 24, No 6.
11. Adaptability of F1 sunflower hybrids, created according to an integrated system of line selection for economically valuable traits in various agroclimatic zones / Babych V. et al. *Plant Varieties Studying and protection*. 2017. Vol. 17, No 4. P. 290–304.
12. Polevoy V., Lukashchuk L., Peskovski G. Sunflower Cultivation in Ukraine: Role of Fertilizers in Sunflower Seed Production. *Electronic International Fertilizer Correspondent*. 2013. No 36. P. 3–7.
13. Ukraine is Moving Forward from "Undiscovered Honey Land" to Active Participation in International Monitoring of Honey Bee Colony Losses / Fedoriak M. et al. *Bee World*. 2019. Vol. 96, Is. 2. P. 50–54.
14. Ion V., Ștefan V., Ion N. Necessity of polination by melliferous bees at sunflower hybrids actually cultivated in Romania. *USAMV.* 2009. No 52. P. 338–343.
15. Sunflower Production. / edited by Berglund D. R. Fargo: North Dakota State Univ., 2007. 128 p.
16. Sunflowers: Growth and development, environmental influences and pests/diseases. / edited by Arribas J. I. New York: Nova Science Publishers, 2014. 337 p.
17. Sunflower Technology and Production / edited by Schneiter A. A. Madison: American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publishers, 1997. 834 p.
18. Sammataro D., Garment M. B., Erickson E. H. Anatomical features of the sunflower floret. *Helia*. 1985. Vol. 8. P. 25–31.
19. McGregor S. E. Insect pollination of cultivated crop plants. Washington: U.S. Gov. Print. Office, 1976. 411 p.
20. Çetýnbaş A., Ünal M. (2012). Comparative ontogeny of hermaphrodite and pistillate florets in Helianthus annuus L. (Asteraceae). *Not Sci Biol.* 2012. Vol. 4, No 2. P. 30–40.
21. Sammataro D., Erickson E. H, Garment M. B. Ultrastructure of the sunflower nectary. *J Apic Res*. 1985. Vol. 24, No 3. P. 150-160.
22. Wojtaszek J. W., Maier C. A. A Microscopic Review of the Sunflower and Honeybee Mutualistic Relationship. *International Journal of AgriScience*. 2014. Vol. 4, No 5. P. 272-282.
23. Schneiter A. A., Miller J. F. Description of Sunflower Growth Stages. *Crop Science*. 1981. Vol. 21, No 6. P. 901–903.
24. Segerman H. The sunflower spiral and the Fibonacci metric. Bridges: Mathematical Connections in Art, Music, and Science (Pécs, 24–28 July 2010) / edited by Hart G. W., Sarhangi R. Phoenix, 2010. P. 483–486.
25. Factors Controlling Self-Fertility in Sunflower: The Role of GCA/SCA Effects, S Alleles, and Floret Characteristics / Sun Y. et al. *Crop science*. 2012. Vol. 52, No 1. P. 128–135.
26. Prutchi D. Exploring Ultraviolet Photography: Bee Vision, Forensic Imaging, and Other Near-Ultraviolet Adventures with Your DSLR. Buffalo: Amherst Media, 2016. 128 p.
27. Free J. B. The Behaviour of Honeybees on Sunflowers (Helianthus annuus L.). *Journal of Applied Ecology*. 1964. Vol. 1, No 1. P. 19–27.
28. Mizell R. Many Plants Have Extrafloral Nectaries Helpful to Beneficials. *EDIS.* 1969. No 709.
29. Nicolson S., Human H. Chemical composition of the 'low quality' pollen of sunflower (Helianthus annuus, Asteraceae). *Apidologie*. 2013, Vol. 44, No 2. P. 144–152.
30. Škaloud V., Kováčik A. Findings on sunflower self-fertility in connection with line hybridization. *Helia*. 1994. Vol. 17, No 20. P. 13–20.

УДК 582.42 (477.63)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.27

ПРЕДСТАВНИКИ ВІДДІЛУ *PINOPHYTA* В КОЛЕКЦІЇ КРИВОРІЗЬКОГО БОТАНІЧНОГО САДУ НАН УКРАЇНИ

Юхименко Ю.С., Бойко Л.І., Данильчук О.В.
Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг
yukhimenkoj@gmail.com, ludmilaboyko@meta.ua

Багаторічні інтродукційні випробування деревних рослин в ботанічних садах дозволяють рекомендувати для озеленення міст нові стійкі види та культивари. Особливо важливим є вирішення цього питання у великих промислових містах із складними екологічними умовами, яким є Кривий Ріг. Покращити стан техногенного середовища в значній мірі здатні сануючі властивості хвойних рослин. У статті наведені результати аналізу колекції голонасінних (відділу *Pinophyta*) у дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України. Виявлено, що ця група рослин представлена 49 видами, 140 культиварами, що становить 15,6% від усього колекційного фонду деревних рослин. Таксономічний склад колекції має наступну структуру: родина *Cupressaceae* нараховує 119 видів та культиварів, *Pinaceae* – 56, *Taxaceae* – 11, *Cephalotaxaceae* – 1, *Ginkgoaceae* – 1, *Ephedraceae* – 1. Найбільш чисельно серед родів представлений *Juniperus* L. (57 таксонів), *Thuja* L. (34 таксони), *Pinus* L. (23 таксони). У біоморфічній структурі видового складу частка видів та культиварів із життєвою формою «кущ» (100 таксонів; 52,9%) дещо вища, ніж представників із біоморфою «дерево» (89 видів; 47,1%). Багаторічні дослідження показали, що найвищий рівень життєвого стану притаманний 82% рослин, дещо знижений – 32%, знижений – 2 %. Дуже висока декоративність притаманна 55% таксонів, висока – 25%, середня – 18%, низька – 2%. Голонасінні в колекції характеризуються значною різноманітністю морфологічних ознак, що прикрашає ландшафтні пейзажі і дозволяє створити різні комбінації кольорів та силуетів. За формою крони виділено 8 груп: до розлогих чагарників віднесено 19% таксонів, розлогих дерев – 12 %, на рослини з пірамідальною кроною припадає 28% таксонів, кулястою – 11%, подушкоподібною – 10%, колоноподібною – 9%, сланкою – 8%, плакучою – 3%. За забарвленням крони отримали наступний розподіл на 4 групи: зелене (сизо-зелене) – 59 % таксонів, жовте – 15 %, сизе або сизоблакитне – 21%, жовто (біло)-строкате – 5 %. Для широкого впровадження в насадження м. Кривий Ріг рекомендовано 35 видів та 110 культиварів, які пройшли багаторічне випробування в екологічних умовах регіону та мають високі декоративні якості. *Ключові слова: Pinophyta,* колекційний фонд, Криворіжжя, озеленення, фітооптимізація.

Representatives of the division *Pinophyta* in the collection of Kryvyi Rih botanical garden of National Academy of Sciences of Ukraine. Yukhymenko Yu., Boyko L., Danylchuk N.

Long-term introduction tests of woody plants in botanical gardens allow recommending new resistant species and cultivars for landscaping in cities. It is especially important to resolve this issue in large industrial cities with difficult environmental conditions, such as Kryvyi Rih. The sanitizing properties of coniferous plants are able to improve the state of the man-made environment to a large extent. The article presents the results of the analysis of the gymnosperm collection (division Pinophyta) in the arboretum of Kryvyi Rih Botanical Garden of National Academy of Sciences of Ukraine. It was found that this group of plants is represented by 49 species, 140 cultivars, which is 15,6% of the entire collection of woody plants. The taxonomic composition of the collection has the following structure: the family *Cupressaceae* includes 119 species and cultivars, *Pinaceae* – 56, *Taxaceae* – 11, *Cephalotaxaceae* – 1, *Ginkgoaceae* – 1, *Ephedraceae* – 1. The largest number of taxa is represented by such genera: *Juniperus* L. (57 taxa), *Thuja* L. (34 taxa), *Pinus* L. (23 taxa). In the biomorphic structure of the species composition, the share of species and cultivars with the «bush» life form (100 taxa; 52,9%) is slightly higher than representatives with the «tree» biomorph (89 species; 47,1%). Long-term studies have shown that the highest level of vital state is characteristic of 82% of plants, slightly reduced – 32%, reduced – 2%. Very high decorativeness is characteristic of 55% of taxa, high – 25%, medium – 18%, low – 2%. Gymnosperms in the collection are characterized by a significant variety of morphological features, which diversifies landscape landscapes and allows you to create different combinations of colours and silhouettes. 8 groups are distinguished according to the shape of the crown: 19% of taxa are sprawling shrubs, 12% – sprawling trees; plants with pyramidal crown belong to 28% of taxa, 9% have columnar crown, 11% – spherical, 8% – slaty, 3% – weeping, and 10% – cushion-formed one. 4 groups are distinguished according to colour of crown: 59% of the taxa have green (or grey-green) needles or scales, yellow – 15%, grey or grey-blue – 21%, yellow- (or white-) variegated – 5%. 35 species and 93 cultivars are recommended for Kryvyi Rih, which have passed many years of testing in the ecological conditions of the region and have high decorative qualities. *Key words: Pinophyta,* collection fund, Kryvyi Rih, greening, phytooptimization.

Постановка проблеми. Місто Кривий Ріг є залізорудним регіоном і характеризується значним антропогенним впливом на довкілля. Внаслідок більш як 125-річної експлуатації ресурсів регіону та дії гірничо-видобувних підприємств сформовано міське середовище із складними умовами для функціонування екосистем. Площа міста – 430 км^2, населення – більше 600 тис. мешканців. Поліпшення довкілля людини в таких умовах стає дедалі вагомішим і все гостріше постає питання зниження екологічної напруги в регіоні. Значний вклад у цьому напрямку здатні зробити зелені насадження міста, які в техногенних умовах відіграють роль природних детоксикантів забруднювачів оточуючого середовища. Негативний вплив промисловості на біотичну складову довкілля поглиблюється кліматичними особливостями степової зони з нерівномірним розподілом опадів, частими грунтовими та повітряними

посухами, відлигами взимку та пізніми весняними приморозками. В таких умовах важливим є створення стійких, довговічних та водночас декоративних насаджень, в яких саме деревні рослини відіграють основні функції захисту і стають живим щитом між людиною та техногенним середовищем.

Актуальність досліджень. Останнім часом при виконанні заходів фітооптимізації міських насаджень відбувається більш активне залучення до створення та реконструкції ландшафтних проєктів голонасінних, в першу чергу хвойних. Вони мають високу фітонцидну активність, поглинають шкідливі гази, беруть в облогу пилові частинки, довговічні, невибагливі і достатньо стійкі до абіотичних та біотичних факторів, а також на відміну від листопадних покритонасінних мають високий декоративний ефект у будь-яку пору року. У зв'язку з цим, збагачення культурної дендрофлори представниками голонасінних рослин виконує архітектурно-декоративні, санітарногігієнічні та естетичні функції [6, 7]. Осередками фіторізноманіття регіональної та світової флори, а також джерелами впровадження нових стійких видів та культиварів в озеленення міст є колекційні фонди ботанічних садів, де накопичується багаторічний досвід щодо реакцій рослин в нових умовах зростання та їх розмноження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хвойні рослин в степовій зоні України є виключно інтродукованою фракцією і вивченню їх таксономічного складу та стану присвячена низка наукових робіт. Криворізькими дослідниками проведені як комплексні обстеження деревних насаджень регіону [4, 8, 10–13], так і окремо лише хвойних [5, 13, 20]. Дуже важливим є визначення стійкості рослин в складних екологічних умовах промислового міста степової зони України. На рівні фізіологічних та анатомічних процесів ця тема стосовно хвойних рослин висвітлена в деяких працях [9, 13, 21]. Питання розширення асортименту голонасінних в озелененні Криворіжжя вивчено недостатньо. Відомо, що провідними родами серед цієї групи рослин в насадженнях регіону є *Juniperus* L., *Thuja* L., *Picea* A. Dietr., *Pinus* L.

Матеріали та методи. Матеріалом для досліджень є представники відділу *Pinophyta*, що зростають у дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України. Для оцінювання колекції була проведена інвентаризація з визначенням складу та стану колекційних насаджень. Таксономічну та систематичну ідентифікацію проводили за довідниками та визначниками [1], латинські назви приведені згідно міжнародних стандартів [15–20]. Оцінку життєвого стану проводили за методикою В. Т. Ярмішко [14], декоративності – за методикою О. Ю. Ємєльянової [2]. Розподіл рослин за формою крони проводили згідно класифікації А. І. Колєснікова [3].

Результати досліджень. У Криворізькому ботанічному саду з 1980 року була розпочата цілеспрямована наукова робота з формування основного ядра колекційних фондів, значне місце серед яких посіла і група голонасінних рослин. Оскільки початково види в дендрарії розміщували за систематичним принципом, в період з 1980–1985 роки були висаджені компактними групами представники хвойних рослин, а саме види та декоративні форми родів *Juniperus*, *Thuja*, а також висаджені масиви *Pinus pallasiana* D. Don., *Pinus sylvestris* L. та *Picea abies* (L.) Karst. На першому етапі велика кількість посадкового матеріалу залучалась з розсадників Дніпропетровської, Кіровоградської, Полтавської областей та дендропарку Тростянець. Дещо згодом (1985–1987 р.р.) були завезені рослини з родів *Chamaecyparis* Spach., *Juniperus*, *Platycladus* Spach., *Thuja*, *Abies* Mill., *Larix* Mill., *Picea, Pseudotsuga* Carr., *Taxus* L. переважно з Гермаківського лісництва Тернопільської області та з розсадників Донецького ботанічного саду, Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України, біосферного заповідника Асканія-Нова, дендропарку «Тростянець», з радгоспу «Кодри» (Молдова, Бєльці) та із закладеного у 1981 році власного інтродукційного розсадника. Подальший розвиток та збагачення колекції хвойних рослин декоративними рослинами відбувався шляхом отримання насіння, живців та саджанців з інших ботанічних установ України та придбанням сучасних культиварів у садових центрах України.

Голонасінні представлені в колекції КБС класами *Ginkgoopsida* (родина *Ginkgoaceae* Engelm), *Gnetopsida* (*Ephedraceae* Wettst.) та *Pinopsida* (*Cupressaceae* F. Neger., *Pinaceae* Lindl., *Cephalotaxaceae* F. Neger., *Taxaceae* S. F. Gray). В цілому ця група рослин складає 15,6% від загальної кількості таксонів деревно-чагарникової рослинності саду.

На теперішній час колекція голонасінних дерев та чагарників у КБС НАН України налічує 189 таксонів рослин світової флори різного ботаніко-географічного походження, що презентують 6 родин, 17 родів, 49 видів (з них 4 гібридного походження) та 140 культиварів (рис.1, табл. 1). У біоморфічній структурі видового складу частка видів та культиварів із життєвою формою «кущ» (100 таксонів; 52,9%) дещо вища, ніж представників із біоморфою «дерево» (89 видів; 47,1%).

Упродовж 1980–2021 р.р. було висаджено 4026 екземплярів голонасінних. З них 1582 – дерева, 2444 – кущі. Багато видів та культиварів ялівцю значно збільшили свою чисельність за рахунок кореневих паростків. Найчисельнішими у дендрарії є зростання *Juniperus sabina* L. та *J. s.* 'Tamaricifolia' – вони були висаджені одними з перших у кількості 900 та 500 екземплярів відповідно і на даний час утворили багато куртин загальною площею понад 1000 м^2.

Провідною родиною серед голонасінних у колекції, як за кількістю родів, так і за видовим різно-

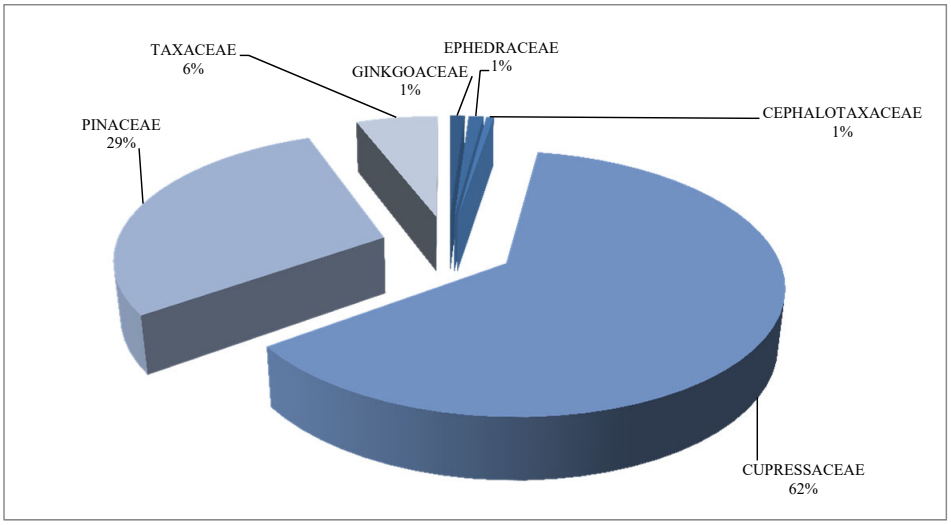


Рис. 1. Розподіл представників відділу Pinophyta за родинами у колекції Криворізького ботанічного саду НАН України

Таблиця 1

Голонасінні в дендрологічній колекції Криворізького ботанічного саду НАН України

Родина	Рід	Вид	Культивар
GINKGOACEAE ENGELM.	Ginkgo L.	1	-
EPHEDRACEAE WETTST.	Ephedra L.	1	-
CEPHALOTAXACEAE F. NEGER.	Cephalotaxus Siebold et Zuss. ex Endl.	1	-
CUPRESSACEAE F. NEGER.	Cryptomeria D.Don.	1	1
	Chamaecyparis Spach.	2	14
	Cupressus L.	-	1
	Juniperus L.	5	52
	Metasequoia Hu et Cheng.	1	-
	Microbiota Kom.	1	-
	Platycladus Spach.	1	6
	Thuja L.	2	32
PINACEAE LINDL.	Abies Mill.	11	1
	Larix Mill.	3	0
	Picea A.Dietr.	5	12
	Pinus L.	10	13
	Pseudotsuga Carr.	1	0
TAXACEAE S. F. GRAY	Taxus L.	3	8
Усього	17	49	140

маніттям є родина *Cupressaceae* (8 родів, 13 видів, 106 культиварів), загальна кількість висаджених рослин становить 2246 екземплярів. Найбільш ємно в цій родині представлений рід *Juniperus*, який презентують в експозиціях дендрарію 5 видів та 52 культивари.

Друге місце за різноманітністю посідає рід *Thuja* (2 види та 32 культивари), третє – рід *Chamaecyparis* (2 види, 14 культиварів). Рід Platycladus. представлений 1 видом та 6 культиварами, решта родів – 1–2 таксонами (табл. 1).

Лише культиварами представлені такі види та різновиди, як *Cupressus nootkatensis* D. Don, *Juniperus horizontalis* Moench, *Juniperus rigida* var. *conferta* (Parl.) Patschke, *Juniperus sabina* var. *davurica* (Pall.) Farjon, *Juniperus squamata* Buch.-Ham. ex D. Don. Найрізноманітніше представлений у цій колекційній групі *Juniperus horizontalis* – 13 сланких культиварів, забарвлення крони яких включає всю палітру відтінків (зелену, сизоблакитну, жовту, жовто-строкату).

Основу насаджень хвойних дерев у дендрарії складають представники родини *Pinaceae* – їх презентують 5 родів, 30 видів та 26 сортів загальною кількістю 1378 екземплярів. Найрізноманітніше тут представлений рід *Pinus* – 10 видів та 13 культиварів. Меншою кількістю таксонів презентовано наступні роди: *Picea* – 5 видів та 12 культиварів, *Abies* – 11 видів та 1 культивар, *Larix* – 3 види.

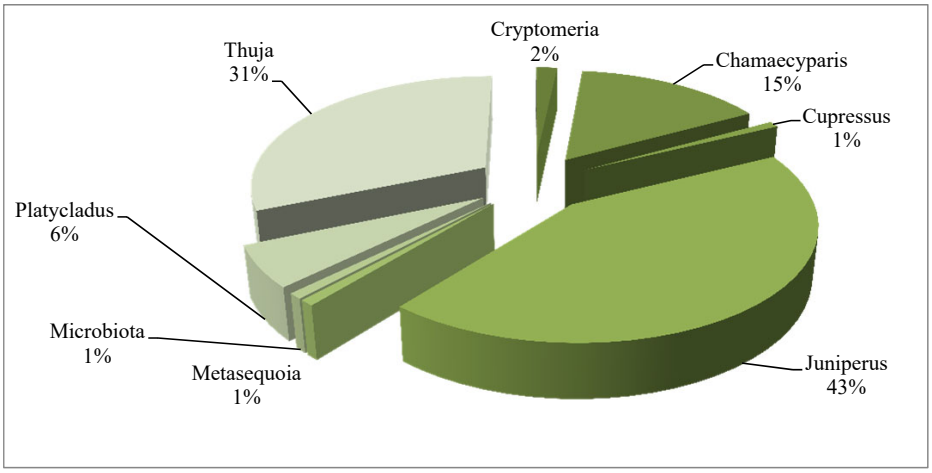


Рис. 2. Таксономічний розподіл представників родини Cupressaceae в колекції Криворізького ботанічного саду

Родина *Taxaceae* представлена 3 видами та 8 культиварами загальною кількістю 54 екземпляри. Решта родин у колекції представлені одним родом та одним видом. В колекції є досить цікаві рідкісні види хвойних рослин монотипних родів, зокрема *Metasequoia glyptostroboides* Hu & W.C.Cheng, *Microbiota decussata* Kom., *Cryptomeria japonica* D. Don.

Територія дендрарію КБС займає площу 22 га і представники голонасінних ростуть по всій території Саду, як в змішаних хвойно-листяних, чисто хвойних композиціях, так і в якості солітерів, виконуючи санітарно-гігієнічні функції та зберігаючи декоративність дендрарію впродовж всього року.

У 2014 році у одному з кварталів дендрарію в рамках міського соціального проєкту було створено ділянку хвойних рослин під назвою «Коніферетум». Назва її умовна, оскільки, як було вже зазначено, представники відділу *Pinophyta* ростуть по всій території Саду, але тут вони домінують. Площа експозиції близько 1 га. При створенні експозиції до вже існуючих насаджень (масиви з рослин родів *Larix, Picea, Juniperus*) було висаджено 27 таксонів (4 види, 21 форма, 2 гібриди), із 3 родин і 5 родів хвойних рослин світової флори різного ботаніко-географічного походження загальною кількістю 55 екземплярів. Так, з родини *Cupressaceae* колекція була поповнена наступними сучасними культиварами *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray bis) Parl. ('Van Pelt's Blue', 'Dart's Blue Ribbon'), *Juniperus horizontalis* Moench ('Huqhes', 'Glaiser', 'Golden Carpet', 'Blue Chip', 'Blue Forest', 'Blue Moon', 'Wiltonii'), *Juniperus ×pfitzeriana* (Späth) P. A. Schmidt ('Gold Coast', 'Golden Saucer', 'Miht Julep', 'Mordigan Gold', 'Old Gold'), *Juniperus squamata* Buch.-Ham. ex D.Don ('Blue Alps', 'Blue Carpet', 'Blue Sweede', 'Mejeri', 'Holger'), *Thuja occidentalis* L. ('Bodmeri','Smaragd', 'Stolwijk', 'Filiformis') та ін.

З родини Pinaceae на «Коніферетумі» були висаджені такі сучасні високодекоративні культивари, як *Picea omorica* 'Pendula Bruns', *Picea pungens* Engelm. 'Hoopsii', *Pinus densiflora* Mast 'Oculus Draconis', *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc. 'Silveray', *Pinus mugo* 'Carstens Winter Gold', *Pinus parviflora* Siebold & Zucc. 'Negishi', *P. p.* 'Tempelhof', *Pinus strobus* L. 'Pendula' та ін. З родини Taxaceae до цієї експозиції було висаджено *Taxus × media* Rehd., *T. baccata* `Schwarzgrum`, *T. cuspidata* Sieb. et Zucc. ex Endl. та ін. При створенні «Коніферетуму» були запроваджені сучасні прийоми ландшафтного будівництва (відсипка пристовбурних кіл деревною корою). Для якісного утримання і збереження колекційних рослин була створена поливна мережа.

Голонасінні в колекції ботанічного саду характеризуються значною різноманітністю морфологічних ознак, що підсилює декоративний ефект ландшафтів і дозволяє створити різні комбінації кольорів та силуетів в композиціях. За формою крони виділено 8 груп: до розлогих дерев віднесено 12% таксонів, розлогих кущів – 19%; на рослини з пірамідальною кроною припадає 28% таксонів, кулястою – 11%, подушкоподібною – 10%, колоноподібною – 9%, сланкою – 8%, повислою – 3%. Частка карликових культиварів з повільними темпом росту становить 12,6% від колекційного фонду голонасінних (загальна кількість в насадженнях становить 88 екземплярів), зокрема це наступні культивари: *Thuja occidentalis* – 'Little Gem', 'Danica', 'Mirjam'; *Picea abies* – 'Nidiformis', 'Maxwellii',' Ohlendorffii', а також *Chamaecyparis lawsoniana* (A.Murray bis) Parl. 'Minima aurea', *Platycladus orientalis* 'Compacta', *Picea glauca* (Moench) Voss 'Conica'.

За забарвленням крони у колекції голонасінних виділено 4 групи: зелений (сизозелений) колір хвої (лусок, листків) мають 59% таксонів, сизий або сизоблакитний – 21%, жовтий – 15%, жовто (біло)-строкатий – 5%.

Більшість голонасінних у колекції є посухо- та зимостійкими. Виключення становить *Cryptomeria*

japonica, яка потерпає від низьких зимових температур (в окремі зими уражуються однорічні пагони). Уразливою до посушливості кліматичних умов є *Metasequoia glyptostroboides*, яка потребує додаткового зрошення влітку.

Різну стійкість дослідні рослини проявляють до ураження шкідниками та хворобами. Систематичної обробки в колекції від щитівки, псевдощитівки та кліща потребують більшість культиварів *Juniperus squamata* ('Blue Carpet', 'Mejeri', 'Holder'), *J. chinensis* L. ('Expansa variegata', 'Stricta'), *J. scopulorum* ('Blue Arrow', 'Blue Heaven'), а також *Juniperus ×pfitzeriana* 'Miht Julep', *Juniperus virginiana* L. 'Grey Owl'. Ураження псевдощитівками майже кожного року спостерігається у *Larix decidua* Mill. та *L. sibirica* Ledeb., періодично основними пильщиками – у *Pinus strobus*. Від грибкових захворювань в останні роки потерпають *Picea glauca* 'Conica', *Picea abies* 'Nidiformis'.

Вплив абіотичних та біотичних факторів зумовлюють рівень життєвого стану рослин, який в свою чергу впливає на привабливість як кожної окремої рослини так і насаджень в цілому. Більшість голонасінних у колекції (82%) віднесені до першої категорії життєвого стану (здорова рослина), до другої категорії (пошкоджена рослина) віднесено 17% рослин у колекції, до третьої категорії (сильно пошкоджена рослина) – 1%.

Дуже висока декоративність притаманна 55% таксонів, висока – 25%, середня – 15%, низька – 5%. Для широкого впровадження в насадження м. Кривий Ріг рекомендовано 40 видів та 110 культиварів, які пройшли багаторічне випробування в екологічних умовах регіону та мають високі декоративні якості.

Висновки. Насадження голонасінних (відділ *Pinophyta*) у Криворізькому ботанічному саду НАН України є потужним джерелом збагачення насаджень міста новими таксонами та водночас слугує дослідницькою базою для вивчення їх росту й розвитку, життєвого стану, декоративності, ефективних методів розмноження тощо. На даний час колекція нараховує 6 родин, 17 родів, 49 видів та 140 культиварів світової флори різного ботаніко-географічного походження. За морфологічними ознаками голонасінні в колекції представлені досить різноманітно – за формою крони їх розподілено на 8 груп, за забарвленням крони – на 4 групи. Переважна більшість рослин (82%) у колекції мають найвищий рівень життєвого стану, дещо знижений – 32%, знижений – 1%. Висока та дуже висока декоративність характеризує 80% видів та культиварів колекції, середня – 18%, низька – 2%.

