

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

**1(46)**

---

---



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2023

**Екологічні науки** : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :  
Видавничий дім «Гельветика», 2023. – № 1(46