Перспективи використання результатів дослідження. Багаторічні дослідження біоекологічних особливостей представників відділу *Pinophyta* на базі колекційних фондів Криворізького ботанічного саду НАН України дозволили виділити та рекомендувати нові види та культивари для впровадження в озеленення населених пунктів промислового регіону степової зони України. Асортимент стійких та водночас високо декоративних рослин серед голонасінних склав 40 видів та 110 культиварів, які відрізняються широким спектром морфологічних ознак і придатні для створення яскравих сучасних композицій з високим сануючим ефектом у міських ландшафтах.

Література

1. Деревья и кустарники, культивируемые в Украинской ССР. *Голосеменные: справ. пособие* / Кузнецов С. И. и др. Киев: Наук. думка, 1985. 200 с.
2. Емельянова О.Ю. К методике комплексной оценки декоративности древесных растений. *Современное садоводство*, 2016. Вып. 3. URL: http//journal.vniispk/ru/
3. Колесников А.И. Декоративная дендрология. М.: Лесная промышленность, 1974. 704 с.
4. Коршиков І.І., Суслова О.П., Петрушкевич Ю.М. Деревні рослини в умовах промислових міст Степу: монографія /за заг. ред. д.б.н., проф. І.І. Коршикова. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 456 с.
5. Мазур А. Ю., Коршиков І. І., Бойко Л. І., Юхименко Ю. С., Красноштан О. В., Данильчук Н. М., Лаптєва О. В. Інтродукційний потенціал хвойних в мікроландшафтних дендрокомпозиціях Криворізького ботанічного саду НАН України. *Scientific Journal «ScienceRise:Biological Science».* 2018. № 1(10). С. 20–25.
6. Поляков А.К., Суслова Е.П. Хвойные на юго-востоке Украины. Донецк : Норд-Пресс, 2004. 195 с.
7. Середюк О.О., Якобчук О. М., Кривохатько Г. А. Перспективи використання хвойних деревних рослин для зеленого будівництва в умовах міста Києва на прикладі зелених насаджень Національного університету біоресурсів і природокористування України. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2014. Вип. 24.4. С. 148–153. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2014_24.4_25
8. Структура та розвиток культурфітоценозів Криворіжжя / Е. О. Євтушенко та ін.; за ред. Е. О. Євтушенка, В. М. Савоська. Кривий Ріг : Діонат, 2017. 166 с.
9. Суслова О.П. Динаміка вмісту фотосинтетичних пігментів асиміляційного апарату *Juniperus media* Melle 'Mint Julep' в міських насадженнях степової зони України. *Екологічні науки*. 2022. 34(43). С. 158–162. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.26. URL: http://ecoj.dea.kiev.ua/4-43-2022
10. Терлига Н.С., Данильчук О.В., Юхименко Ю.С., Федоровський В.Д., Данильчук Н.М. Культивована дендрофлора парків та скверів Кривого Рогу: історичні аспекти формування та сучасний стан. *Вісник харківського національного аграрного університету. Серія Біологія.* 2015. Вип. 2(35). С. 93–101.

11. Терлига Н.С., Федоровський В.Д., Юхименко Ю.С., Данильчук О.В., Данильчук Н.М., Лаптєва О.В. Ботаніко-географічний аналіз і частота трапляння видів деревно-чагарникової рослинності зелених насаджень Кривого Рогу. *Вісник Запорізького національного університету: збірник наукових праць. Біологічні науки*. 2014. № 1. С. 200–210.
12. Федоровський В.Д., Терлига Н.С., Юхименко Ю.С., Данильчук О.В., Данильчук Н.М., Лаптєва О.В. Видовий склад та життєвий стан деревно-чагарникової рослинності парків та скверів м. Кривий Ріг. *Інтродукція рослин.* 2013. № 3. С. 73–79.
13. Федорчак Е.Р. Еколого-біологічні особливості видів роду *Picea* A. Dietr. в урботехногенних умовах м. Кривий Ріг : дис. … канд. біол. наук : 03.00.16. Дніпро, 2021. 153 с.
14. Ярмишко В. Т. Диагностика повреждений и оценка жизненного состояния деревьев и древостоев в условиях промышленного атмосферного загрязнения. *Методы изучения лесных сообществ*. СПб. : НИИ Химии СПбГУ, 2002. С. 154–165.
15. ICN – International Code of Nomenclature for Algae, Fungi and Plants (Melbourne Code) / J. McNeill [et al.] (eds.). 2012. Regnum Veg. 154. URL: http://www.iapt-taxon.org/nomen/main.php?page=com
16. IPNI – International Plant Names Index. URL: http://www.ipni.org/index.html – [Cited 03.03.2013].
17. The Plant List by the royal botanis Gardens Kew and Missouri Botanical. 2013. URL: http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=Crataegus
18. An Online Flora of All Known Plant, 2020. URL: http://www.worldfloraonline.org
19. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T20454606A20454613. DOI: https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T20454606A20454613.en. (Downloaded on 08 December 2020)
20. Conifer database search. American conifer society. 2020. URL: https://conifersociety.org)
21. Fedorchak E. Influence of pollution on photosynthesis pigment content in needles of *Picea abies* and *Picea pungens* in conditions of development of iron ore deposits. *Ekológia (Bratislava)*. 2020. Vol. 39, № 1. P. 1–15. DOI: 10.2478/eko-2020-0001

УДК 551.5: 635.658:631.42
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.28

АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ СОЧЕВИЦІ З ВРАХУВАННЯМ АГРОЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ҐРУНТІВ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Вольвач О.В., Колосовська В.В., Костюкєвич Т.К., Сербінов Б.М.
Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса
rada.d.4109001@gmail.com, v.kolosv@ukr.net, kostyukevich1604@i.ua, serbinovb@gmail.com

Агроекологічна оцінка умов формування врожайності сільськогосподарських культур залишається першочерговою задачею, яка стоїть перед сільським господарством. На сучасному етапі соціально-економічного розвитку України збільшується актуальність подібних досліджень з урахуванням регіональних особливостей територій. Агроекологічна оцінка ґрунтів залежить від комплексу показників ґрунтових режимів. Оскільки значну кількість посівних земель в Україні займає рапс, ріпак та соняшник, то ґрунт надмірно виснажується, а це погано впливає на якість ґрунту.Одним із легких і дієвих методик зміни цієї ситуації є введення сівозміну зернобобових. Сочевиця має здатність накопичувати велику кількість корисних мікроорганізмів [2, 3]. Особливістю культури сочевиця є можливість витримувати тривалу посуху, разом з тим, легко переносити заморозки до -5 °С в період вегетації, а з урахуванням змін клімату це дуже актуально. Також культура сочевиця не здатна накопичувати нітрати і радіонукліди. Саме така її унікальна властивість дозволяє вирощувати дану культуру в забруднених районах, як екологічно чистий продукт.

Вирощування сочевиці є економічно вигідним і доцільним, оскільки чистий прибуток складає 50% і більше від валового. Також вирощування сочевиці надає можливість зменшити внесення мінеральних добрив і пестицидів. У процесі вегетаційного періоду культура сочевиці пов'язує 80-150 кг азоту, це рівнозначно внесенню 300–400 кг аміачної селітри.При підрахунках вартості витрат на мінеральні добрива, зрозуміло, що симбіотична азотфіксація має великий економічний сенс.

За даними FAOSTAT в 2017 році сочевиця вирощувалася в 52 країнах світу. Найбільше вирощується в Південній і Західній Азії, Північній Африці, Канаді, Австралії і США. В Україні сочевицю можна вирощувати майже в усіх регіонах, але найбільш прийнятний для неї Лісостеп [1]. За посівними площами та рівнем урожайності сочевиці в Україні лідирує Вінницька область.

Метою дослідження являється визначення агрометеорологічних показників сочевиці, уточнення біологічного мінімуму по міжфазним періодам вегетації, виявлення показників, що найбільше впливають на її урожайність, агроекологічна оцінку умов вирощування сочевиці на території Вінницької області та агроекологічна оцінку ґрунтів території. Перша частина дослідження виконувалась з використанням методів статистичних розрахунків, друга частина – за методом Медведєва В.В. За методом Г.Алексєєва урожаї сочевиці величиною 22,3 ц/га можна отримати з ймовірністю 10% (раз в десять років), а урожаї сочевиці величиною 11,1 ц/га можна отримати щорічно. За методом Медведєва В.В. агроекологічні показники ґрунтів досліджуваної території по більшій мірі відповідають оптимальним та допустимим умовам. *Ключові слова:* сочевиця, агрометеорологічні умови, вегетаційний період, активна температура, орна земля, динаміка урожайності.

Agrometeorological conditions of cultivation of lentils taking into account the agro-ecological assessment of the soils of the Vinnytsia region. Volvach O., Kolosovska V., Kostiukievych T., Serbinov B.

Agroecological assessment of the conditions for the formation of the yield of agricultural crops remains the primary task facing agriculture. At the current stage of the socio-economic development of Ukraine, the relevance of such studies is increasing, taking into account the regional characteristics of the territories. The agroecological assessment of soils depends on a set of indicators of soil regimes. Since a significant amount of arable land in Ukraine is occupied by rapeseed, rape and sunflower, the soil is excessively depleted, which has a bad effect on the quality of the soil. One of the easy and effective methods of changing this situation is the introduction of crop rotation with legumes. Lentils have the ability to accumulate a large number of useful microorganisms. A feature of the lentil culture is the ability to withstand a long drought, at the same time, it can easily tolerate frosts down to -5 °C during the growing season, and this is very important in view of climate change. Also, lentil culture is not able to accumulate nitrates and radionuclides. It is this unique property that allows this crop to be grown in polluted areas as an environmentally friendly product.

Cultivation of lentils is economically profitable and expedient, as the net profit is 50% or more of the gross. Also, the cultivation of lentils provides an opportunity to reduce the application of mineral fertilizers and pesticides. During the growing season, lentil culture binds 80-150 kg of nitrogen, which is equivalent to applying 300-400 kg of ammonium nitrate. When calculating the cost of mineral fertilizers, it is clear that symbiotic nitrogen fixation makes great economic sense.

According to FAOSTAT, in 2017, lentils were grown in 52 countries of the world. It is mostly grown in South and West Asia, North Africa, Canada, Australia and the USA. In Ukraine, lentils can be grown in almost all regions, but the Forest Steppe is the most suitable for them. Vinnytsia Oblast is the leader in terms of cultivated area and yield of lentils in Ukraine, which is why this crop and territory was chosen for research.

The purpose of this study is to determine the agrometeorological indicators of lentils, clarify the biological minimum for interphase periods of vegetation, identify the indicators that most affect its yield, agroecological assessment of the conditions for growing lentils

in the territory of Vinnytsia region and agroecological assessment of the soils of the territory. The first part of the research was carried out using methods of statistical calculations, the second part – according to the method of V. V. Medvedev. According to H. Alekseev's method, a lentil harvest of 22.3 tons/ha can be obtained with a probability of 10% (once every ten years), and a lentil harvest of 11.1 tons/ha can be obtained annually. According to the method of Medvedev V.V. the agro-ecological indicators of the soils of the studied territory largely correspond to the optimal and permissible conditions. *Key words:* lentil, agrometeorological conditions, growing season, active temperature, arable land, yield dynamics.

Постановка проблеми. Сочевиця як культура характеризується високою біологічною пристосовністю, але має певні вимоги до умов вирощування. Від цих умов безпосередньо залежать темпи росту, розвитку сочевиці, а в результаті й сам урожай. Як стверджують науковці, тривалість періоду від сівби до сходів і від сходів до цвітіння сочевиці, головним чином залежить від температури повітря, а тривалість періоду «цвітіння – достигання» корелює з температурою повітря і сумою опадів [6]. Важливо визначити ступінь відповідності агрометеорологічних умов вирощування сочевиці в Вінницькій області тим вимогам, які культура пред'являє кожному з факторів навколишнього середовища. Агроекологічна оцінка – це оцінка родючості ґрунтів, при якій можна визначити наскільки доцільно обробляти культуру на цій території. Без проведення агроекологічної оцінки, є велика вірогідність отримати низьку врожайність культури та розорення ґрунтів. Проведення комплексної агроекологічної оцінки забезпечує раціональне використання та збереження ґрунтів.

Актуальність дослідження. Сочевиця відома ще з давніх часів. У країнах Західної Європи ця рослина завжди була ціною продовольчою культурою. В Україні ж про неї на деякий час забули, але сьогодні вона знову набирає популярності. Завдяки деяким цінним властивостям сочевиця має перевагу над іншими культурами. Насамперед це білок, який засвоюється організмом людини значно легше, ніж білок інших рослин. За його вмістом (20–36% залежно від сорту) сочевиця знаходиться на другому місці після сої (32–40%). Крім того, сочевиця є відмінним попередником у польових сівозмінах. Однією з причин цього є її здатність до симбіотичної фіксації азоту з повітря, завдяки чому можна істотно скоротити норми внесення мінеральних добрив. Кращими попередниками для сочевиці є удобрені гноєм озимі, а також просапні культури [3–5].

Площі під сочевицею в Україні поступово збільшуються: у 2016 році було засіяно близько 8 тис га, в 2017 році близько 20 тис га. Якщо в 2015 році фермери отримували в середньому 12 ц/га, то в 2016 році – 17–22 ц/га. За посівними площами та рівнем урожайності сочевиці Вінницька область лідирує.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження відповідає основним напрямам наукової діяльності кафедри агрометеорології та агроекології Одеського державного екологічного університету і виконувалась в рамках науково-дослідної теми «Розробка методу оцінки агроекологічних умов формування продуктивності зернобобових культур в Україні».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На думку Кулініча [4], тривалість періоду від сівби до появи сходів значною мірою залежить від вологості і температури ґрунту. Якщо вологість і температура ґрунту достатні, то сходи сочевиці з'являються швидко. За С.І. Сорокіним, Н.Н. Бабичем і В.О. Степанцовим [2], під впливом погодних умов тривалість вегетаційного періоду та фаз росту і розвитку сочевиці коливається досить сильно: більшою мірою (до 88%) вона залежить від зміни метеорологічних факторів і в меншою (12%) – від зміни параметрів агротехнічного прийому

Вивченням агроекологічної оцінки займаються в багатьох країнах світу: Новій Зеландії, Канаді, Єгипті, Китаї, Туреччині, Індії, США [7–11]. Вчені Австралії провели серію експериментів, в результаті яких дали рекомендації щодо проведення глобальної агроекологічної оцінки земель [11]. Агроекологічна оцінка виконує перевірку земельних ресурсів для оцінки при певних умовах використання всіх можливих варіантів сільськогосподарського землекористування і кількісної оцінки очікуваного виробництва сільськогосподарських культур. Комплексна оцінка сільськогосподарських земель для стійкого розвитку зернобобових культур була проведена азербайджанськими вченими з використанням системи Micro LEIS. Дану систему можна використовувати для оцінки якості ґрунтів та планування землевикористання [8].

Для оцінки врожайність зернобобових, бразильські вчені розробили модель, завдяки якій можна визначити реакцію врожайності культури на зміну клімату [9, 10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Культура сочевиці дуже добре вивчена як в ботанічному, так і в агротехнічному відношенні. Досить детально вивчені грунтові умови території. Унікальним інвестиційним потенціалом Вінницького регіону є земельний фонд: 21% – це землі чорноземного типу. Це унікальна концентрація високоякісних земельних ресурсів. Незважаючи на великий обсяг теоретичних і експериментальних досліджень, багато питань виникає стосовно уточнення агрометеорологічних умов та агроекологічної оцінки умов вирощування культури. Для адаптації сочевиці необхідно провести нормування параметрів агроекологічних умов вирощування культури стосовно грунтів

Вінницької області. Мета дослідження: визначити агрометеорологічні умови вирощування культури, провести агроекологічну оцінку ґрунтів досліджуваної території.

Методологічне або загальнонаукове значення. На основі методу найменших квадратів проведено уточнення біологічного мінімуму сочевиці по міжфазним періодам. Для визначення агрометеорологічних умов вирощування розраховані агрометеорологічні показники по міжфазних періодах розвитку сочевиці. За методом гармонійних зважувань проведено аналіз динаміки врожаїв сочевиці. За методом Г. Алексєєва визначено мінливості урожаю сочевиці. Агроекологічна оцінка виконана за методом Медведєва В.В., в основі якого лежать певні критерії – оптимальні, допустимі, недопустимі. Перший рівень характеризується оптимальними умовами, тобто можливо отримати найвищі екологічно чисті врожаї. Другий рівень характеризується задовільними умовами, це означає що є загроза зниження врожайності на 25–30%. Третій рівень відповідає незадовільним умовам, так як є загроза зниження врожайності до 50%.

Виклад основного матеріалу. Спостереження ведуться за 20-річний період (2000–2019 рр.) по наступним міжфазним періодам вегетації: сівба – сходи; сходи – цвітіння; цвітіння – достигання. Проведено аналіз агрометеорологічних умов вирощування сочевиці за вегетаційний період. У Вінницькій області середньобагаторічна дата сівби сочевиці – 7 квітня, а дата достигання – 5 липня. Середня тривалість вегетаційного періоду від сівби до достигання за 20 – річними даними склала 87 днів.

Сума активних температур за період вегетації становить у середньому 1343 °С, сума ефективних температур в середньому становить 896 ºС. Кількість опадів за вегетаційний період в середньому становить 173 мм.

На основі методу найменших квадратів проведено уточнення біологічного мінімуму сочевиці по міжфазним періодам та отримано наступні рівняння:

– сівба-сходи ΣТ = 6,1 N + 53;
– сходи-цвітіння ΣТ = 7,6 N + 362;
– цвітіння – достигання ΣТ = 17,3 N + 35

Коефіцієнти кореляції, що дорівнюють 0,51-0,96, говорять про те, що отримані зв'язки є тісними. Таким чином, біологічний мінімум сочевиці в період сівба-сходи дорівнює 6,1 ºС, сходи-цвітіння – 7,6 ºС, цвітіння – достигання 17,3 ºС.

За методом гармонійних зважувань проведено аналіз динаміки врожаїв сочевиці. В середньому за період 2000–2019 рр. урожай склав 19,0 ц/га. Протягом досліджуваного періоду спостерігалися постійні коливання фактичної урожайності сочевиці (рис. 1).

Так, у 2008, 2011 та 2016 рр. були зібрані досить високі урожаї сочевиці 21,6-24,0 ц/га. Найменші за весь період дослідження урожаї були зібрані в 2010, 2013 та 2017 рр. – 11,1 ц/га,13,5 ц/га та 13,3 ц/га відповідно. Протягом 2008 р. спостерігалися найбільш сприятливі умови, приріст урожаю за рахунок погодних умов становив 5,4 ц/га.

Для визначення мінливості урожаю сочевиці було використано метод Г. Алексєєва. Для проведення розрахунків вже маючи дані щорічного урожаю за досліджуваний період, необхідно було проранжувати величини урожаю (в порядку спадання), та розрахувати забезпеченість. ВВінницькій області урожаї сочевиці величиною 22,3 ц/га можна отримати з ймовірністю 10%, тобто раз в десять років.

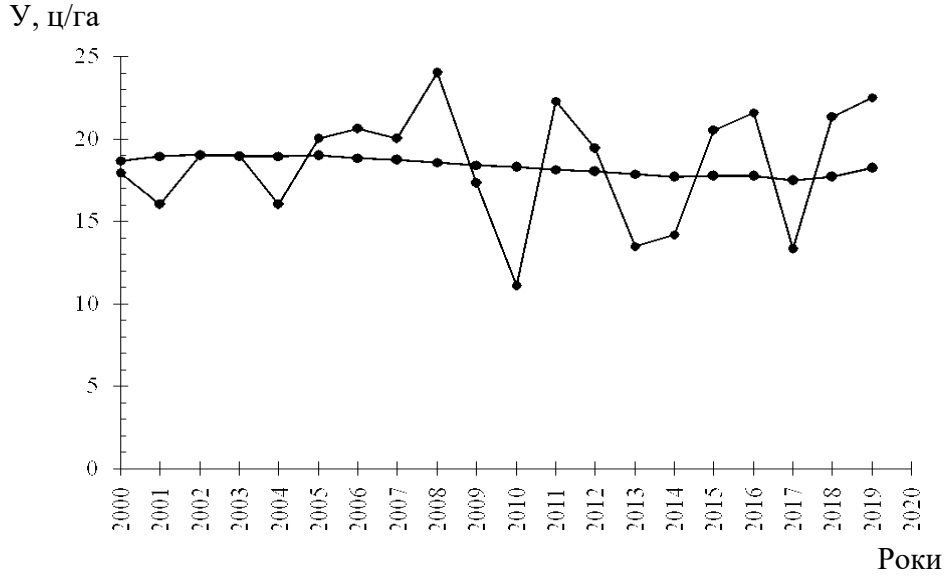


Рис. 1. Динаміка урожайності сочевиці та лінія тренду в Вінницькій області за 2000–2019 рр.

Урожаї сочевиці величиною 23,5 ц/га отримують раз в 20 років (ймовірність 5%), 19,2 ц/га отримують з ймовірністю 50% – 5 разів в десять років, 11,1 ц/га можна отримати щорічно.

Серед зональних типів ґрунтів переважають сірі опідзолені ґрунти, темно-сірі та чорноземи опідзолені та типові малогумусні чорноземи, а також зустрічаються азональні дерново-підзолисті ґрунти. Для виконання агроекологічної оцінки проведено нормування параметрів агроекологічних умов вирощування сочевиці (табл. 2).

В табл. 3 представлено значення параметрів сірих опідзолених ґрунтів та чорноземів опідзолених на ріллі. Аналізуючи та порівнюючи дані табл. 2 та табл. 3 бачимо, що ґрунти Вінницької області по більшості параметрів характеризуються допусти-

Таблиця 1

Забезпеченість урожаїв сочевиці в Вінницькій області

$У_{ср}$, ц/га	Забезпеченість, %										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
19,0	23,5	22,3	21,2	20,4	19,8	19,2	18,1	16,8	15,0	12,7	11,1

Таблиця 2

Нормування параметрів агроекологічних умов вирощування сочевиці

Параметри	Сочевиця		
	оптимальні	допустимі	недопустимі
1. Потужність гумусового шару, см	>65	32-65	<31
2. Гранулометричний склад	2,3,4	1	5,2
3. Щільність грунту, г/см^3	1,1-1,3	0,95-1,09 1,31-1,4	<0,95 >1,41
4. Вміст гумусу, %	>3,8	2,6-3,7	<2,5
5. Вміст рухомого фосфору, мг/кг	>90	90-66	<65
6. Вміст обмінного калію, мг/кг	210	170-209	<169
7. Вміст рухливих форм важких металів, мг/кг	<0,6	0,61-0,65	>0,66
8. Сума активних температур вище 10^{o}C	>1900	1400-1899	<1400
9. Температура повітря при появі сходів, ^{o}C	6-10	4-5	<4
10. Температура повітря при формуванні генеративних органів, ^{o}C	18-20	14-17	21-25
11. Запаси продуктивної вологи (мм) у шарі грунту 0-20 см при появі сходів	>30	10-30	<10
12. Запаси продуктивної вологи (мм) у шарі 0–100 см при цвітінні або формуванні генеративних органів	>130	68-129	<67

Таблиця 3

Оцінка агроекологічних умов вирощування сочевиці на полі з сірими опідзоленими ґрунтами та чорноземом опідзоленим

Параметри	Кількісне значення параметра	Оцінка
1. Потужність гумусового шару, см	38-56	допустимі
2. Гранулометричний склад	2-4	оптимальні
3. Щільність грунту, г/см^3	1,1-1,4	оптимальні, допустимі
4. Вміст гумусу, %	1,5-3,6	допустимі, недопустимі
5. Вміст рухомого фосфору, мг/кг	68-90	допустимі, оптимальні
6. Вміст обмінного калію, мг/кг	180-196	допустимі
7. Вміст рухливих форм важких металів, мг/кг	0,61	допустимі
8. Сума активних температур вище 10 ^{o}C	1520	допустимі
9. Температура повітря при появі сходів, ^{o}C	5	допустимі
10. Температура повітря при формуванні генеративних органів, ^{o}C	17-20	оптимальні, допустимі
11. Запаси продуктивної вологи (мм) у шарі грунту 0–20 см при появі сходів	27	допустимі
12. Запаси продуктивної вологи (мм) у шарі 0-100 см при цвітінні або формуванні генеративних органів	105-115	допустимі

мими умовами, а саме за агрофізичними, фізико-хімічними та метеорологічними показниками. Це сприяє отриманню доволі високих врожаїв сочевиці.

В цілому, агроекологічні показники ґрунтів притаманних Вінницькій області, відповідно до нормативів агроекологічних умов вирощування сочевиці, відповідають оптимальним та допустимим умовам.

Головні висновки. Проведено аналіз агрометеорологічних умов вирощування сочевиці за вегетаційний період. Визначено мінливості урожаю сочевиці за методом Г. Алексєєва. За методом Медведєва В.В. агроекологічні показники ґрунтів досліджуваної території в відповідності з нормативами агроекологічних умов вирощування сочевиці відповідають оптимальним та допустимим умовам.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективою подальших досліджень є більш детальне врахування просторової та часової мінливості кліматичних змін, параметрів агрометеорологічних та агроекологічних умов вирощування культури стосовно досліджуваної території. В подальшому буде доцільно розробити рекомендації стосовно адаптації вирощування сочевиці в різних грунтово-кліматичних зонах.

Література

1. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіди, А.Л. Прокопенко. Кам'янець-Подільський, 2011. 107 с.
2. Бабич А.О. Світове виробництво зернобобових культур для вирішення проблеми білка і біологічного азоту. *Оптимізація агроландшафтів: раціональне використання, рекультивація, охорона*: праці міжнар. наук.-практ. конф. Дніпропетровськ, 2003. С. 8–12.
3. Клиша А. І., Кушнір О. О. Сочевиця: цінна зернобобова культура. *Агроном*. 2010. № 4. С. 176–177.
4. Кулініч О. О. Дослідження вихідного селекційного матеріалу сочевиці в умовах степу. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 9. С. 51–53
5. Присяжнюк О.І., Слободянюк С.В. Біохімічні показники насіння сочевиці залежно від елементів технології вирощування. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин.* 2020. Т. 16, № 3. С. 270–276. DOI: https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.3.2020.214928
6. Сухова Г. І. Вплив строків сівби на ріст, розвиток та формування врожаю сочевиці в умовах східної частини Лісостепу України. *Селекція і насінництво.* 2014. Вип. 106. С. 176–182.
7. Guoju X., Qiang Z. Influence of increased temperature on yield and quality of bean of north China. *Plant Soil Environmental*. 2017. Vol. 63. P. 220–225. DOI: 10.17221/128/2017-PSE
8. Farzin S., Jafarzadeh A. Integrated assessment of rural lands for sustainable development using Micro LEIS DSS in West Azerbaijan. Iran, 2016. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.04.010
9. Frank S., Schmid E. The dynamic soil organic carbon mitigation potential of European cropland. *Global Environmental Change*. 2015. Vol. 35. P. 269–278.
10. Saleh S. Influence of Climatic Changes on Faba Bean Yield in North Nile Delta. *Egypt*. 2017. Vol. 8(1). P. 29–34. DOI: 10.21608/jssae.2017.37065
11. Schonhart, M., Schauppenlehner, T. Climate change impacts on farm production, landscape appearance, and the environment: Policy scenario results from an integrated field-farm-landscape model in Austria. *Agricultural Systems*. 2016. Vol. 145. P. 39–50. DOI: 10.1016/j. agsy.2016.02.008

УДК 574.3+504.054
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.29

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАТЕРАЛЬНОГО ТА РАДІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ МАНГАНУ У ҐРУНТАХ М. ЖОВТІ ВОДИ

Гунько С.О.
Дніпровський державний технічний університет
вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське
gooonko@gmail.com

У зв'язку з постійним підвищенням надходження важких металів у біосферу та ґрунт у результаті господарської діяльності людини актуальним є питання охорони навколишнього середовища, в тому числі й ґрунту. Відомо, що до ґрунту манган надходить через мінеральні та органічні добрива, автотранспорт, електростанції, що спалюють вугілля; спалювання відходів, металообробну промисловість, підприємства чорної та кольорової металургії. Надходження металів у навколишнє середовище від техногенних джерел здійснюється за допомогою їх розсіювання у всіх середовищах екосистем. У статті наведено результати досліджень вмісту і розповсюдження мангану у природних і антропогенних ґрунтах м. Жовті Води. Встановлено, що вміст мангану в чорноземі звичайному коливається в межах від 19,2 до 97,4 мг/кг ґрунту в природних і антропогенних ґрунтах м. Жовті Води. З'ясовано докладний розподіл вмісту рухомих форм мангану по відповідним ґрунтовим горизонтам. Так, вміст марганцю у верхньому шарі ґрунту 0–15 см, свідчить про значне перевищення в ґрунтах ПП 3, порівняно з ПП 2, майже в 3,7 рази. Отримані дані вмісту мангану в природних і антропогенних ґрунтах м. Жовті Води шару 15–30 см свідчать про аналогічний характер поводження металу, порівняно з шаром 0–15 см. Максимальну кількість марганцю відмічено у ґрунтах ПП 3, при чому спостерігається підвищення концентрації з глибиною шару ґрунту. Мінімальна концентрація мангану зафіксована у ґрунтах ПП 1, складає 21,3 мг/кг ґрунту, що майже в 4,6 раз менше у порівнянні з максимальним значенням. Аналіз даних результатів проведених досліджень показав: судячи з даних середнього вмісту рухомих форм мангану в ґрунтах м. Жовті Води, ґрунти ПП 2 – природні ґрунти з мінімальною концентрацією важкого металу – 23,15 мг/кг ґрунту, ґрунти ПП 3 – ґрунти, що максимально зазнають антропогенного впливу, містять концентрацію мангану 84,35 мг/кг, що в 3,6 раз перевищує мінімальне значення. *Ключові слова:* вміст мангану, екологічна характеристика, коефіцієнт концентрації, закономірності розподілу, техногенне забруднення.

The research of lateral and radial distribution of manganese content in the soils of Zhovti Vody. Hunko S.
In view of the constant entry of heavy metals into the biosphere and soils as a result of human economic activity the issue of environmental protection, including soil protection, is actually relevant. Its entry into soils occurs from mineral and organic fertilizers, automobile transport, coal-fired power station, waste incineration, metal-processing industry, ferrous and non-ferrous metal industries. The entry of metals into environment from technogenic sources accomplishes by means of a dispersion in the all environments of the ecosystem. The manganese content in ordinary chernozems (black soils) fluctuates from 19,2 to 97,4 mg/kg of soil. Consider more details about the dispersal of active manganese form content in certain soil horizons. The content of manganese in the top layer of soil 0-15 cm., indicates a significant excess of this chemical element in the soils in TS 3 by 3,7 times, comparing it with TS 2. The received data of the manganese content in natural and anthropogenic soils of Zhovti Vody, layer 15-30 cm., indicates a same behavior characteristic of this metal, comparing it with the top layer of soil 0-15 cm. The maximal amount of manganese indicated in the soils of TS 3, whereas an increasing of its content is being observed with a soil layer lowering. The minimal concentration of manganese was indicated in the soils of TS 1, which is 21,3 mg./kg. of soils. This value is less than maximal one by approximately 4,6 times. Analyzing the data of the results of the conducted researches, next conclusions were made: considering the average content of active manganese forms in the soils of Zhovti Vody, the soils of TS 2 are natural soils with the minimal concentration of heavy metal – 23,15 mg./kg. of soil, the soils of TS 3 are ones, which are maximally influenced with anthropogenic activity, and they content manganese in the amount of 84,35 mg./kg., exceeding the minimal value by 3,6 times. *Key words:* content of manganese, ecological description, lateral and radial distribution, concentration factor, regularity of dispersal, technogenic pollution.

Постановка проблеми. У зв'язку з постійним підвищенням надходження важких металів у біосферу та ґрунт у результаті господарської діяльності людини актуальним є питання охорони навколишнього середовища, в тому числі й ґрунту. Моніторинг важких металів у ґрунтах здійснюється як система з трьох взаємодіючих заходів: спостереження за станом важких металів (надходження, трансформація, виведення), оцінка цього стану та складання прогнозу. Розробка системи моніторингу викликає необхідність серед численних показників стану важких металів визначити найбільш чутливі, які дозволяють відмітити найбільш слабкі варіації вмісту елементів у ґрунті утворені антропогенними факторами.

Актуальність дослідження. Одним з найбільш чутливих показників стану важких металів у ґрунті є рухомі форми металів, які надходять до трофічних ланцюгів за допомогою рослин. Саме тому вивчення вмісту мангану в ґрунті та рослинах є актуальним.

Результати роботи надали подальшу оцінку ґрунтів за вмістом мангану та дозволили підійти до складання вичерпної характеристики ґрунтів Придніпров'я (на прикладі м. Жовті Води), встановити попередні масштаби забруднення, пізнати шляхи перетворення ґрунтового покриву області за

вмістом Mn, за якими можуть відбуватись їх втрати та виведення з експлуатації; продемонструвати шляхи подальшого дослідження ґрунтів з метою створення заключної характеристики трофічного ланцюга ґрунт–рослина; допомогти надати прогноз стану марганцю в ґрунтах Придніпров'я [1].

Виклад основного матеріалу. Об'єктом наших досліджень виступили природні та антропогенні ґрунти м. Жовті Води, предметом – вміст і розповсюдження (латеральне та радіальне) мангану у природних і антропогенних ґрунтах м. Жовті Води.

Мета дослідження – вивчення вмісту та закономірностей латерального та радіального розповсюдження мангану в природних і антропогенних ґрунтах м. Жовті Води.

При виконанні роботи був застосований біогеоценотичний підхід, виразом якого є теорія В. М. Сукачова про біогеоценози [2]. В ході проведення наукових досліджеь нами були застосовані загальнонаукові та спеціальні методи: польовий (відбір ґрунтових зразків), лабораторний (фізико-хімічний аналіз ґрунтів, визначення вмісту рухомих форм мангану), математичний (статистична обробка отаманих результатів – проводилась наступна математична обробка отриманих даних, при $P > 0,05$).

У роботі досліджувався вміст мангану в природних (умовно чистих степових біогеоценозах) і антропогенних (агроценозах) ґрунтах м. Жовті Води. На околицях м. Жовті Води було закладено три моніторингові райони – пробні площі (ПП), рис. 1. Проби ґрунту було відібрано на території адміністративних районів області.

Коротка характеристика кожної пробної площі досліджуваних районів м. Жовті Води представлена в табл. 1.

ПП 1 розташована в заміській зоні в 4 км південніше центральної частини міста. Являє собою два водоймища, розділених дамбою. Ґрунтовий розріз закладений на південному березі водоймища.

Тип біогеоценозу – різнотравно-кострицево-ковилевий степ. В травостої полин гіркий та австрійський, лобода татарська, костриця Беккера, василька розкидиста, молочай степовий, тисячолисник звичайний. Зволоження – атмосферне. Ґрунтові води розташовані на одному рівні з рівнем водоймища.

Ґрунт – чорнозем звичайний, карбонатний, малогумусний, середньосуглинистий на лесовидних суглинках.

ПП 2 розташована в 4 км на північ від м. Жовті Води, на березі водоймища, яке використовується для зрошення.

На берегах водоймища проводилась лісова рекультивація. Ґрунтовий розріз закладений на степовій цілині.

В травостої лапчатка прямостояча, полин австрійський тисячолисник звичайний, тонконог витончений, шавлія степова. Ґрунт – чорнозем звичайний, малогумусний, середньосуглинистий на лесовидних суглинках.

ППЗ – Гідрометалургійний завод (ГМЗ) розташований в 3 км від центра північно-західної частини міста. Ґрунтовий розріз був закладений на степовій цілині в районі прохідної ГМЗ.

Тип біогеоценозу – різнотравно-кострицево-ковилевий степ. В травостої пирій повзучий, тонконог



ПП 1 ПП 2 ППЗ

Рис. 1. Карта розташування моніторингових районів м. Жовті Води

Таблиця 1

Коротка фізико-географічна характеристика досліджуваних ґрунтів м. Жовті Води

Моніторинговий район	Координати пробних площ	Альтитуда, м
ПП 1	48°18′32″N 33°29′16″E	130
ПП 2	48°22′42″N 33°28′48″E	148
ПП 3	48°22′03″N 33°29′10″E	150

витончений, мятлик однорічний, подорожник ланцетолистий, костриця борозчата. Тип зволоження – атмосферне. Рівень залягання ґрунтових вод 10–15 м.

Ґрунт – чорнозем звичайний, малогумусний, середньосуглинистий на лесовидних суглинках.

Тверда фаза ґрунтоутворюючих порід і ґрунтів містить в своєму складі частки різної розмірності – механічні елементи. Вони мають органічний, мінеральний та органо-мінеральний генезис і представлені уламками гірських порід, окремими зернами мінералів, гумусових речовини, сполук органічних і мінеральних речовин. Від механічного складу ґрунтоутворюючих порід і ґрунтів у великій мірі залежить інтенсивність великої кількості ґрунтоутворюючих процесів, які пов'язані зі трансформацією, переходом і акумуляцією органічних і мінеральних сполук у ґрунті. Внаслідок однакових природних умов з породами різного механічного складу утворюються ґрунти з неоднаковими властивостями та гранулометричним складом, механічний склад ґрунтів м. Жовті Води представлено в табл. 2.

Еколого-генетичний статус досліджуваних ґрунтів міста Жовті Води за гранулометричним складом відноситься до середньосуглинистих – ПП 1 та супіщаних – ПП 2, ПП 3.

Правильність візуального (по забарвленню) виділення новоутворень можливо перевірити додатковими способами, наприклад: карбонатні новоутворення встановлюються не тільки своїм білуватим забарвленням, але і скипанням від впливу на них 10%-ного розчину соляної кислоти (HCl); гіпсові новоутворення мають також білувате забарвлення, але не реагують на соляну кислоту, однак мають солонувато-гіркуватий присмак. Ґрунтова маса всіх горизонтів (підгоризонтів), що не містить новоутворення, піддається обробці крапельним шляхом 10%-вим розчином соляної кислоти (HCl) для перевірки на вміст карбонатних солей (просочення ґрунтової маси карбонатними солями). Відзначається різний ступінь скипання від дії розчину кислоти (табл. 3). Чим сильніше скипання, тим більше концентрація карбонатних солей у зразку ґрунтової маси.

В районі Жовтих Вод ведеться видобуток уранових руд, за рахунок чого можливе забруднення ґрунтів важкими металами.

Ґрунт є досить специфічним компонентом біосфери, оскільки він не тільки накопичує різні забруднюючи компоненти, але й виступає як природний буфер [3], що контролює перерозподіл хімічних елементів і сполук в атмосферу, гідросферу та живу речовину. Важкі метали, що накопичуються в ґрунтах, достатньо повільно видаляються при вилуговуванні, використанні рослинами, ерозії та інше [5, 6]. Рослини можуть накопичувати важкі метали в тканинах або на поверхні органів, тому вони є проміжною ланкою через яку важкі метали потрапляють з ґрунту, частково з води та повітря до організму людини та тварин [4].

Ґрунт має величезне значення в утилізації, знешкодженні рідких і твердих відходів. У цьому процесі приймає участь величезна кількість мікроорганізмів, простіших багатокліткових та інших мешканців ґрунту. В результаті їхньої життєдіяльності в ґрунті відбувається розпад органічних речовин на нешкідливі для людини і корисні для рослин мінеральні солі, вуглекислоту і воду. Такий процес самоочищення порушується або під впливом при-

Таблиця 2

Механічний склад ґрунтів м. Жовті Води

Пробна площа	Найменування ґрунту	Горизонт, см	Скипання	Назва ґрунту за механічним складом
ПП 1	Чорнозем звичайний	0–5	+	Середній пилуватий суглинок
		15–30	+	
ПП 2	Чорнозем звичайний	0–15	+	Легкий супіщаний суглинок
		15–30	+	
ПП 2	Чорнозем звичайний	0–15	+	Легкий супіщаний суглинок
		15–30	+	

Таблиця 3

Ступінь і характер скипання зразка ґрунтової маси від дії на нього 10%-го розчину соляної кислоти (HCl) (за Е.А. Корнблюму та ін., 1982)

Ступінь скипання	Характер скипання
не скипає	бульбашки CO_2 на виділяються
слабке скипання	виділяються розрізнені бульбашки CO_2
середнє скипання	бульбашки CO_2 утворюють суцільний, загалом одноярусний, шар на поверхні зразка ґрунтової маси
сильне скипання	бульбашки CO_2 утворюють суцільний багатоярусний шар на поверхні зразка ґрунтової маси

родно-кліматичних умов, або в результаті антропогенного забруднення [8].

У роботі досліджувався вміст мангану в умовах природних (чистих степових біогеоценозів) і антропогенних (агроценозах) Дніпропетровської області (на прикладі м. Жовті Води).

Досліджувався чорнозем звичайний. Для вилучення рухомих форм Mn нами було застосовано ацетатно-амонійну витяжку ґрунту (pH = 4,8). Це зумовлено тим, що відповідне значення pH підтримується в зоні кореневої системи в більшості рослин, тому саме при цьому значенні метали потрапляють у ланцюг живлення. Ґрунтовий матеріал було підготовлено у відповідності до методики визначення мікроелементів у ґрунтах [7]. Результати аналізу представлено в табл. 4.

Вміст мангану в чорноземі звичайному коливається в межах від 19,2 до 97,4 мг/кг ґрунту.

Аналізуючи дані результатів проведених досліджень, можна зробити висновки: судячи з даних середнього вмісту рухомих форм мангану в ґрунтах м. Жовті Води, ґрунти ПП 2 – природні ґрунти з мінімальною концентрацією важкого металу – 23,15 мг/кг ґрунту, ґрунти ПП 3 – ґрунти, що максимально зазнають антропогенного впливу, містять концентрацію мангану 84,35 мг/кг, що в 3,6 раз перевищує мінімальне значення.

Ґрунти, завдяки своїй високій поглинальній здатності, є депонуючим середовищем. В урбанізованих територіях вони виконують важливу роль біогеохімічних бар'єрів на шляху техногенних потоків. В ґрунтово-хімічному моніторингу важливою складовою є виявлення геохімічних аномалій – ділянок, в межах яких фіксуються відмінні від фонових параметри розподілу важких металів [3, 4].

Оцінити поведінку елемента у ґрунтовому горизонті дає змогу коефіцієнт співвідношення ґрунт – порода: якщо цей коефіцієнт дорівнює менше нуля, то можна судити про винесення, або вимивання елементу, якщо дорівнює 1 , то будь-який перерозподіл відсутній, і якщо він становить більше 1, то говорять про акумуляцію слідового елементу в верхньому шарі ґрунту. Ступінь акумуляції мангану в ґрунтах м. Жовті Води представлений на рис. 2.

Встановлено, що не у всіх досліджених у роботі пробних ділянках м. Жовті Води відбувається накопичення мангану в ґрунтах, коефіцієнт співвідношення ґрунт-порода тут коливається в межах від 1,4 до 0,7 ум. од, тобто відмічається як акумуляція металу, так і його винесення.

Доведене інтенсивне накопичення мангану у верхньому ґрунтовому горизонті умовно чистих степових біогеоценозів ПП 1 ($К_{СГП}$=1,4), у досліджуваних ґрунтах відбувається значне накопичення металу у верхньому гумусовому горизонті 0–15 см. Найбільш інтенсивне винесення мангану з верхніх ґрунтових горизонтів спостерігається у ґрунтах степу ПП 2 та ПП 3 ($К_{СГП}$=0,7) та ($К_{СГП}$=0,7) відповідно.

Головні висновки. Встановлено,що у ґрунтах ПП 1 прослідковується тенденція накопичення мангану, розподіл мангану по ґрунтовому профілю ПП 2, ПП 3 характеризується процесом винесення як в антропогенних, так і в природних ґрунтах. Винесення мангану з верхнього гумусового гори-

Таблиця 4

Міграція мангану (рухома форма) у природних і антропогенних ґрунтах м. Жовті Води

Моніторинговий район	Найменування ґрунту	Тип ландшафту	Ґрунтовий горизонт, см	Концентрація мангану, мг/кг ґрунту
ПП 1	чорнозем звичайний	степ	0–15	29,7
			15–30	21,3
ПП 2	чорнозем звичайний	степ	0–15	19,2
			15–30	27,1
ПП 3	чорнозем звичайний	степ	0–15	71,3
			15–30	97,4

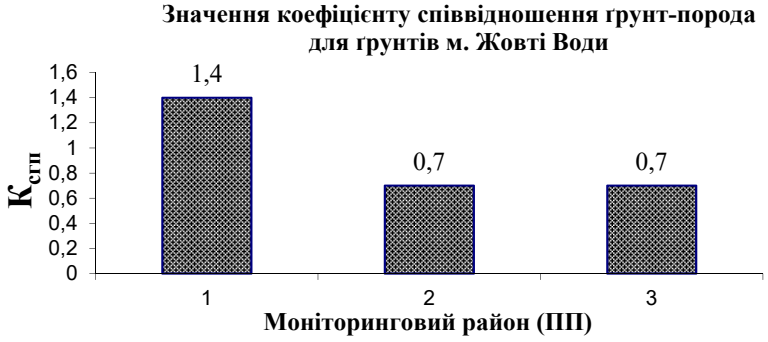


Рис. 2. Ступінь акумуляції мангану у ґрунтах м. Жовті Води

зонту, можливо, пояснюється його вимиванням в результаті поливу, або поглинанням рослинами у дуже малих кількостях. Акумуляція Mn у верхніх ґрунтових горизонтах, за нашими дослідженнями, відбувається під впливом природних і антропогенних факторів. Дані коефіцієнту свідчать про акумуляцію мангану у верхньому шарі ґрунту, що з великою долею ймовірності підтверджує його антропо-техногенне надходження.

Результати роботи надали попередню оцінку ґрунтів за вмістом марганцю та дозволили підійти до складання вичерпної характеристики ґрунтів м. Жовті Води за вмістом марганцю, встановити попередні масштаби забруднення ґрунтів, при яких може відбуватися їх втрата або вибування з експлуатації на довгі строки. Показано шляхи подальшого дослідження ґрунтів з метою створення кінцевої характеристики трофічного ланцюга ґрунт – рослина.

Література

1. Гунько С.О., Володько Д.А. Міграція мангану в ґрунтах біогеоценозів степового Придніпров'я (на прикладі Дніпропетровської області). *Екологічні науки*. 2021. 6 (39). С. 133–136.
2. Сукачов В.Н. Основные понятия лесной биогеоценологии М.: Наука. 1964. С. 5–68.
3. Gunko S.O., Tsvetkova N.M., Neposhivaylenko N.O. The interpolation of cadmium in soils urbanized territory of steppe Dnieper region using geoinformation modeling methods. *Biosystems Diversity*. 2018. 26(2). 145–153. doi: 10.15421/011823
4. Гунько С.О. Закономірності розподілу кадмію в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16 «Екологія» / Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, 2021. URL: http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/dissertation_606016a359ebb.pdf
5. 33. Obrador A., Alvarez J.M., Lopez-Valdivia L.M., Gonzalez D., Novillo J., Rico M.I. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acidic soils and their uptake by a barley crop. *Geoderma*. 2007. Vol. 137. P. 432–443.
6. 34. Peiyue L., Qian H., Howard K.W.F., Wu J., Lyu X. Anthropogenic pollution and variability of manganese in alluvial sediments of the Yellow River, Ningxia, northwest China. *Environ. Monit. Assess.* 2014. Vol. 186(3). P. 1385–1398.
7. Костишин С.С., Руденко С.С., Морозова Т.В.Основи загальної екології: практичний курс. Чернівці: Книги, 2008. 238 с.
8. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. М.: ЮНИТИ, 1998. 445 с

УДК 911.5:332.3(477.61:477.62)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.30

ДО КЛАСИФІКАЦІЇ АНТРОПОГЕННО ЗМІНЕНИХ ЗЕМЕЛЬ НА СХОДІ УКРАЇНИ

Сопов Д.С., Гаврюшенко Г.В., Кирпичова І.В.
Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»
вул. Коваля, 3, 36003, м. Полтава
lnu.sopov@gmail.com, super_superanna@ukr.net, kirinopsis@gmail.com

Наукова стаття стосується актуальної та проблемної теми, а саме антропогенного впливу на земельні ресурси нашої держави, адже майже не залишилось куточка країни, якого не торкнулась рука людини. Також, на сьогоднішній день, постає потреба розмежування, тобто класифікації різних антропогенних ландшафтів, причин та умов їх формування, функціонування тощо. Автор у роботі досліджує різноманіття антропогенно модифікованих (перетворених) земель на сході України та їх систематизацію, а також пропонує власну класифікацію антропогенно змінених земель Донбасу. У ході досліджень з'ясовано, що антропогенні зміни земель східної частини України (Донбасу), відбувалися зазвичай через дію таких основних чинників як землеробська діяльність, випас худоби, закладення садів і виноградників, гірничопромислове (переважно вугледобувне) виробництво, функціонування підприємств переробної промисловості, діяльність транспорту, воєнні дії тощо. Всі згадані чинники можна умовно віднести до сфери сільськогосподарського та промислового землекористування, а також решти специфічних видів діяльності людини. У роботі наведено систематизацію антропогенно модифікованих земель східної частини України в основу якої увійшли такі напрями землекористування як: 1) *сільськогосподарський*; 2) *лісогосподарський*; 3) *промисловий*; 4) *транспортний*; 5) *водогосподарський*; 6) *беліґеративний*. На підставі систематизації антропогенно модифікованих земель східної частини України розроблена і власне їх класифікація. Класифікуючи антропогенно перетворені землі Донбасу, в межах кожної їх групи за якісним станом, було виділено напрями землекористування та в результаті одержано наступні типи й класи антропогенно змінених земель: 1) *землі у сприятливому стані*; 2) *землі в умовно сприятливому стані*; 3) *землі у критичному стані*; 4) *землі в катастрофічному стані*. Отже, значне поширення різних класів антропогенних ландшафтів на сході України і обумовлює актуальність нашого дослідження. *Ключові слова:* ландшафт, антропогенно перетворені землі, землекористування, екологічні наслідки, східна частина України (Донбас).

To the classification of anthropogenically changed lands in the east of Ukraine. Sopov D., Havriushenko H., Kyrpychova I.
The scientific article deals with a topical and problematic topic, namely the anthropogenic impact on the land resources of our country, because there is almost no corner of the country that has not been touched by the hand of man. Also, today, there is a need for demarcation, i.e. classification of various anthropogenic landscapes, causes and conditions of their formation, functioning, etc. In the work, the author examines the diversity of anthropogenically modified (transformed) lands in the east of Ukraine and their systematization, and also offers his own classification of anthropogenically modified lands of Donbas. In the course of research, it was found that anthropogenic changes in the lands of the eastern part of Ukraine (Donbass) usually occurred due to the action of such main factors as agricultural activity, livestock grazing, planting gardens and vineyards, mining (mainly coal mining) production, functioning of processing industry enterprises, activity transport, military actions, etc. All the mentioned factors can be tentatively attributed to the sphere of agricultural and industrial land use, as well as other specific types of human activity. The work presents a systematization of anthropogenically modified lands of the eastern part of Ukraine, which is based on such areas of land use as: 1) *agricultural*; 2) *forestry*; 3) *industrial*; 4) *transport*; 5) *water management*; 6) *beligerative*. Based on the systematization of anthropogenically modified lands of the eastern part of Ukraine, their classification was developed. By classifying the anthropogenically transformed lands of Donbas, within each of their groups according to their quality, directions of land use were highlighted and as a result the following types and classes of anthropogenically altered lands were obtained: 1) *lands in favorable condition*; 2) *land in conditionally favorable condition*; 3) *land in critical condition*; 4) *land in a catastrophic state*. Therefore, the significant distribution of various classes of anthropogenic landscapes in the east of Ukraine determines the relevance of our research. *Key words:* landscape, anthropogenically transformed lands, land use, ecological consequences, eastern part of Ukraine (Donbas).

Актуальність дослідження. В геосистемах, під впливом господарської діяльності людини, постійно відбувається дуже багато змін. Нераціональне використання природних ресурсів стає причиною порушення взаємозв'язків в природних системах, їх деградації, посилення розвитку різноманітних негативних географічних процесів (ерозійних, еолових, зсувових, селевих, заболочування, засолення тощо), зменшення продуктивності природних ресурсів, втрати геосистемами здатності до самовідновлення та саморегуляції. Тому при спробах вирішення екологічних проблем, зокрема і вирішенні питань пов'язаних з оптимізацією природокористування, перш за все необхідно враховувати рівень перетвореності земельних ресурсів, що в свою чергу порушує питання розробки класифікації антропогенних земель для певної території. Як відомо, класифікацій антропогенних ландшафтів існує велика кількість, але єдиної думки з цього питання поки що немає. Отже, значне поширення різних класів антропогенних ландшафтів і обумовлює актуальність нашого дослідження.

Мета і завдання дослідження. *Мета:* на основі просторово-часового аналізу дослідити різноманіття

антропогенно модифікованих (перетворених) земель на сході України та їх систематизацію. *Завдання:* на основі наявних науково-теоретичних напрацювань розробити власну, на нашу думку найбільш оптимальну для даного регіону, класифікацію антропогенно змінених земель східної частини України – Донбасу.

Аналіз досліджень і публікацій. Науковим дослідженням в області антропогенного ландшафтознавства, зокрема саме і класифікації антропогенних ландшафтів, присвячена значна кількість наукових праць. На отримані результати нашого дослідження вплинули ландшафтознавчі і географічні ідеї як вітчизняних так і зарубіжних науковців, які досліджували проблематику з: *формування земних оболонок натурального і техногенного походження* – Р. К. Баландін [1], В. І. Вернадський [2], Ф. М. Мільков [3]; *структури природних ландшафтів* – Г. І. Денисик [4], О. В. Колтун та І. П. Ковальчук [5], М. А. Солнцев [6]; *взаємодії природи і техніки* – Є. А. Іванов [7], О. Ю. Ретеюм [8], Ю. В. Яцентюк [9]; *динаміки ландшафтів* – В. М. Гуцуляк [10], В. Б. Сочава [11], Г. І. Швебс [12]; *конструктивно-географічного планування* – Л. І. Мухіна [13], В. С. Преображенський [14], О. Г. Топчієв [15]; *раціонального природокористування* – М. Д. Гродзинський [16], В. М. Петлін [17], П. Г. Шищенко [18].

Методологічна основа дослідження ґрунтується на системній, модельній та екологічній парадигмах, які сприяють детальному розкриттю проблеми класифікації антропогенно змінених земель для східної частини України – Донбасу. Як головні, використані концепції сталого розвитку та глобальної екології. За основу дослідження взято системний та конструктивно-географічний підходи. Серед **методів дослідження**, були використані наступні: а) *основні наукові принципи:* системності, структурно-функціональний, комплексності, організаційний, конструктивності, природно-антропогенного сумісництва, випереджаючого вивчення попередніх ландшафтів тощо; б) *рівні пізнання:* географічний та ландшафтознавчий; в) *практичні і теоретичні методи:* загальнонаукові (аналіз, синтез, порівняння, узагальнення тощо); *традиційні географічні* (описовий, літературно-картографічний).

Виклад основного матеріалу. Усе різноманіття антропогенно модифікованих земель на сході України можна об'єднати в кілька категорій. Передовсім, це, з одного боку, землі, порушені сільськогосподарським виробництвом, та, з іншого боку, землі, що зазнали значних техногенних змін через промислову, особливо гірничодобувну, діяльність, а також воєнні дії, які в останній час бурхливо відбуваються на сході нашої держави починаючи з 2014 року і набули активної фази з 24.02.2022 року.

Загалом, антропогенні зміни земель східної частини України (Донбасу), відбувалися через дію таких основних чинників (рис. 1).

Як видно з рисунку, перші три чинники належать до сфери сільськогосподарського землекористування, два наступних – до промислового, решта стосується специфічних видів діяльності людини.

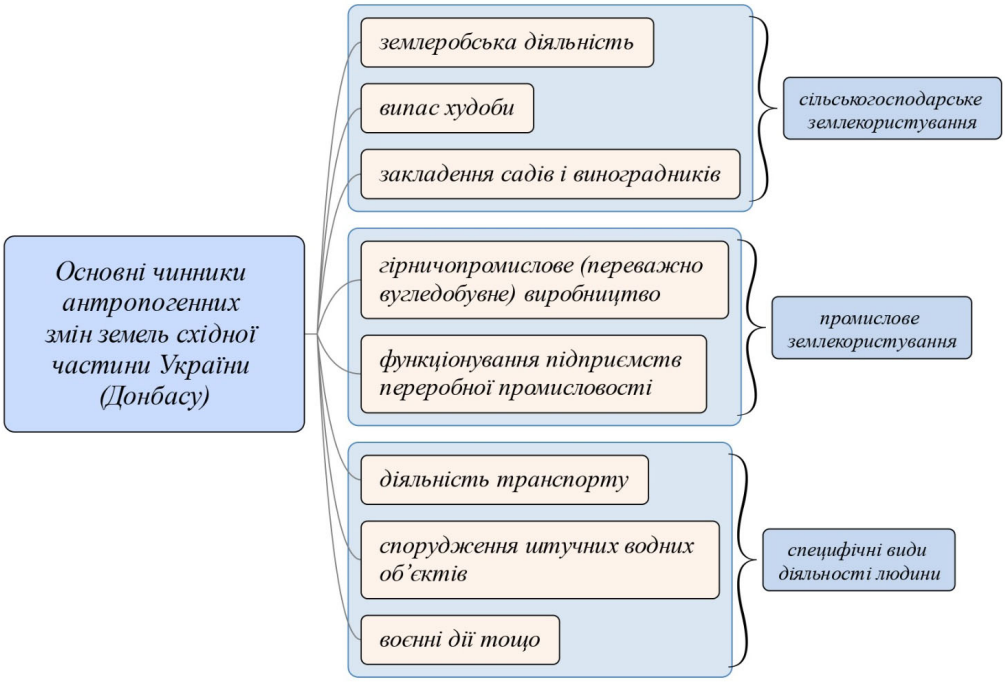


Рис. 1. Основні чинники антропогенних змін земель східної частини України (Донбасу)

Джерело: власна розробка авторів.

З усіх перелічених вище чинників антропогенних змін земель лише один, пов'язаний зі створенням багаторічних насаджень, зумовлює виключно позитивний вплив на ландшафт. Частково сприятливий для підтримування якості ґрунтів і динамічної рівноваги ландшафту характер має використання земель під пасовища та спорудження штучних водоймищ. Інші напрями землекористування мають наслідками деградацію або повне знищення ґрунтового покриву, заміну натуральної рослинності антропогенними насадженнями, техногенні зміни рельєфу, забруднення практично всіх компонентів ландшафту токсичними речовинами тощо. Екологічним наслідкам деградації ландшафтів присвячені окремі публікації, зокрема [19; 21; 22]. Тому очевидно, що в переважній більшості випадків антропогенне втручання у природні об'єкти, явища та процеси має негативний для функціонування й розвитку ландшафтів характер.

Отже, класифікувати антропогенно змінені землі східної частини України можна, керуючись двома основними ознаками – чинниками перетворення та його екологічними наслідками. Пропонуючи свою класифікацію, ми керуємося розробленою 38 років тому систематикою ландшафтів за К. І. Геренчуком [20], який виділяв:

– *практично незмінені ландшафти* (в заповідниках і на слабкоосвоєних територіях);

– *слабо змінені ландшафти* (пасовища, сіножаті, мисливські угіддя);

– *сильно змінені ландшафти* (рілля, населені пункти);

– *зруйновані ландшафти* (райони видобутку корисних копалин);

– *культурні ландшафти* (сади, виноградники тощо).

Поєднуючи згадані вище ознаки, нижче у вигляді схеми ми наводимо систематизацію антропогенно модифікованих земель східної частини України (рис. 2), на підставі якої, на нашу думку, має бути розроблена і власне їх класифікація.

Якісний стан земель, як наслідок провадження певного напряму їх використання, ми визначаємо за співвідношенням категорії ландшафту (за

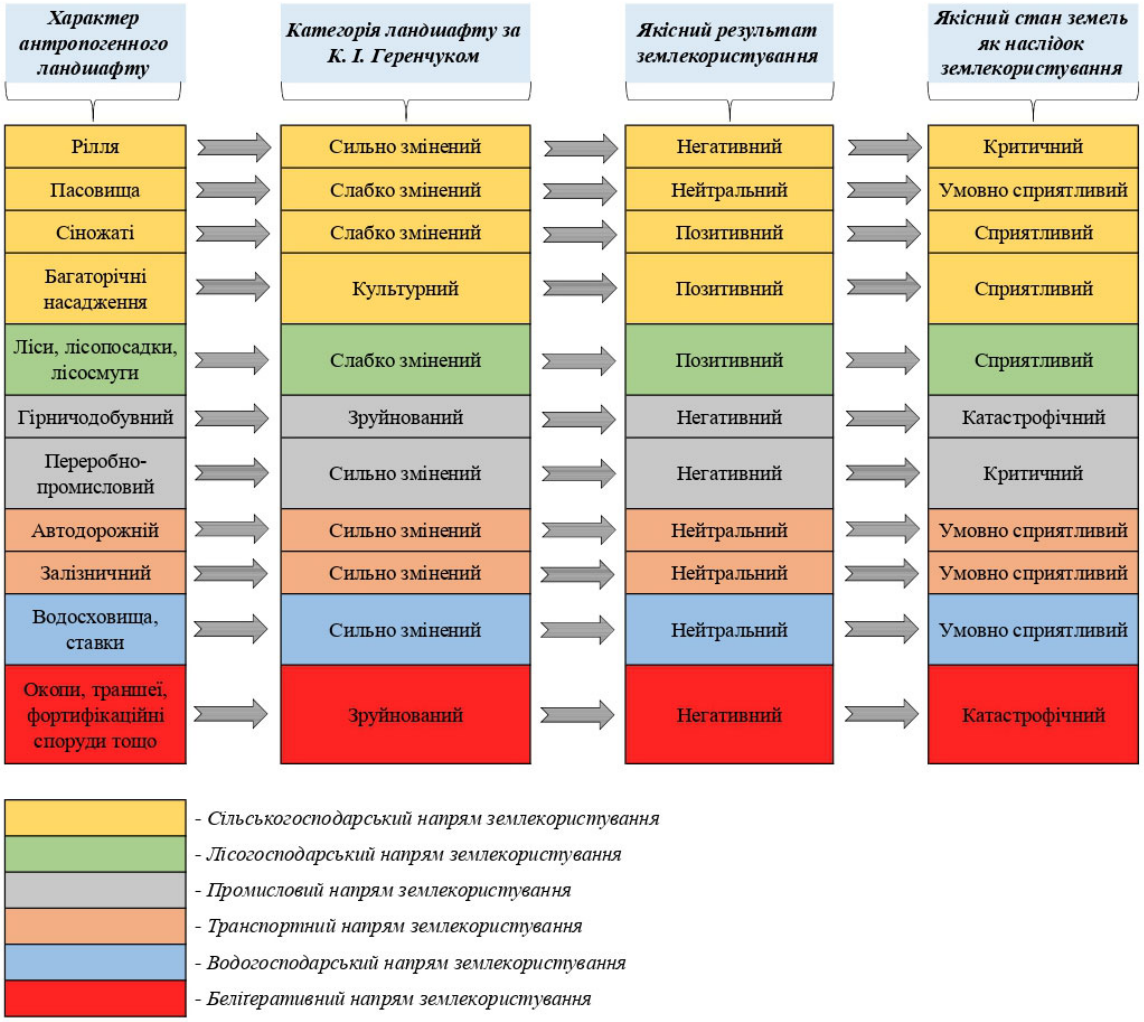


Рис. 2. Систематизація антропогенно перетворених земель на сході України

Джерело: власна розробка авторів.

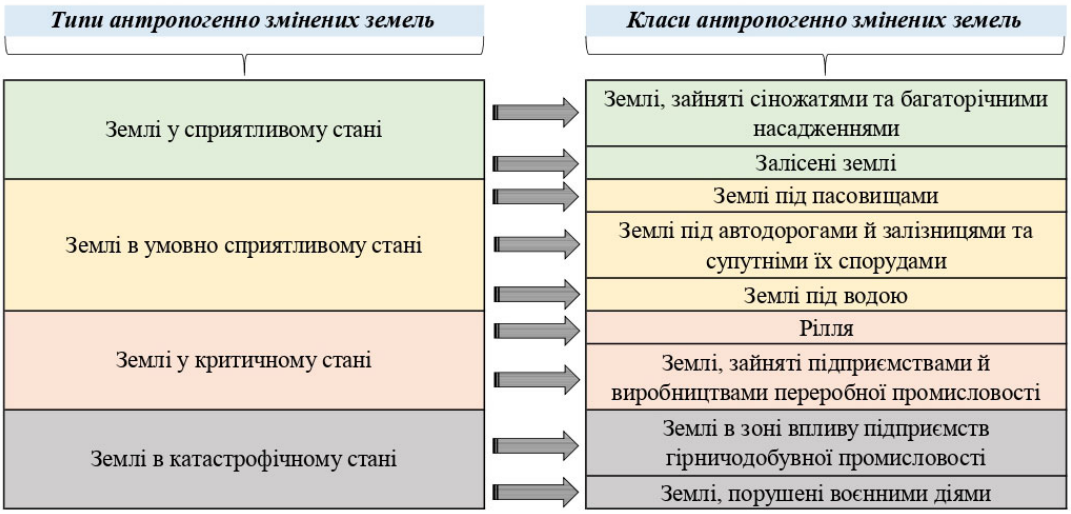


Рис. 3. Класифікація антропогенно змінених земель Донбасу

Джерело: власна розробка авторів.

К. І. Геренчуком [20]) та окресленого нами якісного результату землекористування (нейтральний результат ми фіксуємо в разі потенційного прояву як позитивних, так і негативних наслідків). Якщо спостерігається збіг визначення ландшафту як «слабко зміненого» або «культурного» (за К. І. Геренчуком [20]) та позитивного якісного результату землекористування, якісний стан земель ми вважаємо сприятливим; поєднання слабко- або сильно зміненого ландшафту з нейтральними наслідками землекористування визначає умовно сприятливий стан земель; якщо в сильно зміненому ландшафті проявляються негативні наслідки землекористування, ми констатуємо критичний стан; негативні наслідки землекористування у зруйнованому ландшафті свідчать про катастрофічний якісний стан земель.

Класифікуючи антропогенно перетворені землі східної частини України, ми в межах кожної їх групи за якісним станом виділяємо напрями землекористування та в результаті одержуємо типи й класи змінених людським чинником земель (рис. 3).

Водночас ми наголошуємо, що окремі напрями землекористування ми оцінюємо за їхнім екологічним значенням саме для східної частини України. Наприклад, усі штучні водоймища в її межах досить невеликі за площею та, станом на сьогодні, в умовах значною мірою зупиненого промислового виробництва, мають переважно рекреаційне призначення.

На сході України немає значних антропогенних водних об'єктів на кшталт дніпровських водосховищ, саме існування яких (через затоплення великих площ суходолу, до того ж заселеного) становить екологічну проблему.

Висновки. Аналіз різноманіття антропогенно змінених земель на сході України (Донбасу) свідчить про належність їх, відповідно до напряму землекористування та характеру антропогенного ландшафту, до чотирьох основних груп за якісним станом – *сприятливий, умовно сприятливий, критичний, катастрофічний*. Прикладом земель у *сприятливому* стані можуть бути сіножаті й багаторічні насадження, *в умовно сприятливому* – пасовища й землі під водою, *у критичному* – міські землі, *в катастрофічному* – землі в районах видобутку корисних копалин та проведення військових дій.

Література

1. Баландин Р. К. Ноосфера или техносфера. *Вопросы философии*. 2005. № 6. С. 107–116.
2. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. Москва: Наука, 1989. 261 с.
3. Мильков Ф. Н. Человек и ландшафты. Очерки антропогенного ландшафтоведения. Москва: Мысль, 1973. 224 с.
4. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство: навч. посіб.: в 2 ч. Вінниця: ТД «Едельвейс і К», 2012. Ч. 1: Глобальне антропогенне ландшафтознавство. 336 с.
5. Колтун О. В., Ковальчук І. П. Антропогенна геоморфологія: навчальний посібник. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. 193 с.
6. Солнцев Н. А. Учение о ландшафте. Избранные труды. Москва: МГУ, 2001. 384 с.
7. Іванов Є. А., Ковальчук І. П. Антропогенізація ландшафтів: підходи, діагностування, моделювання. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: Географія*. 2012. Вип. 612–613. С. 54–59.
8. Ретеюм А. Ю., Дьяконов К. Н., Куницын Л. Ф. Взаимодействие техники с природой и геотехнические системы. *Известия АН СССР. Серия географическая*. 1972. № 4. С. 46–55.
9. Яцентюк Ю. В. Регіональні парадинамічні антропогенні ландшафтні системи: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Київ, 2019. 40 с.

10. Гуцуляк В. М. Еколого-геохімічний аналіз природно-антропогенних ландшафтів (на прикладі Чернівецької області та півночі Молдови): автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Київ, 1994. 36 с.
11. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 318 с.
12. Швебс Г. И. Концепция комплексного мониторинга окружающей среды. *Известия русского географического общества.* 1993. Т. 125, Вып. 6. С. 14– 21.
13. Мухина Л. И., Толстихин О. Н. Природа и научно-техническая революция. Москва: Недра, 1985. 111 с.
14. Преображенский В. С. Очерки природы Донецкого кряжа. Москва : Издательство АН СССР, 1959. 199 с.
15. Топчієв О. Г., Тітенко З. В., Шашеро А. М. Проблеми раціонального природокористування та екологічної організації території приморських регіонів України. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки*. 2013. Т. 18, Вип. 2. С. 101–110.
16. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: монографія: у 2 т. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2005. Т. 1. 431 с.
17. Петлін В. М. Конструктивне ландшафтознавство: монографія. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. 357 с.
18. Шищенко П. Г. Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании. Київ : Фитосоциоцентр, 1999. 284 с.
19. Леонець В. О. Екологічні наслідки сучасної деградації природних і антропогених ландшафтів та основні напрями з охорони земель. *Землевпорядний вісник.* 1998. № 3. С. 26–30.
20. Геренчук К. И., Черванев И. Г., Боков В. А. Общее землеведение. Москва : Высшая школа, 1984. 255 с.
21. Сопов Д.С. Порушені землі Луганщини та їх класифікація. *Вісник Дніпровського університету. Геологія, географія.* 2018. № 26(1). С. 176–183. DOI: https://doi.org/10.15421/111819
22. Sopov Dmitry, Sopova Nadiia, Dankeyeva Olha, Chuhaiev Serhii. Natural-historical and ecological analysis of land resources and land use in Lugansk region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology.* 2018. № 27(2). С. 357–367. DOI: https://doi.org/10.15421/111860

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 911.1+504.054.36
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.31

ПОКАЗНИК СТІЙКОСТІ ЯК ЗДАТНІСТЬ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ГЕОСИСТЕМИ ДОЛАТИ НАСЛІДКИ ШКІДЛИВИХ ВПЛИВІВ І ЗМЕНШУВАТИ РИЗИК РУЙНУВАННЯ КОМПАРТМЕНТУ

Бойко Т.Г.[1], **Руда М.В.**[1], **Паславський М.М.**[2], **Джумеля Е.А.**[1]
[1]Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79000, м. Львів
[2]Національний лісотехнічний університет України
вул. Генерала Чупринки, 103, 79057, м. Львів
tgbo@lp.edu.ua, mariia.v.ruda@lpnu.ua, elvira.a.dzhumelia@lpnu.ua,
mykhailo.paslavskyi@nltu.edu.ua

Дослідження спрямоване на узагальнення компартментальної концепції забезпечення якості функціонування просторово-часової геосистеми, уніфікацію екологічних і захисних вимог до її компартментів та конкретизацію критеріїв оцінки довкілля. Представлено методологічні аспекти оцінки шкідливого антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, спрямовані на нормування і визначення показника стійкості екосистеми. Обґрунтовано доцільність застосування такого показника. Показано, що з допомогою оцінки показника стійкості є змога визначати екологічні зміни, які можуть виникати в результаті антропогенної діяльності, а також визначати значимість цих змін. Для адекватного моделювання стійкості запропоновано ранжувати форми стійкості як відгук компартмента на різну інтенсивність дії впливних факторів в просторово-часовій геосистемі. З огляду на відгук компартмент системи може варіювати між станами відновлення, порушення та катастрофи. Систематизовано різноманітність компартментів, що входять до складу просторово-часової геосистеми, та їх відгук на розмаїття наслідків антропогенного впливу. Показано, що стійкість не може приймати абсолютне значення. Тому, окремий компартмент в системі лише може бути стійкіший, ніж інший, щодо дії окремого фактора чи синергійної дії кількох факторів в певних умовах. З метою оцінки стійкості та масштабів трансформації компартменту у просторово-часовому вимірі запропоновано використати типові ознаки, доповнені ступенем гемеробності та співвідношенням між типами стратегій поведінки видів. Введено поняття ризику руйнування компартменту, наростання значення якого свідчить про можливість наступлення катастрофи. Представлено напівкількісну експертну методику та шкалу оцінювання стійкості до шкідливого антропогенного впливу в компартменті, а також оцінку залишкового впливу, як ризику втрати компартменту. Належність до кожного з п'яти класів стійкості компартментів з врахуванням їх масштабів, тривалості та інтенсивності впливу запропоновано визначати на основі комплексної оцінки, що враховує експертно визначену вагу кожного окремого показника. *Ключові слова:* екологічне регулювання, компартмент просторово-часової геосистеми, екологічна небезпека, шкідливий вплив, стійкість екосистеми, градієнт зміни стійкості.

Stability index as the ability of the space-time geosystem to overcome the consequences of harmful influences and reduce the risk of compartment destruction. Boyko T., Ruda M., Paslavskyi M., Dzhumelia E.

The research is aimed at the generalization of the compartmental concept of ensuring the quality of functioning of the space-time geosystem, the unification of environmental and protective requirements for its compartments, and the specification of environmental assessment criteria. Methodological aspects of assessing the harmful anthropogenic impact on the surrounding natural environment are presented, aimed at normalizing and determining the indicator of ecosystem stability. The expediency of using such an indicator is substantiated. It is shown that with the help of the assessment of the sustainability indicator, it is possible to determine ecological changes that may occur as a result of anthropogenic activity, as well as to determine the significance of these changes. For adequate modeling of stability, it is proposed to rank the forms of stability as a response of the compartment to different intensity of influence of influential factors in the space-time geosystem. Based on feedback, the system compartment can vary between recovery, disruption, and disaster states. The variety of compartments that make up the space-time geosystem and their response to the variety of consequences of anthropogenic influence is systematized. It is shown that stability cannot take on an absolute value. Therefore, a separate compartment in the system can only be more stable than another in relation to the action of a single factor or the synergistic action of several factors under certain conditions. In order to assess the stability and scale of the transformation of the compartment in the space-time dimension, it is proposed to use typical features supplemented by the degree of hemerism and the ratio between the types of strategies of species behavior. The concept of the risk of compartment destruction is introduced, the increasing value of which indicates the possibility of a disaster. A semi-quantitative expert methodology and a scale for evaluating resistance to harmful anthropogenic influence in the compartment, as well as an assessment of the residual impact as a risk of losing the compartment, are

presented. Belonging to each of the five classes of stability of compartments, taking into account their scale, duration and intensity of influence, is proposed to be determined on the basis of a comprehensive assessment that takes into account the expertly determined weight of each individual indicator. *Key words:* ecological regulation, compartment of the spatio-temporal geosystem, ecological hazard, harmful effect, ecosystem stability, gradient of change of stability.

Постановка проблеми. В будь якій просторово-часовій геосистемі (ПЧГ), насиченій урбаністичними та іншими комплексами, особливе значення має стійкість цієї геосистеми, як здатність долати антропогенні забруднення. Базовим механізмом регулювання стану геосистеми є екологічна стандартизація, що має на меті встановити такі обов'язкові норми, правила та вимоги щодо стану, використання і гарантування екологічної безпеки ПЧГ, які б не перевищували можливості її саморегуляції і відновлення. Зокрема є потреба в розробленні і впровадженні науково обґрунтованих критеріїв гранично допустимого шкідливого впливу на геосистему, а також встановлення норм і правил природокористування на основі встановлених критеріїв. Результатом такої діяльності є встановлення кількісних значень складових показника стійкості, які давали б змогу підтримувати антропогенний вплив на ПЧГ в допустимих межах, за яких механізми саморегуляції в поєднанні з природоохоронними заходами забезпечували процес її відновлення і не призводили до деградації.

Актуальність дослідження. Встановлення меж змін факторів екологічно стійкого середовища запропоновано на початку 1980-х років канадськими дослідниками, зокрема в угоді з контролю транскордонних забруднень з США. Надалі ця концепція була розвинена в Скандинавії, де запропоновано термін «критичного навантаження» [9]. Були зроблені спроби розширення концепції критичних навантажень не тільки для кислотних випадань, але і для важких металів [10].

Автор праці [11] вважає необхідним розглядати екологічне нормування в рамках загальної проблеми стійкості екосистем. При цьому допустимим впливом повинно бути таке, яке не призводить до втрати стійкості.

Поданий аналіз вказує на доцільність застосування показника стійкості щодо оцінки стану будь-якої екосистеми. Теоретичні основи стійкості обґрунтовані в класичних працях Пуанкаре, Ляпунова, Лагранже та інших, які ґрунтуються на оцінках засвоєння і трансформації енергії та інформації, тобто законах термодинаміки функціонування екосистем, синергетики, показниках ентропії у відкритих системах. Авторами доказано, що внаслідок зовнішніх негативних впливів природний розвиток екосистем характеризується послідовною зміною їх станів. Здатність долати наслідки таких зовнішніх негативних впливів будемо називати стійкістю просторово-часової геосистеми.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Перспективний підхід авторів до визначення допустимості змін в екосистемах полягає в твердженні – якщо порушення в екосистемах під дією антропогенних навантажень істотно слабкіші від можливих природних змін і не призводять до незворотних наслідків, то такі екологічні порушення слід визнати допустимими [5]. Звідси випливає наступний універсальний критерій – правомірність зниження продуктивності екосистеми на 20-25%. Також можна вважати перспективною гіпотезу про універсальність реакцій організмів на будь-які несприятливі зміни середовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематикою нормативного забезпечення в екології займалися С.А. Балюк, Ю.Р. Пузаченко, О.Ф. Садиков, Т.Д. Александрова, А.І. Фадеєв, М.М. Мірошниченко та інші, однак, до сьогодні не опрацьовані уніфіковані вимоги щодо просторово-часової моделі здатності геосистеми протидіяти шкідливим впливам, відсутня єдина номенклатура складових показника стійкості і науково обґрунтовані підходи до їх визначення, відсутня їх екосистемологічна класифікація та загальноприйняті терміни, зокрема для характеристики властивостей ПЧГ з різноманітними поєднаннями біогеоценозів, відсутні нормовані значення складових показника стійкості ПЧГ тощо, що обумовлює актуальність цього дослідження.

Базовим для становлення і розвитку екологічного нормування можна вважати положення праці [1] про те, що антропогенне спрощення екосистем – це не обов'язково їх деградація, а еволюція в нових умовах, за якої не всі наслідки спрощення екосистеми є небажаними. Якщо в зміненому людиною середовищі біогеоценоз підтримує себе як систему в оптимальному стані – це означає, що ступінь антропогенного впливу не перевищує його адаптаційних можливостей [2].

Авторами [3] на основі статистичного розуміння норми запропоновано декілька підходів до вимірювання нормальності та стійкості екосистем, що необхідно для визначення її запасу міцності.

Подібні погляди про норму екосистем були висловлені західними дослідниками в рамках концепції здоров'я екосистем [4].

У загальному випадку під допустимим екологічним навантаженням в [6] вважають таке значення, що не викликає небажаних змін екосистем та організмів, зокрема людини, і не призводить до будь істотного погіршення якості довкілля. Водночас під показником високої якості природного середовища слід розуміти таке його значення, за якого можливим є: стале існування і розвиток історично сформованої і перетвореної людиною екосистеми в даному місці; відсутність в сьогоденні і майбутньому несприятливих наслідків

у будь-якій або найбільш важливій популяції зокрема, людини (причому кожної), яка знаходиться в цьому місці історично або тимчасово [7].

Автор [6] зазначає, що допустимість навантаження визначається цілями природокористування. З цього погляду всі екосистеми можна поділити на три категорії: унікальні або заповідні; широко поширені або природні; сильно перетворені або штучні. В екосистемах першої категорії навантаження повинно виключати випадання будь-якого виду; для другої – припустимі деякі зміни, так щоб зберігалася вимоги до середовища; в штучних екосистемах можливі будь-які обґрунтовані зміни у відповідності з визначеними цілями.

Детально розглянуті та узагальнені проблеми екологічного нормування у роботі [8], згідно яких норми слід створювати для виконання трьох основних цілей:

- збереження і забезпечення середовища, сприятливого для всього живого;
- ресурсозбереження та ресурсовідновлення з акцентом на біологічні ресурси;
- збереження генофонду і умов його існування.

Важливим є твердження автора, що норми повинні мати територіально диференційований характер, тобто відрізнятися для різних типів ландшафтів, і бути варіантними, тобто відрізнятися для різних ситуацій природокористування.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідження спрямоване на вирішення наступних проблем:

- спроба гармонізувати підходи, що використовують як в національній, так і в світовій практиці щодо поняття стійкості, для оцінки екологічних та захисних вимог в ПЧГ;
- ввести чітке розуміння поняття стійкості, як здатності ПЧГ тривалий час витримувати, адаптуватись чи протидіяти шкідливим зовнішнім впливам без серйозних порушень її структурно-функціональних характеристик і деградації утворюючих компонентів;
- розвинути методологічні аспекти встановлення екологічних та захисних вимог до ПЧГ, що базуються на визначенні складових елементів показника стійкості, які оцінюють за певною шкалою, з застосуванням відповідних критеріїв, розроблених та поданих для кожної градації шкали.

Новизна. Оцінка розподілу компартментів за класами стійкості характеризує градієнт зміни стійкості і можливу швидкість V її втрати, а врахування площі S, яку займає той чи інший компартмент у ПЧГ, і дає змогу оцінити масштабність цих процесів. Наростання показників ризику свідчить про можливість наступлення стану катастрофи С. Отже, чим вища швидкість втрати стійкості V, чи наростання ризику РС за короткий час Δt, і чим менша його площа S, тим ближче знаходиться компартмент до катастрофічного стану $V \rightarrow \max \cup S \Rightarrow \min \rightarrow PC \rightarrow \max \Rightarrow (Z1 - Z0)/\Delta t \rightarrow C$. Інакше кажучи, чим більша швидкість сукцесії, тим більша ймовірність досягнення компартментом ПЧГ критичного стану і можливості катастрофічних змін.

Методологічне або загальнонаукове значення. Оцінку впливів на ПЧГ виконано з застосуванням доступних матеріалів і статистичних даних, наданих: Міністерством охорони навколишнього середовища України і його обласними територіальними управліннями; підрозділами Укрметеоцентру; науковими, дослідницькими та іншими організаціями.

Найбільш ефективною для вирішень завдань дослідження визнано теорію біотичної регуляції, сутність якої ґрунтується на законах організації і функціонування довкілля, обмеження господарського втручання, і яка спрямована на підтримку екологічної рівноваги [12]. За припущення, що до системи в її стійкому стані потрапляє певна кількість рівномірно розподілених забруднювачів, стійкість запропоновано розглядати на прикладі двокамерної моделі.

Для аналізу сукупності властивостей, які найбільш повно характеризують систему з огляду на мету дослідження, використано міжнародні стандарти [13, 14] з метою адекватного моделювання стійкості і чіткого ранжування ризиків, які впливають на процеси в ПЧГ.

Виклад основного матеріалу. Показник стійкості для оцінювання захисних властивостей просторово-часової геосистеми. Для оцінки стійкості екологічних систем слід проаналізувати принципи, методи та механізми її отримання. Швидкість відновлення екосистем, наприклад, внаслідок антропогенного втручання, залежить від їхнього положення відносно рівноважного стану. З посиленням несприятливих природних чинників відбувається збурення відхилень від рівноважного стану до того ступеня, поки система не втратить стабільність, що може призвести до її руйнування. Згідно низки ключових положень теорії біотичної регуляції [15], головне завдання полягає не стільки у скороченні антропогенних викидів, скільки збереженні ієрархічної структури ПЧГ і забезпеченні біотичних механізмів її регулювання, використання та відтворення. Зокрема індикатором різноманітності, стану рівноваги і порушення ПЧГ є рослинність, а регуляторним механізмом її формування, відновлення від початкового до рівноважного стану і стабілізації виступає компартмент. Тому оцінка стійкості ПЧГ повинна базуватися на порівняльній оцінці сукцесійних стадій угруповань в компартменті від початкового до стійкого клімаксового стану. Її виконують за такими ознаками:

- відмінністю $\Delta Z = Z_2 - Z_1$ одного стану системи відносно іншого;
- допустимим відхиленням від базового стану або мінливістю $Z_0 - Z_1 < \Delta Z$;

• інтервалом часу Δt, в межах якого відбуваються зміни чи оцінюється стійкість;

• впливом одного або кількох зовнішніх факторів h_i чи їх синергії.

Згідно цих ознак М.Д. Гродзинський виділив три форми стійкості – відновлюваність, інерційність і пластичність, які для спрощення тлумачення спочатку можна звести до двох – резистентності та пластичності:

• резистентність – здатність компартменту K під впливом дії факторів h_i протягом часу Δt не виходити за межі стійкості $\frac{h_i}{\Delta t} \leftarrow Z_1$;

• пластичність – здатність компартменту K після припинення дії факторів h_i протягом часу Δt повертатися до початкового стійкого стану $\frac{h_i}{\Delta t} \rightarrow Z_2$.

Отже, стійкість можна розглядати, з одного боку, як здатність компартменту протидіяти впливу зовнішніх факторів і зберігати свої характеристики у стані Z_1 (резистентна стійкість за Ляпуновим), а з іншого – бути пластичним, тобто відновлювати свої властивості до Z_2. Чим більший опір чинить компартмент впливу зовнішніх антропогенних та абіотичних факторів, тим важче порушити стійкість, але, якщо вона порушена, тоді її важко повернути у вихідний стан і навпаки, чим менший чиниться опір, тим легше повернутись у початковий стан.

Форми стійкості тлумачить рис. 1 з двома областями існування системи. Пластичні компартменти швидко втрачають стійкість навіть при слабкій дії фактора h_1, що призводить до зміни їхнього стану R_1D_1; згодом відбувається їх відновлення D_1R_2. При сильній дії фактора $h_2 > h_1$ система хоча і зазнає більших змін R_2D_2, але не виходить за межі області відновлення (рис. 1, *а*). Натомість резистентна система за слабкої дії h_1 зовнішнього фактора незначно втрачає стійкість R_1D_1 швидко повертаючись в D_1R_2; за сильнішої дії h_2 вона поступово заходить у запорогову область невідновлюваного стану R_2C і втрачає стійкість (рис. 1, *б*).

Висока пластичність і низька резистентність означає здатність уникати стану катастрофи C або знижувати ризик руйнування компартменту P_C, а низька пластичність і висока резистентність – його підвищувати. Тому для оцінки ризику головною ознакою є ступінь резистентності, а не пластичності.

Отже, на основі аналізу різноманітності компартментів, що входять до ПЧГ, їх можна розділити на три категорії:

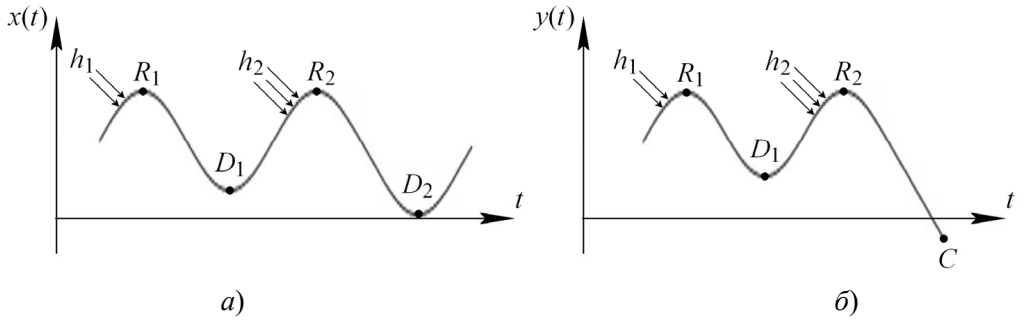
• *П* – пластичні (гідрофільні, сегетальні, рудеральні, вторинні), що знаходяться у стані постійної динаміки, легко відновлюються, оскільки компартмент не змінюється, мають низьке флористичне багатство, слугують осередками розселення адвентивних видів, мають дуже низький ступінь ризику втрати компартменту;

• *І* – інерційні (лісові, степові), що при руйнуванні здатні до відновлення через тривалий час, проходять стадії сингенезу, ендоекогенезу, філценогенезу (переважають процеси трансгенезу), що супроводжується поступовим відновленням компартменту в структурі СЛК;

• *Р* – резистентні або стійкі, що знаходяться в екстремальних умовах (наскельні, піщано-літоральні, верхові болота на межі ареалу, під постійним антропогенним тиском), добре зберігають свою структуру, але при її порушенні руйнується компартмент, що не відновлюється.

Для компартментів останнього типу характерний високий ендемізм, тобто в їхньому історичному розвитку флорогенез переважає над процесами трансгенезу, а тому вони стійкі до проникнення адвентивних видів. Екологічні амплітуди компартментів такого типу досить вузькі, а, відповідно, ступені ризику їх втрати найвищі.

Оскільки стійкість не має абсолютного значення, то не коректно говорити, що компартмент стійкий чи не стійкий, але можна оцінити, що в ПСГ один компартмент K_1 стійкіший, ніж інший K_2 відносно дії певного фактора h_i чи їх синергійної дії F, або стан ПЧГ Z_2 стійкіший, ніж стан Z_1 в певних умовах.



а) *б*)

Рис. 1. Схема змін компартменту СЛК пластичного (а) та резистентного (б) типу, де стани, відповідно, R – відновлення, D – порушення, C – катастрофи, h – впливи

Тому _загалом стійкість ПЧГ залежить від двох змінних: ступеня дії певного фактора *h* та специфікою чи розташуванням компартменту *K*. Тобто результатом може бути вектор, який характеризує напрям і значенням різниці між показниками компартментів. Для цього потрібно обрати компартмент, як еталон K_0 або змоделювати гаку ПЧГ, яка за даних умов має найстійкіший стан Z_0. Водночас, у такому стані ПЧГ існувати не можуть, оскільки з врахуванням законів термодинаміки ПЧГ є відкритою неврівноваженою системою і тоді мають найвищий ризик руйнування [16]. Отже, чим ближче знаходиться *K* до стійкого, рівноважного, клімаксового стану Z_0, тим вищий ризик його руйнування K→Z0 ⇒ PC→max, а якщо К знаходиться на початкових стадіях розвитку, далеко від рівноважного стану Z0, то ризик його руйнування низький K←Z0 ⇒ PC→min. Це висновок відображає сутність методу оцінки стійкості та ризиків руйнування компартментів ПЧГ.

В оцінці ризику чільне місце належить дослідженню сукцесійного розвитку компартменту. Сукцесія розглядається як можливість перебудови структури компартменту відносно зміни довкілля. Хоча це самоорганізований та самопідтримуючий процес, однак він спрямований у бік удосконалення механізмів акумуляції енергії через адаптаційні властивості видів, зниження енергетичних витрат, а відтак зниження показників ентропії, що означає наближення до стійкого, але водночас і термінального стану, а відтак зростає ризик руйнування компартменту. За Р. Уіттекером сукцесія – це не лінійний і строго детермінований, а стохастичний процес. А це означає, що кожен ярус підсистеми (ценопопуляція) може бути заміщений іншим, краще адаптованим до існуючих умов або наступних можливих змін, і таке заміщення відбувається на всіх етапах процесу, у кожній з підсистем компартменту. Отже, показник біотичного різноманіття тих елементів, які в ході сукцесії можуть взаємозаміщуватися, має вирішальне значення, оскільки зниження біорізноманіття звужує область стійкості. Хоча компартмент може бути досить стійким і при обмеженій кількості видів (наприклад, букові ліси), але при цьому можливі варіанти заміщення і ймовірність формування стійких станів звужується. Отже, головне завдання полягає в тому, щоб оцінити положення певного компартменту у сукцесійному ряді.

Для оцінки ризику руйнування компартменту запропоновано використати показники, які даватимуть змогу оцінити дві групи ознак: кількісні показники його зміни або швидкість сукцесій *V* і масштабність змін *S*, тобто його часовий та просторовий стан – *f*(*V, S*). Причому можуть бути використані як безпосередні, так і опосередковані характеристики. Зокрема, наприклад, наявність у складі ярусів чи підсистем компартменту видів, занесених до охоронних списків, спричиняє більший ризик руйнування. Такі види, зазвичай, пов'язані з рідкісними компартментами або знаходяться у зоні більшого ризику руйнування через надмірну експлуатацію. Для оцінки важливі і такі характеристики, як показники гемеробії, що відображають здатність видів рослин зростати і поширюватися у різного ступеня перетворених людиною екосистемах. Іншою ознакою є типи стратегій поведінки видів, що відображають їхнє відношення до заселення та утримання компартменту: *R* – стрес-толеранти заселюють екстремальні екотопи; *S* – патієнти утримуються за рахунок конкуренції, протидії впливу зовнішніх факторів, тобто характеризують інерційність ценозу; *K* – експлеренти, що швидко реагують і характеризують ступінь резистентності ценозу.

На основі представленого аналізу вибрано 12 основних показників, які даватимуть змогу різносторонньо оцінювати ступінь стійкості та масштаби трансформації компартменту у просторово-часовому вимірі, а саме: Вплив антропогенної трансформації, Відновлюваність, Положення у сукцесійному ряду (відносно антропогенних сукцесій), Регіональна репрезентативність, Характер поширення, Екологічна амплітуда, Екологічні умови поширення, Наявність інвазійних видів, Ступінь гемеробності (*ha*, %), Співвідношення між типами стратегій (*S*/*R*/*K*), Нозологічна значущість, Синфітосозологічний статус.

Вагу кожного показника запропоновано оцінювати в балах від 1 до 4. Мінімальна кількість балів, яку може отримати компартмент за всіма показниками – 12 балів, максимальна – 48 балів; різниця між ними становить 36 балів. Тоді ступінь ризику РС визначається як втрати кожного бала: 1 бал ≡ 100 % : 36 = 2,78 %. Причому кількість врахованих показників можна змінювати.

Отримувані під час оцінювання показників бали запропоновано впорядкувати за шкалою оцінювання стійкості і ризику втрати компартменту розділивши їх на п'ять класів, що мають діапазон по 7 балів:

- I клас (42-48 балів) – дуже рідкісні, що мають «вузьке» поширення, погане відтворення, дуже високий (P_C > 83 %) показник ризику руйнування, дуже чутливі до зміни екологічних факторів і потребують особливих комплексних заходів охорони;
- II клас (35-47 балів) – рідкісні, що мають обмежене поширення, слабке відтворення, високий (P_C = 63-83 %) показник ризику руйнування, чутливі до впливу антропогенного фактора і потребують певних цільових заходів щодо їх охорони;
- III клас (28-34 бали) – мають фрагментарне поширення і під впливом дії антропогенних факторів тенденцію до скорочення, характеризуються повільним відновленням, мають середній (P_C = 43-63 %) показник ризику руйнування і потребують часткової охорони;
- IV клас (21-27 бал) – мають звичайне поширення, типові угруповання, нормально відновлюються в даних умовах, мають низький (P_C = 23-43 %)

показник ризику руйнування, стійкі до антропогенного впливу, хоча і не потребують заходів з охорони, але можуть бути знищені при надмірній антропогенній діяльності;

• V клас (12-19 балів) – досить розповсюджені компартменти, достатньо адаптовані до дії антропогенних факторів або формуються під їхньою дією, мають дуже низький (P_C < 23 %) показник ризику руйнування і не потребують охорони.

Головні висновки. Запропонований підхід до оцінки стійкості та, як наслідок, ризиків втрати компартменту в просторово-часовій системі дає змогу отримати кількісні показники, що можуть бути використані як індикатори стану всього ПЧС. На їх основі можливим є: розрахунок тих порогових значень величин, поза якими відбуваються негативні явища, прогнозування та моделювання ситуацій, картування джерел ризиків, моніторинг і виявлення причин змін або факторів, що сповільнюють чи стримують наближення ПЧГ до критичного стану, розроблення превентивних заходів запобігання чи зниження шкідливого впливу тощо.

Представлені результати можуть мати значення для потреб нормування функціонування екологічних систем, зокрема, у вигляді стандарту «Екологічні та захисні вимоги до ПЧГ». З огляду на міжнародну стандартизацію показник стійкості може бути використаний, наприклад, для оцінки транскордонного впливу шкідливих об'єктів на екосистему, згідно міждержавної угоди, яка приймає до уваги положення Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище в транскордонному контексті, ЕБПО (Фінляндія), 1991.

Перспективи використання результатів дослідження. Авторами показано, що природний розвиток ПЧГ хоч і спрямований внаслідок дисипативних процесів до рівноважного стану, але система не може тривало існувати в такому стані і потребує додаткової енергії для свого розвитку. Загалом це перебігає як флуктуаційні зміни. Отже, внаслідок зовнішніх антропогенних впливів ПЧГ характеризує послідовність фаз рівноваги і, власне, кризи. Здатність долати наслідок таких зовнішніх негативних впливів слід називати стійкістю ПЧГ.

Твердження, що окремий компартмент є стійким чи не стійким, не має сенсу, але можна оцінити, що в системі один компартмент стійкіший, ніж інший, а для оцінки стійкості потрібно обрати компартмент, що відіграватиме роль еталона.

Використання типових ознак, доповнених ступенем гемеробності та співвідношення між типами стратегій, дасть змогу визначати созологічну значущість компартменту, а також з різних боків оцінити ступінь стійкості та масштаби трансформації компартменту у просторово-часовому вимірі.

Література

1. Шварц С. С. Теоретические основы глобального экологического прогнозирования. *Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды II Советско-американского симпозиума.* Ленинград : Гидрометеоиздат, 1976. С. 181–191.
2. Ibrahim H. Descriptive Ecology Approaches to an Urban Landscape in Qatar. *Journal of Ecosystem & Ecography*. 2012. Vol. 2, No. 5. P. 1–7. DOI: 10.4172/2157-7625.1000119
3. Betts M. G., Wolf C., Ripple W. J., Phalan B., Millers K. A., Duarte A., Butchart S. H. M., Levi T. Global forest loss disproportionately erodes biodiversity in intact landscapes. *Nature*. 2017. Vol. 547 (7664). P. 441–444. DOI: 10.1038/nature23285.Xu F., Wang Y., Wang X., Wu D., Wang Y. Establishment and Application of the Assessment System on Ecosystem Health for Restored Urban Rivers in North China. *Int. J. Environ Res. Public Health*. 2022. Vol. 19 (9), No. 5619. P. 1–19. DOI:10.3390/ijerph19095619
4. Wang Z., Yang Z., Shi H., Han F., Liu Q., Qi J., Lu Y. Ecosystem Health Assessment of World Natural Heritage Sites Based on Remote Sensing and Field Sampling Verification: Bayanbulak as Case Study. *Sustainability.* 2020. Vol. 12 (7), No. 2610. P. 1–21. https://doi.org/10.3390/su12072610
5. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. Москва : Гидрометеоиздат, 1984. 560 с.
6. Тихомиров Ф. А., Розанов Б. Г. Методологические вопросы охраны почвенного и растительного покрова от загрязнения. Москва : Наука, 1985. С. 3–11.
7. Александрова Т. Д. Нормирование антропогенно-техногенных нагрузок на ландшафты как научная задача: Научные подходы к определению норм нагрузок на ландшафты. Москва : Ин-т геогр. АН СССР, 1988. С. 4–15.
8. Peltola T., Tuomisaari J. Re-inventing forestry expertise: Strategies for coping with biodiversity protection in Finland. *Forest Policy and Economics*. 2016. No. 62. P. 11–18. DOI: 10.1016/j.forpol.2015.10.005
9. Langlet D., Mahmoudi S. EU Environmental Law and Policy, 1st ed.; Oxford University Press : Oxford, UK, 2016. P. 351–362. ISBN 978-0-19-875393-3
10. Методологические основания отображения элементарных геосистемных процессов. *Современные естественные и антропогенные процессы в почвах геосистем* / Пузаченко Ю. Г., Федяева М. В., Козлов Д. Н., Пузаченко М. Ю. Москва : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2006. С. 122–125.
11. Forsberg M. Landskapsplanering för naturvård och virkesproduktion – Särskilt med koppling till ersättningsrätten. *Nord. Environ. Law J*. 2018. No. 1. P. 89–92.
12. Пашков Е. В., Фомин Г. С., Красный Д. В. Международные стандарты ИСО 1400. Основы экологического управления. Москва, 1997. 41 с.
13. EC/ISO 31010. Risk management – Risk assessment techniques focuses on risk assessment. 2019. URL: https://www.iso.org/standard/72140.html
14. De Jong J., Dahlberg A. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes. *For. Ecol. Manag*. 2017. No. 383. P. 37–48.
15. Li J., Cai C., Zhang F. Assessment of Ecological Efficiency and Environmental Sustainability of the Minjiang-Source in China. *Sustainability.* 2020. Vol. 12, No. 4783. P. 1–15. DOI:10.3390/su12114783

УДК 504.3.054:665.71
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.32

ВПЛИВ АВТОЗАПРАВНИХ КОМПЛЕКСІВ НА ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Бреус Д.С.
Херсонський державний аграрно-економічний університет
вул. Стрітенська, 23, 73011, м. Херсон
breusd87@gmail.com

На сьогоднішній день більшість автомобілів не може обійтися без палива, що забезпечується автозаправними станціями. Сучасний автомобіль, навіть з електричним двигуном, що не використовує рідке пальне, здебільшого є неекологічним транспортним засобом. Із збільшенням кількості автомобілів потреба в рідкому паливі збільшується, що тягне за собою зростання кількості автозаправних станцій, які є додатковими джерелами забруднення атмосфери, води і ґрунту. Автозаправні станції можуть перебувати у житловій забудові, в лісовому масиві або навіть у водоохоронній території, тому важливо оцінити їх внесок у забруднення навколишнього середовища, встановити контроль за ними та запровадити відповідні очисні заходи.

Автомобільний транспорт, з одного боку, споживає з атмосфери кисень, а з іншого – викидає в неї відпрацьовані гази, картерні гази, окис вуглецю, окис свинцю, тим самим, впливаючи на атмосферне повітря, тваринний і рослинний світ, в тому числі і на людину.

Оцінка впливу на навколишнє середовище автозаправних комплексів в Україні проводиться для забезпечення екологічної безпеки проживання населення і оптимальності містобудівних рішень з урахуванням заходів з охорони природи та збереження історико-культурної спадщини країни.

З'єднання важких металів має токсичний вплив на живі організми, найбільш небезпечний серед них – свинець, що накопичується в радіусі 100-200 м від дороги. Високий вміст свинцю у крові викликає уповільнення росту, розлади слуху та інтелектуальну деградацію, оскільки він руйнує хімічні сполуки у мозку живих істот. Існують дослідження деяких лікарів, які вважають, що більшість людей похилого віку вмирають передчасно саме через вплив шкідливих викидів. Значна частина шкідливих компонентів накопичується на територіях резервуарних парків автозаправних комплексів та полотні дороги та прилеглих територіях на висоті до півтора метра. Саме до цієї позначки піднімаються важкі токсичні фракції, якими люди дихають. Негативний вплив автозаправних комплексів на атмосферне повітря, порівняно з іншими сховищами нафтопродуктів, виявляється більшою мірою. Це пов'язано з тим, що, з одного боку, викиди походять із джерел заввишки 2-3 м від поверхні землі, а з іншого – переважна кількість АЗК розміщується у населених пунктах із високою щільністю забудови та значною концентрацією автотранспорту.

В результаті дослідження та на основі зібраних даних буде запропоновано заходи із зменшення впливу АЗК на природне середовище. *Ключові слова:* автозаправний комплекс, автомобільний транспорт, рідке пальне, вплив природу, джерела забруднення.

The influence of gas stations on the environment. Breus D.

Today, most of cars can't work without fuel, which is provided by gas stations. A modern car, even with an electric motor that does not use liquid fuel, is mostly an ecologically unfriendly vehicle. With the increase in the number of cars, the need for liquid fuel increases, which entails an increase in the number of gas stations, which are additional sources of air, water and soil pollution. Gas stations can be located in residential areas, in a forest area or even in a water conservation area, so it is important to assess their contribution to environmental pollution, establish control over them and implement appropriate cleaning measures.

Vehicles, on the one hand, consumes oxygen from the atmosphere, and on the other hand, emits exhaust gases, crankcase gases, carbon monoxide, lead oxide into it, thereby affecting the environment, animal and plant life, including humans.

The assessment of the impact on the environment of gas stations in Ukraine is carried out to ensure the ecological safety of the population and the optimality of urban planning solutions, taking into account measures for the protection of nature and the preservation of the country's historical and cultural heritage.

The compound of heavy metals has a toxic effect on living organisms, the most dangerous among them is lead, which accumulates in a radius of 100-200 m from the road. High levels of lead in the blood cause growth retardation, hearing disorders and intellectual degradation because it destroys the chemical compounds in the brains of living beings. There are studies by some doctors who believe that the majority of elderly people die prematurely precisely because of exposure to harmful emissions. A significant part of the harmful components accumulates on the territories of tank parks of gas stations and roadways and adjacent territories at a height of up to one and a half meters. It is to this mark that the heavy toxic fractions that people breathe rise. The negative impact of gas stations on the environment, compared to other oil product storage facilities, is more pronounced. This is due to the fact that, on the one hand, emissions come from sources 2-3 m above the ground, and on the other hand, the majority of gas stations are located in populated areas with a high density of buildings and a significant concentration of motor vehicles.

As a result of the research and based on the collected data, measures will be proposed to reduce the impact of gas stations on the natural environment. *Key words:* gas stations, road transport, liquid fuel, impact on nature, sources of pollution.

Вступ. Проблема впливу автозаправних комплексів на атмосферне повітря та пов'язанні з цією темою екологічні ризики, не беручи до уваги підвищену актуальність, являються вкрай маловивченими, як за окремими факторами так і в цілому. Фактично відсутні публікації, що базуються на екс-

периментальних дослідах. В досліджені проведений аналіз впливу автозаправних комплексів на екологічні показники атмосферного повітря.

Значне зростання кількості автомобільного транспорту в нашій країні зробило будівництво нових і переобладнання існуючих автозаправних комплексів одним з напрямків ділової активності, що найбільш стрімко розвиваються. Дедалі більша кількість наших автозаправних комплексів (АЗК), як за дизайном, так і за технічними засобами та технологіями, що застосовуються, стала відповідати світовим стандартам. Пропускна спроможність сьогоднішньої мережі АЗК у кілька разів вища за рівень початку 90-х років. Зросла кількість високопродуктивних паливорозподільних колонок та збільшилася швидкість заправки автотранспорту.

Матеріали і метод. Основним завданням при оцінці впливу виробничої діяльності автозаправних комплексів на навколишнє середовище, а також валового забруднення атмосферного повітря є узагальнена оцінка забруднюючих речовин, які продукує АЗК.

В досліджені були використані вихідні дані, що були отримані з екологічних звітів, паспортів, контрольних інспекторських перевірок Державної екологічної інспекції України.

Викиди при зливанні з бензовозу розраховуються за наведеною формулою [1]:

$$П_{зл}=2{,}52\cdot V_{рез}\cdot P(38)\cdot M_n\cdot(K5_x+K5_m)\cdot K8\cdot(1-r)\cdot 10^9 \text{ кг/год}; \quad (1)$$

де $V_{рез}$ – об'єм резервуарів, м^3; $P(38)$ – тиск насичених парів, який приймається в залежності від нижче розрахованих величин; M_n – молекулярні маси (прийняті для бензину M_n = 79,0; дизпалива M_n = 162,5); $К5_х$ та $К5_т$ – коефіцієнти, які характеризують температурні умови газового простору у холодний та теплий періоди року; $К8_{бенз}$ – коефіцієнт який для бензину становить 0,56; $К8_{диз}$ – коефіцієнт який для дизпалива становить 0,5; r – коефіцієнт, який залежить від тиску насичених парів та кліматичної зони.

Викиди при зберіганні палива були визначені за формулою:

$$П_{зб}=2{,}52\cdot V_{річ}\cdot P(38)\cdot Mn\cdot(K5_x+K5_т)\cdot K6\cdot K7\cdot(1-r)\cdot 10^9 \text{ кг/год} \quad (2)$$

де $V_{річ}$ – річний об'єм палива, прийнятий по довідці про витрати матеріалів, м^3/рік; $К6$ – коефіцієнт, який залежить від ($Р38$) та величини річного обігу ємності (визначається за формулою: $Д = У/У_р$); $К7$ – коефіцієнт, який залежить від режиму експлуатації, прийнятий 0,95.

Викиди, що відбуваються при заправці автомобілів, розраховані за формулою:

$$П_{зп}=2{,}52\cdot V_{рез}\cdot P(38)\cdot M_n\cdot(K5_x+K5_m)\cdot K8\cdot(1-r)\cdot 10^9 \text{ кг/год}, \quad (3)$$

Еквівалентна температура кипіння палива:

$$t_{екв} = t_{пк}+(t_{пк}+t_{кк})/8{,}8 \text{ °C}, \quad (4)$$

де $t_{пк}$ – температура початку кипіння палива; $t_{кк}$ – температура кінця кипіння палива.

Середня температура холодного періоду $T_{хол}$ становить: (6,0–5,4–0,6+7,9+1,2–3,3)/6 = 1,2 °С. Середня температура теплого періоду $T_{теп}$ становить: (7,1+14,2+17,3+19,3+18,6+13,6)/6 = 13,02 °С.

Необхідні вихідні дані для проведення відповідних розрахунків наведені в таблицях 1–3.

Визначення валових викидів проводиться по формулі:

$$Мр = П\cdot T \text{, т/рік}, \quad (5)$$

де $П$ – знайдені вище величини викидів за годину ($П_{зл}$ та $П_{зб}$); T – час роботи джерела.

Час роботи джерела визначається за формулою

$$T = V/p/3600\cdot 10^3 \text{ год/рік}, \quad (6)$$

Таблиця 1

Види палива

Вид палива	$t_{пк}$	$t_{екв}$	$t_{кк}$
Дизельне паливо	135	370	192,4
Бензин	35	195	61

Таблиця 2

Типи кліматичних зон

Період	Підземні резервуари				
	К1	К2	К3	К4	*Т*
Холодний	0,3	0,37	0,62	–	
Теплий	6,12	0,41	0,51	1	

Таблиця 3

Види палива

Паливо	Вид резервуару	$К5_х$	$К5_т$	$К5_х + К5_т$
Бензин	Підземні	0,184	0,454	0,638
Дизпаливо	Підземні	0,043	0,245	0,288

де V – загально-річний об'єм палива; p – продуктивність насосу бензовозу, л/сек.

У розрахунках прийнято, що при зберіганні – Т = 8760 год/рік (щоденно, цілодобово); при заправці автомобілів – Т = У/р/3600·10^3, год/рік. Продуктивність насосу паливо роздавальної колонки, прийнята по паспорту 50 л/мин [45].

Визначення грам-секундних викидів проводиться по формулі:

$$M_c = П \cdot 1000/3600 \text{ г/с}, \quad (7)$$

де $П$ – знайдені вище величини викидів за годину ($П_{зл}$ та $П_{зб}$).

Результати. Аналіз роботи АЗК показує, що викиди випарів палива відбуваються під час заправки автомобілів, зберігання в резервуарах та при зливанні його з бензовозу в резервуари АЗК. Для зменшення величин викидів випарив палива в атмосферне повітря на резервуарах АЗК передбачені клапани підвищеного тиску, які скидають надлишковий тиск газоповітряної суміші [1].

АЗК має такі джерела викидів:

– зливова труба резервуару, через яку відбуваються викиди бензину або дизпалива під час заправки резервуару з бензовозу через зливний пристрій;

– дихальний клапан, який передбачає вихід зайвого тиску при підвищення його вище допустимого для даної ємності. Застосування клапану підвищеного тиску дозволяє зменшувати величини викидів випарів під час збереження;

– горловина баку автомобіля під час його заправки [2].

Заправка автомобілів здійснюється шляхом подачі бензину насосами (рисунок 1) з ємностей через паливороздавальні колонки і зливні шланги в бензобаки автомашин. При заправці баків автомашин виділення забруднюючих речовин відбувається шляхом витіснення парів бензину з бензобаків через горловину і частковому випаровуванні бензину. Забруднення атмосферного повітря відбувається від виділення відпрацьованих газів автомашин при заїзді та виїзді автотранспорту з території автозаправки. В атмосферне повітря виділяються оксиди вуглецю та азоту, сірчистий ангідрид, вуглеводні [3].

Викиди транспорту для заправки паливом, а також викиди від паливозаправників прийняті за неорганізовані джерела викидів наведені в таблицях 4–6).

Забруднюючі речовини, що виділяються від роботи двигунів машин, які доставляють продукти та вивозять сміття, надходять безпосередньо в атмосферу, бо цей транспорт є неорганізованими джерелами викиду [3].

При необхідності також використовується генератор. Експлуатація генератора супроводжується викидами шкідливих речовин згорання палива – природного газу.

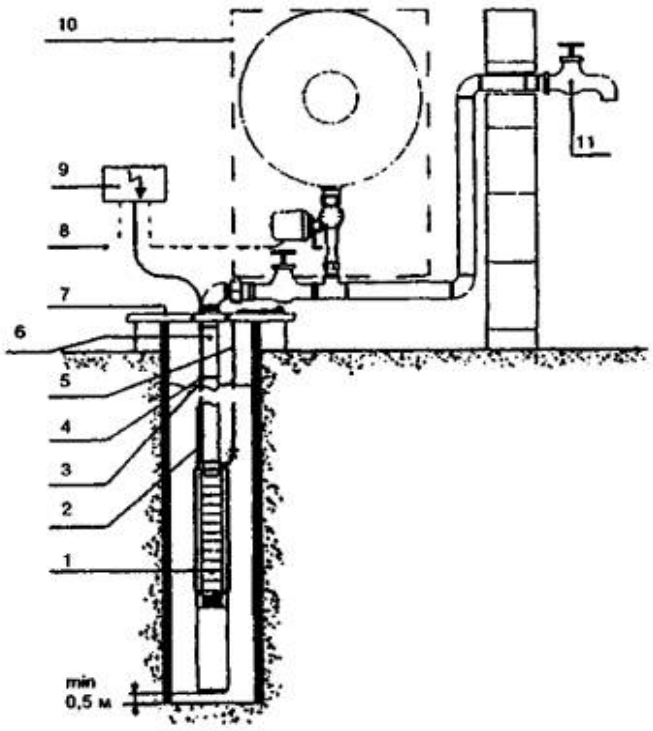


Рис. 1. Схема насосу досліджуваного АЗК [3]:
1 – насос типу SP, JS з вбудованим зворотнім клапаном; 2 – кабельна муфта; 3 – кабель підводний; 4 – хомут кабелю; 5 – трос з нержавіючої сталі; 6 – водопідйомна труба; 7 – хомут; 8 – електромережа; 9 – шафа управління (PDL, PKZEL, HydroControl); 10 – система регулювання тиску (мембранний бак, датчик тиску, манометр); 11 – споживач

Таблиця 4

Викиди при зберіганні палива

№ джерела	Розрахункова формула	Час (*T*)	*П*, год	M_c, г/сек	M_p, т/рік
1	$П_{год}$=2,52·588·1082·0,638·79,0·10	111,23	0,013271	0,00368	0,00148
2	$П_{год}$=2,52·588·1082·0,638·79,0·10	111,23	0,013271	0,00368	0,00148
3	$П_{год}$=2,52·588·1082·0,638·79,0·10	111,23	0,013271	0,00368	0,00148
4	$П_{год}$=2,52·2353·162,5·0,288·10	145,2	0,0000760	0,00000760	0,000003978

Таблиця 5

Викиди при зберіганні палива

№ джерела	Розрахункова формула	Час (*T*)	*П*, год	M_c, г/сек	M_p, т/рік
5	$П_{год}$=2,52·1802·588·79,0·0,638·0,56·10	8760	0,2097	0,0582	1,837
6	$П_{год}$=2,52·1802·588·79,0·0,638·0,56·10	8760	0,2097	0,0582	1,837
7	$П_{год}$=2,52·1802·588·79,0·0,638·0,56·10	8760	0,2097	0,0582	1,837
8	$П_{год}$=2,52·2353·162,5·0,288·1,10·0,95·10	8760	0,000289	0,000803	0,0253

Таблиця 6

Викиди при заправці автомобілів

№ джерела	Розрахункова формула	Час (*T*)	*П*, год	M_c, г/сек	M_p, т/рік
1 бензин	$П_{год}$=2,52·1802·588·79,0·0,638·0,56·10	601	0,07536	0,02093	0,0453
2 бензин	$П_{год}$=2,52·1802·588·79,0·0,638·0,56·10	601	0,07536	0,02093	0,0453
3 бензин	$П_{год}$=2,52·1802·588·79,0·0,638·0,56·10	601	0,07536	0,02093	0,0453
4 ДП	$П_{год}$=2,52·2353·162, 5·0,288·0,5·10	785	0,0000430	0,0000119	0,0000337

Так, викиди окису вуглецю становлять:

$$B_{CO} = 0{,}001 \cdot C \cdot B \cdot (1\text{-}q), \text{ т/рік, г/сек,} \quad (8)$$

де *C* − вихід окису вуглецю при спалюванні газу, кг/тис. м³; *B* – витрати при спалюванні.

Вихід окису вуглецю при спалювання газу розраховується за формулою:

$$C_{CO} = q^3 \cdot R \cdot QH, \quad (9)$$

де q^3 і q = 0,5% − витрата тепла внаслідок хімічної неповноти згорання палива; R=0,50 − коефіцієнт, який враховує долю витрати тепла внаслідок хімічної неповноти згорання палива; *QH* − вихід тепла внаслідок хімічної неповноти згорання палива.

$$C_{CO} = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 33{,}94 = 8{,}475 \text{ (для газу)}$$

$$B_{CO} = 0{,}001 \cdot 8{,}457 \cdot 3{,}3 \cdot (1 - 0{,}5/100) = 0{,}0278 \text{ т/рік.}$$

Викиди окислів азоту в перерахунку на двоокис азоту становлять:

$$B_{NO} = 0{,}001 \cdot B \cdot Q_i \cdot K, \text{ т/рік,} \quad (10)$$

де *B* – витрати при спалюванні; *Qi* = 3 – коефіцієнт, який враховує ступінь зниження окислів азоту; *K* = 0,07 – параметр, який характеризує кількість окислів азоту, які припадають на ГДК тепла, у кг/КДж.

$$BNO = 0{,}001 \cdot 3{,}3 \cdot 33{,}94 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}1 = 0{,}00784 \text{ т/рік.}$$

Згідно «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів», затверджених Міністерством охорони здоров'я України (1996 р.), досліджуваний об'єкт має нормативний розмір санітарно-захисної зони (СЗЗ) [4].

Коригування розмірів СЗЗ в залежності від повторюваності напрямків вітру проводиться по формулі:

$$X = B \cdot P/12{,}5 \text{ м,} \quad (11)$$

де *X* – скоригований розмір СЗЗ, м; *B* – нормативний розмір СЗЗ, який становить 100 м; *P* – відсоток повторюваності напрямків вітру.

Приземні концентрації забруднюючих речовин з урахуванням фону, що не перевищує встановлених нормативів, наведені в таблиці 7.

Граничнодопустимий викид є науково-технічним нормативом, який встановлюється при умові, що вміст в атмосферному повітрі від джерел викиду не перевищує нормативів якості повітря-гранично допустимих концентрацій (ГДК) ЗР, затверджених Міністерством охорони здоров'я України [5].

Для кожної речовини, що забруднює атмосферне повітря, в Україні встановлені два нормативи: максимально разова і середньодобова граничнодопустима концентрація. Гранично допустимими концентраціями забруднюючих речовин у навколишньому середовищі (ГДК) є такі концентрації, що, впливаючи на організм людини періодично чи протягом усього життя прямо, чи побічно через екологічні системи, не призводять до виникнення захворювань (у тому числі прихованих і тимчасово компенсованих), чи

Таблиця 7

Приземні концентрації забруднюючих речовин

Величина	Напрямки							
	Пн	ПнС	ПдС	С	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
Повторюваності вітрів, %	10	11	13	11	12	11	15	17
Скоригований розмір СЗЗ, м	80	88	104	88	96	88	120	136

змін станів здоров'я, що виходять за межі фізіологічної адаптації, що виявляються сучасними методами дослідження відразу, чи у віддалений термін життя теперішніх і наступних поколінь [6].

Максимальна разова фоново-допустима концентрація встановлена для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, зміна світлової чутливості ока і т.п.) при короткочасному (до 20 хв.) впливі.

Середньодобова гранично допустима концентрація не повинна робити шкідливого (загально токсичного, канцерогенного, мутагенного і т.п.) впливу на організм людини протягом невизначено довгого цілодобового впливу [5].

У сучасних умовах від діяльності АЗК одночасно виділяються багато шкідливих речовин. Тому виникає необхідність вивчення спільного їх впливу на якість атмосферного повітря.

Висновки. У досліджені було розраховано викиди від автозаправного комплексу під час зберігання палива, під час безпосередньо заправки автомобіля, а також під час експлуатації генератора на АЗК. Запропоновано корегування розміру ССЗ. Обґрунтовано, що рівень впливу автозаправного комплексу на навколишнє середовище міста відповідає існуючим нормативам з охорони середовища. Разом з тим при довготривалій експлуатації комплексу особливу увагу слід приділити моніторингу і прогнозу стану навколишнього середовища у зв'язку з діяльністю підприємства.

Література

1. Методичні вказівки з визначення викидів забруднюючих речовин в атмосферу з резервуарів. Київ : Атмосфера, 2007. 67 с.
2. Санітарно-захисні зони і санітарна класифікація підприємств, споруд та інших об'єктів: СанПіН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Київ, 2005. 181 с.
3. Кукушкін В. В. Методичні вказівки до вивчення спеціального курсу ТМО. Київ, 2001. 98 с.
4. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Київ. Мінохорони здоров'я України. Київ, 1996. 160 с.
5. ГДК шкідливих речовин в атмосфері: ГН № 2.1.6.95-98. Київ. Державний стандарт України, 2007. 98 с.
6. Бреус Д.С. Дослідження екологічного стану акваторії каховського водосховища. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2020. С. 9–18.

UDC 504.062
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.33

THE ROLE OF THE PUBLIC INSPECTOR IN THE SPHERE OF ENVIRONMENTAL PROTECTION IN UKRAINE

Yevtushenko O.
Kherson State Agrarian and Economic University
University Ave. 5/2, 25031, Kropyvnytskyi
ecokonf.ksau@gmail.com

Globalization and industrialization of modern society arouses the problem of environmental pollution and claims providing rational of usage nature. These processes require state and public control, implementation of environmental protection measures, development of environmentally secure technologies and methods of rational managment of natural resources.

Public control in the area of environmental protection is a form of ecological control carried out by public environmental protection inspectors, public organizations and particular citizens interested in the safe condition of the natural environment, with the aim of control of abidance by concerns, institutions, organizations independent of the form of their ownership, public authorities, their officials, as well as citizens, the requirements of environmental protection legislation.

Public inspectors for environmental protection are a weighty component of the environmental management system and play an essencial role in providing of the realisation of public policy in the area of environmental protection.

The labor activity of public inspectors is ordinated by the State Ecoinspection, its territorial and interregional authorities, other state organs that control the protection, rational usage and reproduction of natural resources, organs of state executive power and local self-government, public ecological (environmental protection) organizations.

In the current article is the obligations and powers of the public environmental protection inspector in the field of environmental protection according to the acting legislation of the year 2022 are analyzed.

The obtained results permit us to claim that public inspectors are granted with a range of powers that give them a possibility to supervise compliance with environmental protection requirements by subjects and in certain measure to control the effectiveness of the work of state environmental protection inspectors. *Key words:* natural environment, public inspector, state authorities, specialized control, public control, inspection, raid, violation of requirements of environmental protection legislation.

Роль громадського інспектора у сфері охорони навколишнього природного середовища в Україні. Євтушенко О.Т.

Глобалізація та індустріалізація сучасного суспільства викликає проблему забруднення навколишнього середовища та вимагає забезпечення раціонального природокористування. Ці процеси потребують державного та громадського контролю, впровадження природоохоронних заходів, розробки екологічно безпечних технологій та методів раціонального використання природних ресурсів.

Громадський контроль у сфері охорони навколишнього природного середовища – вид екологічного контролю, який здійснюють громадські інспектори з охорони довкілля, громадські організації та окремі громадяни, зацікавлені в безпечному стані навколишнього природного середовища, з метою перевірки дотримання підприємствами, установами, організаціями незалежно від форм власності, державними органами, їх посадовими особами, а також громадянами, вимог природоохоронного законодавства.

Громадські інспектори з охорони навколишнього середовища є важливою складовою системи екологічного менеджменту та відіграють значну роль у забезпечені реалізації державної політики у галузі охорони довкілля.

Роботу громадських інспекторів організовують Держекоінспекція, її територіальні та міжрегіональні територіальні органи, інші державні органи, які здійснюють контроль за охороною, раціональним використанням та відтворенням природних ресурсів, органами державної виконавчої влади та місцевого самоврядування, громадськими екологічними (природоохоронними) організаціями.

В статті проаналізовано обов'язки та повноваження громадського інспектора з охорони довкілля у сфері охорони навколишнього природного середовища відповідно до діючого законодавства станом на 2022 рік.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що громадські інспектори наділені рядом повноважень, які дають можливість їм проводити нагляд за дотриманням природоохоронних вимог суб'єктами та певною мірою контролювати ефективність роботи державних інспекторів з охорони навколишнього природного середовища. *Ключові слова:* навколишнє природне середовище, державний та громадський інспектор, органи державної влади, спеціалізований контроль, громадський контроль, перевірка, рейд, порушення вимог природоохоронного законодавства.

The problem under discussion. According to the requirements of Article 50 of the Constitution of Ukraine, everyone has the inalienable right to an environment safe for health and life as well to have information about the state of the environment [5].

One of the guarantees of environmental rights of citizens in accordance with Article 10 of the Law of Ukraine «On Environmental Protection» is public control over compliance with the requirements of environmental legislation, carried out, in particular, by public environmental inspectors [4].

The dictionary of foreign language words defines control (from Fench controle) as a check or observation for the purpose of verification. «Control» is a function which ensures that any process avoids negative, undesirable actions and consequences [1].

The functions of special control bodies are performed by a number of state services and inspections within the central executive authorities.

That is, specialized control is a state control over the observance of norms and rules in the field of environmental protection, rational use and restoration of natural resources, including land, subsoil, surface and ground water, air, forests, other objects of flora and fauna, marine environment and natural resources of territorial waters, continental shelf and exclusive (maritime) economic zone, territories and objects of the nature reserve fund of Ukraine, as well as in the field of waste management, compliance with environmental safety standards [6, 7, 15].

The effectiveness of public administration in the field of environmental protection, to some extent, depends on the level of interaction between the bodies representing the state authorities and civil society institutions. Public control is one of the elements of such relations. Issues related to the functioning of state structures, whose activities have an impact on the interests and rights of citizens and are of public interest, should be highlighted and controlled by the public. This is especially true for institutions related to natural resources, the scope and activities of which directly affect the quality and protection of the environment. Accessibility of this information to citizens indicates the degree of openness between society and public authorities. Thus, public control is one of the instruments of influence on public authorities and one of the factors stimulating their improvement [8–10].

Analysis of recent research and publications. In general enough works are devoted to the issues of interaction of public authorities of our country with public control and the role of the public environmental inspector in the field of environmental protection. Among the publications on the abovementioned topics, it is worth highlighting the works of S. Berzina, V. Boreyko, G. Buzan, O. Fedorovska, O. Golovkin, Z. Gladun and official sources of the Ministry of Environment and the State Environmental Inspectorate [1–3, 8–12].

Presentation of the main material. One of the main reasons for violations of environmental legislation is the extremely low environmental awareness of the population, on the one hand, and the insufficient number of inspectors in the controlling bodies, on the other. To strengthen control and involve the public in its implementation, public control over environmental protection was introduced [1, 13].

Public control in the field of environmental protection is carried out by public environmental inspectors (public inspectors) [1, 7].

The legal status of public inspectors is determined by their public purpose − to assist government agencies in environmental protection, prevent violations of environmental rules, educate citizens in the spirit of respect for the law, etc. All of them are the guardians of natural resources, are reliable assistants of state environmental inspectors [1].

The purpose of public control in the field of environmental protection is to ensure a safe environment. This type of activity is regulated by legal norms on verification of compliance with the requirements of environmental legislation by state bodies, local self-government bodies, individuals and legal entities [1].

The object of public control in the field of environmental protection is the actions and inaction of enterprises, institutions, organizations regardless of ownership, state bodies, their officials, as well as citizens who affect or may affect in the future the state of the environment [1, 8].

The subjects of public control in the field of environmental protection are, first of all, public environmental inspectors, public organizations, individual citizens or their groups interested in ensuring a safe and high-quality state of the environment [1, 8].

The State Environmental Inspectorate, its territorial and interregional territorial bodies directly organize the work of all public inspectors [1, 6, 7].

Only a citizen of Ukraine who has reached the age of 18, has experience in the field of environmental protection and has passed an interview in the relevant body can become a public inspector [7].

The public inspector is obliged to have the relevant basic knowledge of the main environmental laws and other regulatory legal acts related to his further work on a voluntary basis [1, 7].

After obtaining a certificate, which can be extended annually in case of positive results of the evaluation of the public inspector's work, which he reports quarterly and annually to the specialist assigned to the State Environmental Inspectorate, the public inspector monitors the protection and use of natural resources without additional remuneration, that is, on a voluntary basis, without dismissal from the main job [15].

The public inspector may be involved in inspections or raids carried out by the State Environmental Inspectorate with the preparation of the relevant act on the relevant inspection.

The public inspector is authorized to draw up reports on administrative offenses in case of violations of environmental legislation with further submission to the relevant body of the State Environmental Inspectorate in order to bring the offender to justice for the committed environmental crime [7].

Unlike the state, a public inspector has the right to stop a vehicle (land and floating) for inspection [6, 7].

In addition to the above, the public inspector has the right to deliver violators of environmental legislation to law enforcement agencies or local governments; to check documents for the legality of extracted objects of flora and fauna or their derivative products; to inspect other things; to take photos, sound and video, in order to use them in the future as auxiliary means of evidence in court proceedings and to act directly as a witness; explain, if necessary, to citizens their environmental rights and requirements of the legislation in the field of

environmental protection; participate in environmental assessment; has the right to have information about the state of the environment and measures taken to stabilize the situation in case of sources of negative impact on the environment [7].

The public inspector is obliged not to violate the requirements of environmental legislation, to report to the relevant body of the State Environmental Inspectorate on the results of inspections or raids, as well as to submit to the State Environmental Inspectorate the relevant annual and quarterly reports according to the environmental work performed [1, 15].

In case of failure to provide or violation of the deadlines for submission of quarterly or annual reports, unsatisfactory work, excess or abuse of the granted rights, or committing any violations of the requirements of environmental legislation by a public inspector, the State Environmental Inspectorate may decide to immediately deprive the relevant inspector of his powers and revoke his certificate ahead of schedule [1, 7].

Conclusions. The environment is a means, source and place of human life, the existence of all other biologically active organisms. Its protection, rational use of natural resources, ensuring environmental safety is, first of all, a condition of life itself. In order to protect the environment, Ukraine should implement an environmental policy aimed at preserving the environment safe for the existence of living and non-living nature; protecting the life and health of the population from the negative impact caused by environmental pollution; achieving harmonious interaction between society and nature; protection, rational use and reproduction of natural resources.

Public inspectors, monitoring the observance of environmental legislation by detecting violations, taking measures to punish offenders, carry out useful work for the society − they are fighting for the preservation of their native land, rational use of natural resources.

The legal status of the public environmental inspector requires further improvement by expanding the rights and duties of the public inspector and defining the scope of his/her responsibility. Increasing the level of legal training of public inspectors is a prerequisite for effective environmental control.

References

1. Громадський екологічний контроль : посіб. для громадських інспекторів з охорони довкілля / С.В. Берзіна, В.Є. Борейко, Г.С. Бузан. К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 150 с.
2. Головкін О.В. Екологічний контроль та нагляд в Україні : монографія. Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня Рута», 2014. 440 с.
3. Головкін О.В. Організаційно-правові засади державного контролю і нагляду у галузі охорони довкілля України : монографія. Кам'янець-Подільський : ПП «Видавництво «ОІЮМ», 2011. 424 с.
4. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25 червня 1991 року № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text (дата звернення 04.11.2022).
5. Конституція України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text (дата звернення 04.11.2022).
6. Про Державну екологічну інспекцію України : Постанова Кабінету Міністрів України від 19.04.2017 № 275. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/275-2017-%D0%BF#Text (дата звернення 05.11.2022).
7. Про громадських інспекторів з охорони довкілля : наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 27.02.2022 № 88, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 20.03.2022 за № 276/6564. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0276-02#Text (дата звернення 05.11.2022).
8. Федоровська О.Б. Правове забезпечення громадського екологічного контролю в Україні : автореф. дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.06. Київ, 2007. С. 4.
9. Федоровська О.Б. Діяльність громадських інспекторів з охорони довкілля: проблеми правового регулювання. *Держава і право*. Вип. 31. 2006. С. 367–373.
10. Федоровська О.Б. Право на екологічну інформацію. *Юридична Україна.* 2003. № 7. С. 40–43.
11. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України : веб-сайт. URL: https://mepr.gov.ua/ (дата звернення 12.11.2022).
12. Гладун З.С. Державна політика охорони здоров'я в Україні (адміністративно-правові проблеми формування і реалізації) : монографія. Тернопіль : Економічна думка, 2005. 460 с.
13. Костров М.М., Бондар О.І., Солодкий В.Д. Помічник екологічного інспектора. Київ : Державна екологічна академія, 2009. 192 с.
14. Стеценко С.Г. Адміністративне право України : навч. посіб. Вид. 3-тє, переробл. та допов. К. : Атіка, 2011. 624 с.
15. Державна екологічна інспекція України: веб-сайт. URL: https://www.dei.gov.ua/posts?category_id=54&post_type_id=2 (дата звернення 12.11.2022).

УДК 614.8+656.7
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.34

ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ІННОВАЦІЇ ПОЖЕЖОГАСІННЯ З ПОВІТРЯ В КРАЇНАХ ЄВРОПИ: ІСТОРІЯ ТА СУЧАСНІСТЬ

Машков О.А.[1], **Абідов С.Т.**[1], **Мосов С.П.**[2], **Чубіна Т.Д.**[3]
[1]Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
[2]Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
вул. Вишгородська, 21, 04074, м. Київ
[3]Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
вул. Онопрієнка, 8, 18034, м. Черкаси
dei2005@ukr.net, gurman63@ukr.net, chubina@ukr.net

Вивчені технічні особливості пожежогасіння з повітря та інновації в авіаційному пожежогасінні в країнах Європи, що актуально на сьогодні для України в умовах її євроінтеграційного процесу, а також для забезпечення ефективності спільних міжнародних дій під час гасіння пожеж в природних екосистемах та для подальшого розвитку пожежогасіння з повітря на теренах нашої країні.

На підставі результатів проведених досліджень проаналізовані окремі історичні аспекти пожежогасіння з повітря в Європі, що дозволяє зробити висновки щодо динаміки розвитку авіаційного пожежогасіння в європейських країнах. Це зумовлено різними чинниками, зокрема, збільшення об'ємів спалювання вугілля, нафти та природного газу; зміна клімату; природний фактор оновлення; поширення нових шкідників і захворювань, що створює причини для масового відмирання рослин та дерев; негативний людський фактор.

Зазначено, що на сучасному етапі актуальність і розвиток авіаційного пожежогасіння в Європі обумовлені щорічним зростанням пожеж в екосистемах, особливо в лісових.

Висвітлені технічні особливості пожежогасіння з повітря на прикладі низки країн Європи: Іспанії, Італії, Португалії, Швеції, Греції, Франції, Німеччини, Хорватії та Македонії. Акцентується увага на авіаційних технічних засобах пожежогасіння з повітря як пілотованих, так і безпілотних; на особливостях формування парків пожежної авіації; на окремих питаннях організації та спільних дій пожежної авіації декількох країн під час гасіння пожеж у лісових екосистемах, де масштабні пожежі завдають значної шкоди довкіллю.

Окреслені інновації, що реалізовані та реалізовуються в європейських країнах з метою підвищення ефективності гасіння пожеж у природних екосистемах.

Підсумки проведених досліджень дозволяють зробити такі висновки: зростання кількості пожеж в екосистемах, особливо в лісових, за останні кілька років внаслідок дії багатьох факторів змусило європейські країни нарощувати власні парки пожежних повітряних суден як пілотованих, так і безпілотних, а також створення загальноєвропейського механізму колективної допомоги rescEU під час виникнення складних ситуацій, пов'язаних з ліквідацією масштабних пожеж в Європі.
Ключові слова: авіація, екологічна безпека, екосистема, інноваційний підхід, моніторинг, пожежа, пожежогасіння з повітря.

Environmental features and innovations of aerial fire extinguishing in European countries: history and present. Mashkov O., Abidov S., Mosov S., Chubina T.

The article examines the technical features of aerial firefighting and innovations in aviation firefighting in European countries on a systemic basis. This is currently relevant for Ukraine in terms of its European integration process, as well as to ensure the effectiveness of possible joint international actions when extinguishing fires in natural ecosystems. It is also important for the further development of aerial firefighting on the territory of our country.

The purpose of the work was to determine the technical features and innovations of aerial firefighting in European countries.

Based on the results of the research, some historical aspects of aerial firefighting in Europe were analyzed, which allows us to draw conclusions about the dynamics of the development of aviation firefighting in European countries. It is shown that at the current stage, the relevance and development of aviation firefighting in Europe is due to the annual increase in fires in ecosystems, especially forest ones. This is due to various reasons: increasing volumes of burning coal, oil and natural gas; climate change; natural renewal factor; the spread of new pests and diseases, which creates reasons for the mass death of plants and trees; negative human factor.

An analysis of the technical features of aerial firefighting was carried out on the example of a number of European countries: Spain, Italy, Portugal, Sweden, Greece, France, Germany, Croatia and Macedonia. Attention is focused on aviation technical means of firefighting from the air, both manned and unmanned; on approaches to the formation of firefighting aviation fleets; on separate issues of the organization and joint actions of the firefighting aviation of several countries in the course of extinguishing fires in forest ecosystems, where fires are large-scale and cause irreparable damage to nature and countries.

Innovations implemented and implemented in European countries with the aim of increasing the efficiency of fire extinguishing in natural ecosystems and, first of all, in forest ecosystems, were studied.

The results of the conducted research allow us to draw the following conclusions: the increase in the number of fires in ecosystems, especially forest ones, over the past few years due to the action of many factors has forced European countries to think about building up

their own fleets of firefighting aircraft, both manned and unmanned, as well as the creation of a pan-European mechanism of collective rescEU assistance in case of difficult situations related to the elimination of large-scale fires in Europe.

Research into technical features and innovations in aviation firefighting in the countries of the Asia-Pacific region and the countries of the American continent should be considered as directions for further research. *Key words:* aviation, environmental safety, ecosystem, innovative approach, monitoring, fire, aerial firefighting.

Щорічно пожежі в природних та штучних екосистемах в Україні завдають значних збитків навколишньому природному середовищу та державі [1]. Їх найбільша кількість, за статистикою, припадає на весняно-літній період, особливо на вихідні та святкові дні, коли на територію природних екосистем виїжджає значна кількість людей на відпочинок, що призводить до зростання кількості джерел загоряння внаслідок людської необережності, а також ігнорування та порушення правил поведінки з вогнем.

Гасіння пожеж у таких екосистемах як ліс завжди є складним завданням. На жаль, їхня кількість у нашій країні не зменшується, а для їхньої ліквідації залучаються значні ресурси, у тому числі й пожежної авіації.

Постановка проблеми. Зміна клімату і підвищення температури повітря, що спостерігаються на нашій планеті, створюють великі загрози щодо виникнення чисельних лісових пожеж. Вчені-кліматологи зазначають, що на зміну клімату на планеті впливають, як наслідок, спалювання вугілля, нафти та природного газу. Це призводить до виникнення екстремальних явищ, таких як теплові хвилі, посуха, лісові пожежі, повені та урагани. Іншим фактором вважається природна основа виникнення пожеж у лісових екосистемах для їхнього відновлення. Ще одним фактором дослідники вважають поширення нових шкідників і захворювань, що негативно діють на рослинний світ та дерева. Як наслідок, це призводить до збільшення кількості секторів мертвої деревини, що є добрим паливом для будь-яких пожеж в лісових екосистемах. Особливо небезпечним і штучним фактором є людський – значна кількість навмисних підпалів.

Такі проблеми зумовлюють пошук шляхів і засобів ефективної боротьби з пожежами в природних екосистемах. Одним з ефективних напрямків є пожежогасіння з повітря. Підтвердженням перспективності розвитку пожежогасіння з повітря в усьому світі є зарубіжні дослідження глобального ринку авіаційного пожежогасіння. За даними таких досліджень, що були проведенні у 2019 році, глобальний ринок авіаційного пожежогасіння оцінювався на рівні 8 450,1 млн дол. США. Згідно прогнозів до 2027 року він може досягти 12 553,18 млн. дол. США при середньому темпі зростання на 5,18% до 2027 року. На ринку пожежогасіння з повітря спостерігається значне зростання запиту на спеціалізовані гелікоптери та літаки для гасіння пожеж через їхнє активне та ефективне використання [2].

Україна, реалізуючи євроінтеграційні процеси, має вивчати, перш за все, європейський досвід пожежогасіння з повітря для забезпечення ефективності можливих спільних міжнародних дій під час гасіння пожеж в природних екосистемах, а також для подальшого розвитку пожежогасіння з повітря на теренах країн в загальноєвропейському суспільстві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням досвіду пожежогасіння з повітря на європейському просторі присвячена низка праць. Деякі питання застосування пожежної авіації в Європі, США та Канаді висвітлив А. Уорнс у статті «Aerial firefighters» [3]. Увага автора зосереджена на авіаційних засобах і компаніях, що їх обслуговують.

Загальні історичні аспекти авіаційного гасіння природних пожеж та їхнього технічного забезпечення, деякі перспективні напрямки розвитку, у тому числі в Європі, висвітлені Брюхановим А. В і М. А. Коршуновим в [4].

Особливості пожежогасіння з повітря в Греції та проблемні питання відображені в статті П. Берга «Aerial firefighting in Greece» [5]. Автор звертає увагу на важливості авіаційного пожежогасіння в лісових екосистемах з позиції ефективності та оперативності застосування пожежної авіації.

Інноваційні підходи до авіаційного пожежогасіння наведені в публікації «What are the latest innov ations in wildland firefighting?» [6]. В якості пропозицій розглянуто: активне використання програмного забезпечення для збирання та оперативного оброблення значного обсягу інформації про стан природних екосистем; використання даних супутникового спостереження і гасіння пожеж в нічний час.

М. Лэнгфилд у статті «Aerial firefighting resourc es in Europe» [7] викладена інформація щодо авіаційних засобів пожежогасіння в Європі на прикладі низки країн: Іспанії, Італії, Ізраїлю, Греції, Франції та Португалії. За висновками авторки, авіаційні засоби є ключом до успіху в питаннях гасіння пожеж.

Окремі особливості європейського парку пожежних літаків та актуальні питання сезону лісових пожеж у 2021 році висвітлені в публікації «Europ ean aircraft fleet for the 2021 forest fire season» [8]. Акцентується увага на тому, що ЄС забезпечує скоординований підхід до профілактики, підготовки та реагування на лісові пожежі, коли вони перевищують національні можливості реагування.

У публікації «EU sets up fleet to combat forest fires» [9] окреслені окремі питання інноваційних рішень ЄС щодо створення на його теренах парку пожежних авіаційних засобів для спільної боротьби з лісовими пожежами, що обумовлено щорічним зростанням кількості таких пожеж і складністю боротьби з ними з використанням потенціалу тільки

однієї країни ЄС У статті Д. Екселла «Wildfire warriors: the latest developments in aerial firefighting technology» [10] акцентується увага на розробках у сфері авіаційних технологій пожежогасіння – від застосування безпілотних літальних апаратів до систем моделювання з використанням «штучного інтелекту», що має забезпечити, на думку автора, оперативність та ефективність пожежогасіння з повітря.

Знакових праць і публікацій Українських авторів щодо європейського досвіду в сфері авіаційного пожежогасіння практично не має. Ця проблема ще не стала предметом широкого вивчення. Разом з тим наша країна активно рухається у напрямку ЄС.

Так, в публікації «Пропозиції розвитку пожежної авіації України» [11] аналізується ситуація з пожежною авіацією в Україні та надаються пропозиції щодо створення важкого пожежного літака для України, а також міжнародної організації пожежної авіації за участю України. Навіть була пропозиція МВС України щодо створення європейського хаба авіаційної безпеки [11], що обумовлено проблемами пожеж в екосистемах. Слід зазначити, що мова йде, скоріше за все, не про авіахаб, а про авіапул за участю України за напрямком авіаційного пожежогасіння. Такий варіант вже реалізований у межах ЄС – Європейський пул цивільного захисту (rescEU) [12].

Проведений аналіз наведених вище джерел зумовлює зробити висновок про відсутність системних досліджень в Україні європейського досвіду щодо пожежогасіння з повітря, а також технічних особливостей пожежогасіння із застосуванням авіаційних засобів та інновацій в авіаційному пожежогасінні, що є актуальним як для ДСНС, так і країни в цілому.

Мета статті. Визначити технічні особливості та інновації пожежогасіння з повітря в країнах Європи.

Викладення основного матеріалу. Гасіння пожеж з повітря лісових пожеж започаткувалося у перших декадах минулого століття. Це була перша спроба використання авіації для виявлення пожеж, що відбулося у США в 1916 році. Тоді літаки мали невелику вантажопідйомність ((у декілька сотень літрів води), що обмежувало їхнє застосування для ефективного гасіння пожеж. Разом з тим, сама ідея пожежогасіння з повітря на той час була визнана досить перспективною. Першою країною у світі, де відбулося скидання вогнегасних речовин з повітря на місце пожежі, став СРСР, тим самим відкривши у 1933 році світову епоху авіаційного пожежогасіння.

У країнах Західної та Центральної Європи професійне гасіння лісових пожеж з повітря почалося пізніше, ніж в США і СРСР, десь у 70-х роках минулого століття, а у 60-х роках воно мало переважно експериментальний характер, при цьому авіаційні засоби головним чином використовувалися не з метою гасіння пожеж, а для моніторингу і виконання низки транспортних завдань [4].

На теперішній час значимість авіаційного пожежогасіння в екосистемах як природних, так і штучних, для країн Європи складно переоцінити. В Європі щороку виконуються понад 816 тис. рятувальних операцій, а ресурси, необхідні для гасіння пожеж, настільки ж різноманітні, як і ландшафт. При цьому слід зазначити, що деякі країни Європи, такі як Велика Британія, Німеччина, Греція, Швеція, Норвегія, Португалія, Іспанія, Фінляндія та Латвія, серед інших, мають ефективніші засоби пожежогасіння з повітря, однак більшість повітряних суден застаріли і потребують технологічного сервісу [7].

Постійно борються з пожежами в лісових екосистемах у спекотні періоди року, зокрема, такі країни: Греція, Іспанія і Португалія. Засуха стає дедалі частішою і сильнішою в південній Європі. Так склалося, що цей регіон піддається найбільшому ризику зміни клімату на континенті, а Португалія вважається країною, яка, порівняно з іншими європейськими країнами, найбільше страждає внаслідок лісових пожеж. Починаючи з 2018 року, тривалі засухи вплинули на життєздатність і стійкість лісів, сільськогосподарських угідь та інших відкритих ландшафтів Центральної та Північної Європи. Загальне масштабне висихання рослинного покриву, пов'язане з різким зниженням вологості ґрунту та рівня підземних вод, створили сприятливі умови для виникнення лісових пожеж [13].

За останні 20 років в Європі активно розширювали свої кордони міські екосистеми. На рівні ЄС площі, на яких переважають штучні землі, зросли на 3,2% [14], що, у свою чергу, характеризувалося паралельною втратою сільськогосподарських або природних земель, а також їхньою подальшою деградацією. Міська екосистема нараховує не так багато років у порівнянні з природними екосистемами, але пожеж в її межах відбувається набагато більше та частіше, ніж в природних, які можуть супроводжуватися складними і досить небезпечними негативними екологічними наслідками (аварія на Чорнобильській АЕС, 1986; аварія на АЕС у префектурі Фукусіма, 2011).

Пожежна авіація почала активно розвиватися в Європі наприкінці минулого століття та стала з часом невід'ємним інструментом для боротьби з вогнем переважно в лісових екосистемах. Кожна європейська країна має власний авіаційний парк, в якому є повітряні судна як цивільної, так і військової авіації, а також свої стандартні робочі процедури та способи дій.

Сучасне гасіння пожеж у лісових екосистемах із повітря в Європі розпочалося на початку 80-х років минулого століття, коли країни південної частини Європи цілеспрямовано виділили бюджетні кошти, щоб включити в систему пожежогасіння пілотовані літальні апарати та бортові екіпажі, спеціально підготовлені для співпраці з наземними підрозділами рятівників для забезпечення їхньої безпеки та більш ефективної роботи по гасінню лісових пожеж. Системи авіаційного пожежогасіння в цих краї-

нах базуються на державно-приватному партнерстві, фінансуються за рахунок державних коштів та управляються на основі відкритих тендерів [3].

В Іспанії гасінням пожеж з повітря на підставі договорів займаються фірми Babcock і Titan Aerial Firefighting. Роль Babcock у місіях пожежогасіння подвійна: надання тактичної інформації в режимі реального часу до передового командного пункту та гасіння пожеж з повітря. Babcock має авіаційний парк на умовах оренди в складі 75 одиниць пожежної авіації, включаючи вертольоти (Bell-412, S-64) і літаки (CL-215, CL-415 та ін.). До складу авіаційного парку Babcock входять також безпілотні літальні апарати (далі – БпЛА) для виконання функцій моніторингу та цілевказівки. Фірма Titan Aerial Firefighting працює в Іспанії власними пожежними літаками AT-802F, оснащеними спеціальною системою вогнезахисного розсіювання [3, 7, 15]. До загального складу сил авіаційного пожежогасіння входять іспанські військово-повітряні сили, які мають на своєму оснащенні протипожежні літаки-амфібії CL-215 і CL-415 [16].

Іспанська телекомунікаційна компанія Telefónica провела випробування БпЛА, орієнтованого на виявлення лісових пожеж на ранньому етапі. Розробка допоможе іспанській аварійній службі швидко відстежувати та запобігати виникненню небезпечних ситуацій, у тому числі пожеж [17]. Завдяки розробленій технології пожежі можна виявляти на ранній стадії, а важливу інформацію отримувати для ухвалення більш ефективних рішень, що дасть змогу своєчасно погасити пожежу на початковій стадії.

В Італії питаннями пожежогасіння опікується італійська пожежна служба. Babcock також, як і в Іспанії, виконує на території Італії на підставі договорів повний спектр завдань, пов'язаних з пожежогасінням з повітря, включаючи скидання води, перевезення пожежників, координацію місій та збирання відеоінформації в режимі реального часу для подальшої передачі до центрів управління та контролю [7].

За координацію операцій з авіаційного пожежогасіння в Італії відповідає Національний пожежний корпус, який оснащений сучасними гелікоптерами AW-139. Вони обладнані широким асортиментом засобів для пожежогасіння, у тому числі зовнішній підйомник і вантажний гачок з ківшом. До авіаційного парку зазначеного корпусу входять гелікоптери Bell-412 – для транспортування, рятування та гасіння пожеж і Bell-206 – для виконання функцій моніторингу та контролю, а також пілотовані літаки Piaggio P180 Avanti II – для підтримання гасіння пожеж з повітря.

Португалія – ще одна досить проблемна, з позиції лісових пожеж, країна, в якій Babcock також надає послуги з пожежогасіння з повітря. Літаки-амфібії AT-802F експлуатуються місцевою компанією Agro-Montia [7, 16]. За умов сильних лісових пожеж задіються військові літаки. У складі португальської пожежної авіації присутні літаки CL-215 і гелікоптери Ка-32А, AS-350B3 і Bell-212.

Шведське агентство з надзвичайних ситуацій реалізує можливості авіаційного пожежогасіння через фірму Saab на підставі укладання договорів. Saab для гасіння пожеж з повітря використовує пожежні літаки AT-802F [7, 18].

Ізраїльський повітряний пожежний підрозділ знаходиться в складі поліції та допомагає пожежним на землі виявляти та гасити пожежі. Пожежна ескадрилья оснащена літаками AT-802F і гелікоптерами H-125 та H-145 для пожежогасіння з повітря, а також гелікоптерами спостереження. Гелікоптери для гасіння пожежі використовують міцний і гнучкий протипожежний ківш Bambi Bucket для забору та доставки води до місця пожежогасіння. З моменту покупки літаків AT-802F, Ізраїль із пожежами справляється самостійно і навіть допомагає гасити іншим. Разом з тим, за необхідності, залучає пожежні літаки інших країн [7, 19].

Авіаційне гасіння пожеж у Греції виконує 359 ескадрилья повітряної підтримки державних служб. У складі ескадрильї є авіація для пожежогасіння: літаки PZL M.18 Dromader, CL-215, CL-415GR, CL-515 і гелікоптери Bell-47 та Bell-13H. До загального авіаційного парку пожежних повітряних суден входять також гелікоптер CH-47 Chinook зі складу грецького авіаційного корпусу і гелікоптери Super Pumas, що використовують ківш Bambi, зі складу грецького пожежного корпусу. Греція за потребою орендує пожежну авіацію в інших країнах. Розглядається питання про закупівлю у перспективі додатково літаків CL-515 [5, 7, 20]

Головне управління цивільної оборони та кризового управління Франція використовує спеціалізовану авіацію для гасіння пожеж з повітря. Повітряні судна мають на своєму борту напис Securite Civilial разом з міжнародним символом цивільної оборони. До парку пожежних літаків входять CL-415, Grumman S-2 Tracker, Dash-8 Q400 і Beechcraft King Air-200. Парк гелікоптерів, що використовуються для пожежогасіння, складається з гелікоптерів EC-145. Після пожежі в соборі Нотр-Дам, коли для оптимізації пожежогасіння були використані БпЛА DJI Matrice-210 і Mavic Pro, упроваджується практика подальшого використання безпілотників у ході ліквідації пожеж [7, 21].

Для пожежогасіння з повітря Німеччина використовує лише гелікоптери. З цією метою вони оснащені зовнішніми резервуарами для води різних розмірів. Менші гелікоптери, такі як вертольоти Airbus H-135, можуть транспортувати близько 500 літрів; більші моделі, такі як Airbus Super Puma, що експлуатуються федеральною поліцією Німеччини, або досить великий Sikorsky C-53, що експлуатуються німецькими збройними силами, мають ємності на 2 тис. л і 5 тис. л, відповідно [22, 23].

З появою в арсеналі різних пожежних команд Німеччини БпЛА DJI M210, вони почали виконувати

завдання моніторингу та спостереження з повітря місць подій. Безпілотники з використанням інтелектуальних функцій забезпечують отримання детальної та повної інформації з місця пожежі, а також допомагають командиру пожежного підрозділу та його підлеглим формувати і реалізовувати більш адекватний завданням оперативний план. БпЛА забезпечують координацію роботи всіх рятувальників і дозволяють за короткий час впоратися з вогнем [24].

У Хорватії в складі військово-повітряних сил є протипожежний авіаційний спеціалізований підрозділ, який має літаки АТ-802 у різних конфігураціях, CL-415 і CL-515, а також гелікоптери Ми-8, обладнані для гасіння пожеж спеціальними ківшами на 2,2 тис. л кожний. Парк авіаційного пожежогасіння був розширений за рахунок літаків АТ-802А Fire Boss з поплавковою компоновкою [25].

Літаки АТ-802А Fire Boss забезпечують виконання завдань авіаційного пожежогасіння і в Чорногорії в складі пожежного авіаційного підрозділу міністерства внутрішніх справ. Вони використовуються в межах країни, і, за необхідністю, у сусідніх балканських державах: Албанії, Боснії та Герцеговині, Хорватії, Македонії та Сербії. До пожежної авіації також належать літаки , гелікоптери Ми-8МТ, Bell-212 та Bell-412.

Македонія в своєму авіаційному парку має літаки АТ-802А Fire Boss. Вони ідеально підходять для македонського ландшафту, на якому розташовано багато озер. Македонський пожежний повітряний флот закріплений за авіаційним підрозділом Управління захисту та рятування. У його складі також гелікоптери Ми-8МТ і Ми-17 [26].

З 2001 року в Європейському Союзі працює механізм цивільного захисту, в межах якого всі країни світу можуть попросити у європейських держав допомоги у боротьбі з катастрофами. Країни-члени ЄС могли на такий запит надавати обладнання та персонал на добровільних засадах. Це призвело до того, що в деяких випадках запити взагалі залишалися без відповіді. Так, у 2017 році не було отримано жодної відповіді на шість з 17 запитів щодо надання допомоги у боротьбі з пожежами [9].

Щоб бути готовим до будь-яких великомасштабних пожеж, Європейська комісія у 2021 р. сформувала європейський парк з 11 пожежних літаків і 6 гелікоптерів, розміщених у державах-членах ЄС у межах нового механізму з надзвичайних ситуацій rescEU (rescue – рятувати з англ.). Перші повітряні судна до його складу надійшли від п’яти країн членів ЄС – Іспанії, Італії, Франції, Швеції та Хорватії [12].

Відповідно з модернізованим механізмом з надзвичайних ситуацій rescEU, країни, що входять до складу ЄС, а також треті країни, які потрапили в складні ситуації, мають право отримувати в своє розпорядження літаки, гелікоптери та іншу техніку, що надаються на довгостроковій основі. Таким чином можна запобігти повторенню катастроф, що мали місце раніше в зв’язку з масштабними пожежами в лісових екосистемах. А для того, щоб не виникало дефіциту техніки в тих країнах, що беруть участь у rescEU, Європейська комісія фінансує відповідні додаткові закупівлі. Вона сплачує зі свого бюджету до 90% вартості нових гелікоптерів і літаків, а також їхнє обслуговування. ЄС також бере на себе оплату 75% операційних і транспортних витрат [9].

Єврокомісія визначила керівні принципи для держав-членів ЄС щодо зміцнення своїх заходів з метою запобігання пожеж. У складі пула пожежної авіації rescEU знаходяться літаки та гелікоптери з шести країн-членів ЄС: 2 пожежних літаків з Хорватії; 2 пожежних літаків з Греції; 2 пожежних літаків з Італії; 2 пожежних літаків з Іспанії; 2 пожежних літаків і 6 пожежних гелікоптерів зі Швеції; а також один пожежний літак із Франції. ЄС забезпечує скоординований підхід до запобігання, підготовки та реагування на лісові пожежі, коли вони перевищують національні можливості щодо їх гасіння. Якщо допомога буде потрібна в надзвичайних ситуаціях, то пожежний флот rescEU втручається, щоб забезпечити додаткові можливості у боротьбі зі стихійними лихами в Європі, а супутникова картографічна служба ЄС Copernicus доповнює операції детальною видовою інформацією з космосу.

У найближчий перспективі повітряний флот rescEU буде розширено з оптимізацією його розміщення на території Європи. Для цього виділяється сума близько 200 млн. євро на рік. Авіаційний парк системи rescEU планується збільшити і повністю сформувати до 2025 року [9, 27].

Сучасному європейському пожежному флоту характерні інноваційні рішення. У цьому надзвичайно важливу роль відіграє четверта промислова революція, що виступає в якості технічної основи створення інфраструктури та необхідних операційних механізмів. Інновації відбуваються в сегменті авіаційної пожежної техніки, засобів пожежогасіння та системоутворюючих структур [28].

В Ізраїлі наприкінці 2019 року розробили інноваційну систему боротьби з лісовими пожежами HyDrop. Вона забезпечує високоточний комп’ютерний запуск невеликих пакетів з рідиною з гелікоптера або вантажного літака з висоти від 150 м до 600 м. Маса кожного з пакетів становить 140 г. Ідея полягає в тому, що пакети вибухнуть при ударі. Демонстраційні випробування нового засобу пожежогасіння були проведені під час конференції «Пожежогасіння з повітря» у Сакраменто, штат Каліфорнія (США). Рішення HyDrop може бути інтегровано на борту існуючих або майбутніх пожежних літаків, адаптованих для виконання завдань пожежогасіння з повітря [29].

Корисною інновацією в Європі є розробка на базі центру моделювання авіаційного пожежогасіння Vulcan нового рішення для моделювання пожежогасіння GeoSim з метою підготовки пілотів до непе-

редбачених ситуацій, що можуть виникати під час польоту на малих висотах у несприятливих кліматичних умовах. Для того, щоб пожежні та рятувальники добре підготувались до місії, мали ситуаційну обізнаність і ознайомилися з місцевістю до того, як вони почнуть працювати як єдина команда, центр моделювання Vulcan здатний забезпечувати підтримку спільних навчань [30].

Результати застосування безпілотної інновації в Німеччині підтвердили факт економії води під час гасіння пожежі в порівнянні з традиційним підходом. Використання БпЛА дозволяє зменшувати навантаження на персонал та знижує ризики для пожежних. При цьому рівень безпеки персоналу збільшується, а рівень стресу, навпаки, зменшується [24].

В Іспанії запропоновано в якості інновації використовувати БпЛА для попередження лісових пожеж. Система складається із сукупності спеціально облаштованих пожежних башт. Кожна з башт оснащена тепловізором, що здатний виявляти пожежу на відстані до 15 км. На кожній башті знаходиться БпЛА коптерного типу. З камери після виявлення місця вогню інформація автоматично передається в систему, після чого на це місце, де виявлена пожежа, в автоматичному режимі відправляється БпЛА для моніторингу за допомогою RGB-камери та тепловізора ситуації, що сталася, і надання видової інформації пожежним підрозділам у режимі реального часу для ухвалення рішення та вироблення плану дій в оперативному режимі щодо пожежогасіння. Перша башта була випробування у 2019 році.

Враховуючи досягнення Європи в сфері авіаційного пожежогасіння, варто звернути увагу на те, що наша країна під час виникнення масштабної пожежі в лісових екосистемах може скористатися можливостями пожежного повітряного флоту rescEU. Зважаючи на перспективи подальшого розвитку на теренах ЄС системи rescEU, кращим практичним шляхом для України буде приєднання до неї, що безумовно збільшить потужності нашого пожежного повітряного парку на перспективу та позитивно вплине на послідовні зусилля нашої країни до євроінтеграції

Висновки. Підбиваючи підсумок, слід наголосити, що зростання кількості пожеж в природних і штучних екосистемах, особливо в лісових, за останні кілька років внаслідок дії багатьох факторів, зумовило європейські країни вжити заходів щодо нарощування власних парків пожежних повітряних суден як пілотованих, так і безпілотних, а також створення загальноєвропейського механізму колективної допомоги rescEU на випадок виникнення складних ситуацій, пов'язаних з ліквідацією масштабних пожеж в Європі.

Перспективи подальших досліджень. Напрямками подальших досліджень слід вважати дослідження технічних особливостей та інновацій в авіаційному пожежогасінні країн азіатсько-тихоокеанського регіону та американського континенту.

Література

1. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2021 році. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/ zvit2021/ zvit2021-dns.pdf
2. Global Aviation Fire Suppression Systems Market Overview. URL: https://www.marketresearchintellect.com/product/global-aviation-fire-suppression-systems-market-size-and-forecast/
3. Warnes A. Aerial firefighters. URL: https://www.aerosociety.com/news/aerial-firefighters/
4. Брюханов А. В., Коршунов Н. А. Авиационное тушение природных пожаров: история, современное состояние, проблемы и перспективы. *Сибирский лесной журнал*. 2017. № 5. С. 37–54.
5. Berg P. Aerial firefighting in Greece. URL: https://www.airmedandrescue.com/latest/long-read/aerial-firefighting-greece
6. What are the latest innovations in wildland firefighting? URL: https://www.airmedandrescue.com/latest/long-read/what-are-latest-innovations-wildland-firefighting
7. Langfield M. Aerial firefighting resources in Europe. URL: https://www.airmedandrescue.com/latest/long-read/aerial-firefighting-resources-europe
8. European aircraft fleet for the 2021 forest fire season. URL: https://www.cde.ual.es/en/ european-aircraft-fleet-for-the-2021-forest-fire-season/
9. EU sets up fleet to combat forest fires. URL: https://www.dw.com/en/eu-sets-up-fleet-to-combat-forest-fires/a-49689721
10. Excell J. Wildfire warriors: the latest developments in aerial firefighting technology. URL: https://www.theengineer.co.uk/aerial-firefighting-technology/
11. Міністр внутрішніх справ анонсував створення європейського хаба авіаційної безпеки. URL: https://mvs.gov.ua/uk/press-center/news/ministr-vnutrisnix-sprav-anonsuvav-stvorennya-jevropeiskogo-xaba-aviaciinoyi-bezpeki
12. rescEU. URL: https://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/resceu_en
13. Aerial Firefighting Europe 2021: New Location, New Opportunities. URL: https://www.aerial-firefighting-europe.com/aerial-firefighting-news/aerial-firefighting-europe-2021-new-location-new-opportunities
14. Urban Ecosystems. URL: https://biodiversity.europa.eu/ecosystems/urban-ecosystems
15. Bullock C. Bell's aircraft play critical role in European firefighting missions. URL: https://www.airmedandrescue.com/latest/news/bells-aircraft-play-critical-role-european-firefighting-missions
16. Aircraft fight massive fires in Portugal. URL: https://www.airmedandrescue.com/ latest/news/aircraft-fight-massive-fires-portugal
17. Telefónica successful conducts pilot with drones based on IoT solutions for early fire detection. URL: https://www.telefonica.com/en/communication-room/telefonica-successful-conducts-pilot-with-drones-based-on-iot-solutions-for-early-fire-detection/

18. Saab supplying Sweden with firefighting capabilities. URL: https://news.cision.com/ saab/r/saab-supplying-sweden-with-firefighting-capabilities,c308027
19. Gabbert B. Israel adds to their air tanker fleet. URL: https://fireaviation.com/2015/01/ 08/israel-adds-to-their-air-tanker-fleet/
20. Greece under Fire. URL: https://aerialfiremag.com/2022/03/04/greece-under-fire/
21. Мосов С. Безпілотники – життєво важливий роботизований інструмент сучасності. *Пожежна та техногенна безпека*. 2021. № 6 . С. 12–15.
22. Gabbert B. Germany looks at acquiring more firefighting aircraft. URL: https://fireaviation.com/2018/09/18/germany-looks-at-acquiring-more-firefighting-aircraft/
23. German fire brigades call for military helicopters over wildfire risk. URL: https://www.dw.com/en/german-fire-brigades-call-for-military-helicopters-over-wildfire-risks/a-48467564
24. Использование дронов для мониторинга пожароопасных районов. URL: https://4vision.ru/articles/ispolzovanie-dronov-dlya-monitoringa-pozharoopasnykh-rayonov.html
25. Croatian Air Force – Firefighting. URL: https://aviatia.net/croatian-airforce-2-firefighting-and-transport/
26. Macedonia on Fire. URL: https://aerialfiremag.com/2021/11/01/macedonia-on-fire/
27. rescEU: EU establishes initial firefighting fleet for next forest fire season. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_2553
28. Мосов С. П. Інновації в авіаційному пожежогасінні: світовий ракурс. Матер. III міжнар. наук. конф. «Науковий простір: актуальні питання, досягнення та інновації» (13 травня 2022, м. Хмельницький). Хмельницький: МЦНД, 2022. С. 251–253.
29. Gabbert B. Fighting fire with bags of liquid. URL: https://fireaviation.com/2014/03/23/ fighting-fire-with-bags-of-liquid/
30. Euramec and GeoSim Team up with Vulcan, the Unique Aerial Firefighting Simulation Solution for Europe. URL: https://www.aviationturkey.com/en/content/euramec-and-geosim-team-up-with-vulcan-the-unique-aerial-firefighting-simulation-solution-for-europe-485
31. Романенко К. Дроны спасут Испанию от лесных пожаров. URL: http://dronography.ru/spain-forests

УДК 502:502.3/.7:504
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.35

ПРОБЛЕМИ БЛАГОУСТРОЮ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «ПАРТИЗАНСЬКА СЛАВА» ТА ШЛЯХИ ЇХ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Мовчан М.М., Іваненко І.Б., Матвієнко М.Г., Таран Є.О., Гандзюра В.П.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

Вивчені функціональні особливості, окреслені шляхи удосконалення діяльності та вжиття комплексних практичних заході на території регіонального ландшафтного парку «Партизанська слава», що є частиною урбанізованих ландшафтів Дарницького району в екологічній мережі міста Києва , створювався шляхом виокремлення території Дарницького лісу. Серед природних об'єктів парку – озера й ліс з флорою та фауною.

Його основне призначення – місце відпочинку мешканців столиці та туристів. Проте в парковій зоні є цінні природні комплекси та об'єкти, що потребують охорони. Отже, тут, певною мірою, спостерігається своєрідний конфлікт між раціональним природокористуванням та відпочинком. З огляду на це, за пропозицією адміністрації парку науковці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління здійснили комплексний аналіз діяльності, організованій на території парку «Партизанська слава», та запропонували територіальний розподіл на зони відповідно до функціонального призначення, зокрема: регульованої рекреації; стаціонарної рекреації; заповідної та господарської. Це дозволить вирішити кілька важливих завдань благоустрою – перш за все, виокремлення заповідної зони сприятиме збереженню природних комплексів, а також оселища видів тварин і рослин, які потребують охорони. А благоустрій стаціонарної та регульованої рекреації дасть змогу організувати комфортний відпочинок для відвідувачів, а також розв'язати проблеми поліпшення раціонального природокористування та рекреації, сприятиме ефективному збереженню оптимальних природних умов для представників флори та фауни парку. *Ключові слова:* регіональний ландшафтний парк «Партизанська слава», зона регульованої та стаціонарної рекреації, флора і фауна, господарська та заповідна зони, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Landscaping problems of the regional landscape park "Partyzanska Slava" and ways of solving them. Movchan M., Ivanenko I., Matviienko M., Taran Ye., Gandziura V.

The functional features are studied, the ways of improving activities and the implementation of comprehensive practical measures are outlined in the territory of the regional landscape park "Partyzanska Slava", which is part of the urbanized landscapes of the Darnytskyi district in the ecological network of the city of Kyiv. Its main purpose is a place of rest for residents of the capital and tourists. However, there are valuable natural complexes and objects in the park srea that need protection. So, here, to some extent, there is a kind of conflict between rational nature use and recreation. In view of this, at the suggestion of the park administration, scientists of the State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management carried out a comprehensive analysis of the activities organized on the territory of the Partizanska Slava park and proposed a territorial division into areas according to the functional purpose, in particular: regulated recreation; stationary recreation; protected and economic. This will allow solving several important improvement tasks – first of all, the designation of a protected area will contribute to the preservation of natural complexes, as well as the habitat of animal and plant species that need protection. And the improvement of stationary and regulated recreation will make it possible to organize a comfortable rest for visitors, as well as to solve the problems of improving the rational use of nature and recreation. *Key words:* regional landscape park "Partyzanska Slava", area of regulated recreation and stationary recreation, economic and protected areas, State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management.

Постановка проблеми. РЛП «Партизанська слава» є складовою екологічної мережі Києва. Територія парку розташована в урбанізованих ландшафтах Києва. Тут мешкають різновиди флори та фауни, зокрема й такі, що потребують охорони [Клопотання]. Разом з тим РЛП слугує зоною відпочинку для мешканців Києва. Проте територія парку розподілена між кількома землекористувачами, інтереси яких в окремих випадках не співпадають, що призводить до конфліктів, зокрема, й у питаннях адекватного природокористування. Поєднання різних видів діяльності на території парку вимагає раціонального розподілу активності з метою зручного користування, комфортного відпочинку, а головне – збереження особливо цінних комплексів та об'єктів. З огляду на це, виникла потреба ґрунтовного аналізу діяльності на території парку, визначення наявних проблем та розроблення шляхів їх розв'язання. Основною метою є організація території парку з розподілом на зони у відповідності до їх функціонального призначення, що дозволить оптимально поєднувати природоохоронну та рекреаційну функції парку.

Актуальність дослідження. Регіональний ландшафтний парк «Партизанська слава» знаходиться на території Дарницького району міста Києва серед забудови. Статус «РЛП» – це, перш за все, природоохоронна функція, котра полягає у збереженні цінних ландшафтів, а також представників флори та фауни. З іншого боку, парк виконує рекреаційну функцію, тому він є улюбленим місцем відпочинку відвідувачів. Поєднання двох зазначених функцій часто

супроводжується протиріччями, тому на часі – необхідність детального дослідження території парку та виокремлення існуючих проблем, розв'язання яких сприятиме раціональному природокористуванню та рекреації.

Мета роботи. Аналіз сучасного стану парку «Партизанська слава» передбачає вирішення таких завдань:

– узагальнити наявну інформацію про історію створення регіонального ландшафтного парку «Партизанська слава» та особливості планування його території, враховуючи його роль як об'єкта ПЗФ;

– виокремити основні проблеми, що загрожують природокористуванню, погіршують екологічний стан та спричиняють деградацію території парку;

– запропонувати рішення щодо відновлення й мінімізації наявних конфліктів природокористування для збалансування природоохоронного та рекреаційного напрямів використання території парку.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Питанням розвитку та збереження природно – заповідного фонду України, стану ландшафтно – паркових територій столиці присвячена ціла низка наукових праць та публікацій як науковців, так і громадських активістів екологічної сфери. У такому сегменті є вагомі здобутки й в науково-освітніх працівників Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління. Так, Микола Мовчан веде активну науково-дослідну діяльність у напрямку збереження та розвитку природно-заповідних територій та об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) [7]. Ігор Іваненко є автором та співавтором законів України з питань екологічної мережі, природно-заповідної справи, брав участь у розробленні понад 50 указів Президента України з питань утворення й розширення територій та об'єктів природно-заповідного фонду [3]. Марія Матвієнко – учасник низки проектів з екології та захисту довкілля. Євгеній Таран – експерт з питань біоресурсів кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності. Володимир Гандзюра – автор і керівник низки екологічних проектів.

Викладення основного матеріалу. Природно-заповідний фонд (ПЗФ) України є частиною світової системи природних територій та об'єктів, що знаходяться в особливому охоронному режимі [12]. Регіональні ландшафтні парки (РЛП)- це окрема категорію територій та об'єктів ПЗФ України. Одним з таких об'єктів ПЗФ є РЛП «Партизанська слава», розташований на Лівому березі Дніпра в Дарницькому районі міста Києва, організований в 1965 році за рахунок включення частини Микільського лісового масиву до меж Дарницького району. А статус парку для відпочинку було присвоєно рішенням за № 1155 від 17 липня 1972 року «Про організацію парку культури та відпочинку в Дарницькому районі м. Києва. Нині територіально парк обмежується вулицями Тростянецькою, Славгородською, Ташкентською, Хвильового та Староборисполькою (рис. 1) [9].



Рис. 1. Розташування та межі РЛП «Партизанська слава» на карті

Парк названий на честь партизанських загонів, що боролися з фашистськими загарбниками під час другої світової війни. В пам'ять героїчним вчинкам партизан у парку встановлено меморіал та музей партизанської слави [6].

Рішенням Київської міської ради від 17 лютого 1994 р. № 14 РЛП «Партизанська Слава» було оголошено на площі 115 га. Основний землекористувач КП УЗН Дарницького району міста Києва на території РЛП отримав державний акт на право постійного користування земельною ділянкою (серія ЯЯ № 385004) на площу 94,9875 га. Інші площі, що увійшли до складу РЛП, входять без вилучення в землекористувачів.

На території РЛП «Партизанська слава» розташовані три озера загальною площею 3,4 га, які згідно з рішенням Київської міської ради № 15/8185 від 06.02.2020 року отримали статус ландшафтного заказника місцевого значення «Червонохутірські озера» (рис. 2) [5].

Під час дослідження парку були виокремлені проблеми, що потребують розв'язання для поліпшення благоустрою території.

Парк має статус РЛП. Згідно з Законом України «Про природно-заповідний фонд України» (1992 р.) РЛП є природоохоронними, науково-дослідними установами місцевого значення, які створюються для збереження в природному стані типових або унікальних природних комплексів та об'єктів, а також забезпечення умов для організованого відпочинку населення. Відповідно до ст. 23 Закону України «Про природно-заповідний фонд України» головними завданнями РЛП є: збереження цінних природних та історико-культурних комплексів та об'єктів; створення умов для ефективного туризму, відпочинку та інших видів рекреаційної діяльності в природних умовах з дотриманням режиму охорони заповідних природних комплексів та об'єктів; сприяння екологічній освітньо-виховній роботі.

По визначенні чіткої структури землекористування території парку постає проблема виокремлення заповідної зони. Необхідність надання частині території парку особливого природоохоронного статусу зумовлена, перш за все, функціональним призначенням РЛП для збереження цінних видів тварин і рослин. Зокрема, в парку зафіксовано 33 види, занесені до Червоної книги України, 7 з яких належать до Європейського Червоного списку, а 2 види є ендеміками [2]. Зважаючи на це, на часі- виокремлення та створення закритого для відвідувачів режиму на тих ділянках парку, де мешкають види, які потребують охорони. Світова практика розв'язання проблеми передбачає оточення таких ділянок парканом та супроводження інформаційними табличками з зазначенням режиму території та представників флори та фауни, що підлягають охороні [10].

Оскільки, окрім природоохоронної функції, РЛП також слугує у рекреаційних цілях, парк



Рис. 2. Охоронний знак біля озера на території РЛП «Партизанська слава»

«Партизанська слава» потребує раціонального планування території з урахуванням рекреаційних потреб відвідувачів. Було виділено 63 рекреаційних об'єкти різної категорії на території парку (рис. 3): спортивні майданчики та поодинокі спортивні тренажери, дитячі майданчики, стаціонарні кафе, громадські вбиральні, атракціони тощо. До деяких об'єктів на території парку ведуть доріжки, покриті асфальтом або плиткою. Але переважна частина маршрутів представлена ґрунтовими стежками. Відсутність організованих маршрутів на території парку, з одного боку, становить проблему для зручного переміщення відвідувачів, а з іншого боку – представляє загрозу для ландшафтів, оскільки пошкоджується трав'яний покрив. Розв'язання даної проблеми, перш за все, вимагає розрахунку рекреаційної ємності території у відповідності до рекреаційного навантаження [1], після чого необхідний розподіл території парку на зони: господарської, стаціонарної і регульованої рекреації та заповідної.

Територія парку потребує відповідного благоустрою, прокладання організованих маршрутів з відповідним покриттям. Крім того, важливе значення має озеленення території парку, що передбачає не лише практичну функцію, а й естетичну, що слід враховувати під час планування благоустрою території [11].

Отже, з одного боку, завданням РЛП є збереження цінних природних та історико-культурних комплексів та об'єктів, а також еколого-просвітницька



Рис. 3. Зонування території РЛП «Партизанська слава» на карті: жовтогарячий – зона регульованої рекреації; жовтий – зона стаціонарної рекреації; синій – господарська зона; червоний – заповідна зона.

роль, а з іншого – парк як рекреаційна зона передбачає створення умов для ефективного відпочинку та інших видів рекреаційної діяльності. Кінцевою метою благоустрою території РЛП «Партизанська слава» є збереження природного середовища в мегаполісі, а також створення оптимальних умов для відпочинку відвідувачів, що вимагає наукового обґрунтованого підходу до розподілу території на різні зони у відповідності до їх функціонального призначення. Для цього необхідно впорядкування землекористувачів та офіційне закріплення їх статусу, який чітко регламентує площу території та режим землекористування з накладанням природоохоронних зобов'язань, подальша організація території за функціональним призначенням та облаштування відповідного благоустрою.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження науковців ДЕА будуть внесені до «Проєкту організації регіонального ландшафтного парку «Партизанська слава», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів та об'єктів». Виконання запропонованих заходів у межах Проєкту дозволить ефективно вирішити питання благоустрою РЛП «Партизанська слава». Перш за все, парк, як об'єкт ПЗФ, зможе оптимально виконувати функції по збереженню унікальних ландшафтів, флори та фауни. Територія парку стане комфортним місцем для відпочинку відвідувачів.

Література

1. Голуб А.А. Методика оцінки рекреаційної ємності територій національних природних парків. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. № 53. С. 69–79.
2. Дмитрук О.Ю., Денисова Д.О. Особливості організації екотуристичної діяльності в пару Партизанської слави міста Києва. *Конструктивна географія та раціональне використання природних ресурсів:* Наук. зб. / Ред. кол.: Я.Б. Олійник (відп. ред.) та ін. К.: Екотур-інфо, 2012. Вип. 1. С. 3–11.
3. Іваненко Ігор Борисович. URL: http://dea.edu.ua/prorektor_z_innovaciinogo_ta_tehnologichnogo_rozvitku
4. Клопотання про створення заказника місцевого значення «Червонохуторські озера» № 313/2019-1 від 09.09.2019. Громадська організація «Українська природоохоронна група».

5. Ландшафтний заказник місцевого значення «Червонохуторські озера». URL: https://cbsdarniza.kiev.ua/landshaftnyy-zakaznyk-mistsevoho-znachennia-chervonokhutorski-ozera/
6. Мельнійчук М. М., Безсмертнюк Т.П. Використання регіональних ландшафтних парків України в рекреації та туризмі. *Географічна освіта і наука Черкащини : ретроспектива, сучасні проблеми і перспективи розвитку*: наук. збір. м. Умань, 8 жовтня 2015 р. Умань: ВПЦ «Візаві», 2015. С. 75–78.
7. Мовчан Микола Михайлович. URL: https://dea.edu.ua/kafedra_zapovidnoi_spravi
8. Про природно-заповідний фонд України: за станом на 09.05.2015 / Верховна Рада України. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2456-12
9. Регіональний ландшафтний парк «Партизанська слава». URL: https://cbsdarniza.kiev.ua/pryrodno-zapovidnyy-fond-darnytsi/parky
10. Allbrook D.L., Quinn J.L. The effectiveness of regulatory signs in controlling human behaviour and Northern gannet (Morus bassanus) disturbance during breeding: an experimental test. *J. Nat. Conserv*. 2020 Dec;58:125915. DOI: 10.1016/j.jnc.2020.125915. Epub 2020 Oct 9. PMID: 33071716; PMCID: PMC7546240
11. Haas W., Hassink J., Stuiver M. The Role of Urban Green Space in Promoting Inclusion: Experiences From the Netherlands. *Front. Environ. Sci*., 22 July 2021. Sec. Land Use Dynamics. DOI: https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.618198
12. Vasyliuk O. Functional classification of territories of nature reserve fund of Ukraine: historical forming and international aspect. *Proceedings of the National Museum of Natural History*. 2017. DOI: 10.15407/vnm.2017.15.105

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Абідов Султан Турсунович (Київ) – кандидат технічних наук, професор кафедри зеленої економіки та економіки природокористування, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Алексєєва Анна Олександрівна (Миколаїв) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

Андрєєв В'ячеслав Іванович (Миколаїв) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

Андрусяк Дмитро Васильович (Київ) – аспірант Інституту агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Безпальченко Віолета Михайлівна (Хмельницький) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет;

Бобро Олена Валеріївна (Одеса) – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри біології і охорони здоров'я, Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К.Д. Ушинського»;

Бойко Людмила Іванівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічник наук, старший науковий співробітник, в.о. директора, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Бойко Тарас Георгійович (Львів) – доктор технічних наук, професор кафедри інтелектуальної мехатроніки і роботики, Національний університет «Львівська політехніка»;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заслужений діяч науки і техніки України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Босюк Альона Сергіївна (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Бреус Денис Сергійович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Буркут Володимир Ігорович (Чернівці) – завідувач лабораторії кафедри екології та біомоніторингу, Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;

Венгер Олена Олексіївна (Хмельницький) – кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувачка кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, Херсонський національний технічний університет;

Вольвач Оксана Василівна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський державний екологічний університет;

Воровка Володимир Петрович (Запоріжжя) – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри екології, загальної біології та раціонального природокористування, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького;

Гаврюшенко Ганна Володимирівна (Полтава) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри хімії, географії та наук про Землю, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Гандзюра Володимир Петрович (Київ) – доктор біологічних наук, директор, Центр європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

Гафіяк Ольга Василівна (Ужгород) – аспірантка кафедри ентомології і збереження біорізноманіття, Ужгородський національний університет;

Герасимчук Олена Леонтіївна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент завідувач кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Гришко Світлана Вікторівна (Запоріжжя) – кандидат географічних наук, доцент, завідувач кафедри географії та туризму, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького;

Гунько Світлана Олександрівна (Кам'янське) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Дніпровський державний технічний університет;

Данильчук Олександр Вікторович (Кривий Ріг) – кандидат біологічник наук, молодший науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Дем'янюк Олена Сергіївна (Київ) – доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заступник директора з наукової роботи, Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Джумеля Ельвіра Анатоліївна (Львів) – доктор філософії, асистент кафедри програмного забезпечення, Інститут комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка»;

Дишель Галина Олександрівна (Одеса) – старший викладач кафедри біології і охорони здоров'я, Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К.Д. Ушинського»;

Євтушенко Ольга Тарасівна (Кропивницький) — кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Жук Аліна Володимирівна (Чернівці) – кандидат біологічних наук, докторант кафедри екології та біомоніторингу, Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;

Жулканич Борис Михайлович (Ужгород) – старший викладач кафедри фізичної географії і раціонального природокористування, Ужгородський національний університет;

Закорчевна Наталія Борисівна (Київ) – кандидат економічних наук, завідувачка кафедри водних екосистем і біоресурсів, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Зароченцева Оксана Дмитрівна (Чернівці) – кандидат біологічних наук, асистент кафедри екології та біомоніторингу, Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;

Іваненко Ігор Борисович (Київ) – кандидат хімічних наук, проректор з інноваційного та технологічного розвитку, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Іванов Євген Анатолійович (Львів) – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Іващенко Ірина Вікторівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Івкіна Єлизавета Сергіївна (Хмельницький) – студентка ІІ курсу факультету інтегрованих технологій та дизайну, Херсонський національний технічний університет;

Іщенко Олена Володимирівна (Київ) – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну;

Кагукіна Анастасія Максимівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Кирпичова Ірина Валентинівна (Полтава) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології та агрономії, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Клімкіна Ірина Іванівна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Клімкіна Ірина Іванівна (Дніпро) – кандитат біологічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Колосовська Валерія Валеріївна (Одеса) – кандидат географічних наук, асистент кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський державний екологічний університет;

Коляда Максим Костянтинович (Київ) – кандидат технічних наук, асистент кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну;

Корженевська Поліна Олександрівна (Дніпро) – молодший науковий співробітник Науково-дослідної лабораторії гідробіології, іхтіології та радіобіології, Науково-дослідний інститут біології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Костюкєвич Тетяна Костянтинівна (Одеса) – кандидат географічних наук, асистент кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський державний екологічний університет;

Котюк Людмила Анатоліївна (Житомир) – доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри екології, Поліський національний університет;

Красова Ольга Олександрівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Крилова Ірина Іванівна (Київ) – кандидат юридичних наук, доктор наук з державного управління, професор кафедри водних екосистем і біоресурсів, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Крисінська Діана Олександрівна (Миколаїв) – кандидат технічних наук, доцент (б.в.з.) кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

Кричевська Діана Анатоліївна (Львів) – кандидат географічних наук, доцент кафедри конструктивної географії та картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Кузик Ігор Романович (Тернопіль) – доктор філософії (PhD), асистент кафедри геоекології і методики навчання екологічних дисциплін, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Кузнєцов Сергій Іванович (Хмельницький) – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет;

Кульбач Маргарита Олександрівна (Дніпро) – студентка VI курсу, Навчально-науковий інститут природокористування Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Лопушанська Марія Романівна (Львів) – аспірантка кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Луньова Оксана Володимирівна (Житомир) – доктор технічних наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Маджд Світлана Михайлівна (Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри водних екосистем і біоресурсів, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Маренков Олег Миколайович (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент, проректор з наукової роботи, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Марченко Оксана Анатоліївна (Запоріжжя) – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економіки та готельно-ресторанного бізнесу, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького;

Матвієнко Марія Григорівна (Київ) – кандидат біологічних наук, заступник директора, Центр європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

Машков Олег Альбертович (Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Мовчан Микола Михайлович (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Моргулець Оксана Борисівна (Київ) – доктор економічних наук, професор, проректор з освітньої діяльності, Київський національний університет технологій та дизайну;

Мосов Сергій Петрович (Київ) – доктор військових наук, професор, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту;

Мудрак Олександр Васильович (Вінниця) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, природничих та математичних наук, Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»;

Мудрак Галина Василівна (Вінниця) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Мудрак Олександр Васильович (Вінниця) – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри екології, природничих та математичних наук, Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»;

Нестеренко Олег Станіславович (Дніпро) – аспірант кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Нечай Оксана Миколаївна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, завідувачка лабораторії екології відділу екології та природокористування, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії наук України;

Павленко Анатолій Олегович (Кривий Ріг) – провідний інженер відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Паславський Михайло Михайлович (Львів) – кандидат технічних наук, асистент кафедри інформаційних технологій, Національний лісотехнічний університет України;

Пелепчук Ольга Сергіївна (Одеса) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри теорії і методики фізичного виховання та спорту, Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К.Д. Ушинського»;

Питуляк Микола Васильович (Тернопіль) – кандидат географічних наук, доцент кафедри географії і методики її навчання, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Питуляк Мирослава Романівна (Тернопіль) – кандидат географічних наук, доцент кафедри географії і методики її навчання, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Пічура Віталій Іванович (Кропивницький) – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Плаван Вікторія Петрівна (Київ) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну;

Потравка Лариса Олександрівна (Кропивницький) – доктор економічних наук, професор, професор кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Рахметов Джамал Бахлул огли (Київ) – доктор сільськогосподарських наук, заступник директора з наукової роботи (інноваційний розвиток), Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України;

Руда Марія Віталіївна (Львів) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка»;

Рутта Олена Валеріївна (Кропивницький) – асистент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Самойленко Влада Олексіївна (Київ) – магістр кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Семенченко Оксана Олександрівна (Хмельницький) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет;

Сербінов Богдан Миколайович (Одеса) – магістр зі спеціальності 103 «Науки про Землю», Одеський державний екологічний університет;

Серебряков Валентин Валентинович (Вінниця) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології, природничих та математичних наук, Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»;

Сидоренко Олена Олександрівна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу екології та природокористування, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії наук України;

Случак Олександр Ігорович (Миколаїв) – молодший науковий співробітник, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

Случак Олена Ігорівна (Миколаїв) – аспірантка кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

Сопов Дмитро Сергійович (Полтава) – доктор філософії з наук про Землю, в. о. завідувача кафедри хімії, географії та наук про Землю, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Сосновський Костянтин Сергійович (Чернівці) – магістрант, фахівець науково-дослідної частини кафедри екології та біомоніторингу, Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;

Сталінська Ірина Вікторівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Стецько Надія Петрівна (Тернопіль) – кандидат географічних наук, доцент кафедри геоекології і методики навчання екологічних дисциплін, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Таран Євгеній Олександрович (Київ) – експерт з питань біоресурсів кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Теслович Мар'яна Вікторівна (Львів) – аспірант кафедри конструктивної географії та картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Трохимчук Ірина Михайлівна (Рівне) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри біології, здоров'я людини та фізичної терапії, Рівненський державний гуманітарний університет;

Тураєва Ольга Володимирівна (Київ) – науковий співробітник лабораторії екології відділу екології і природокористування, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії наук України;

Фалько Віра Володимирівна (Суми) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та природозахисних технологій, Сумський державний університет;

Феденко Юрій Миколайович (Київ) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Федоряк Марія Михайлівна (Чернівці) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та біомоніторингу, Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;

Хаєцький Григорій Сильвестрович (Вінниця) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології, природничих та математичних наук, Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»;

Хом'як Наталія Василівна (Тернопіль) – магістрантка географічного факультету, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Цвєтова Олена Вікторівна (Київ) – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник лабораторії екології відділу екології і природокористування, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії наук України;

Чубіна Тетяна Дмитрівна (Черкаси) – доктор історичних наук, професор, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України;

Шестопалов Олексій Валерійович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Шило Дарина Олегівна (Дніпро) – студентка V курсу магістратури, Навчально-науковий інститут природокористування Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Шкута Світлана Іванівна (Кривий Ріг) – провідний інженер відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Шоль Галина Назарівна (Кривий Ріг) – науковий співробітник відділу природної та культурної флори, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Шпак Ярослав Васильович (Чернівці) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник кафедри екології та біомоніторингу, Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;

Юхименко Юлія Станіславівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічник наук, науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Яцентюк Юрій Васильович (Вінниця) – доктор географічних наук, професор, професор кафедри географії, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського;

Яцюк Михайло Васильович (Київ) – кандидат географічних наук, директор, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії наук України.

НОТАТКИ

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

6(45)

- ***Екологічна безпека***
- ***Біологічна безпека***
- ***Екологічний моніторинг***
- ***Екологія будівництва***
- ***Екологія водних ресурсів***
- ***Екологія земельних ресурсів***
- ***Екологія і виробництво***
- ***Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття***
- ***Зміна клімату***
- ***Поводження з відходами***
- ***Природно-заповідний фонд України***
- ***Екологічна освіта***

Адреса редакції:
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел. +380 99 428 67 00;
www.ecoj.dea.kiev.ua
e-mail: info@ecoj.dea.kiev.ua

Видавничий дім «Гельветика»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.
Україна, 65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел. +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua

Підписано до друку 27.12.2022. Формат 64x84/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 25,58. Тираж 100. Замовлення № 0123/028.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета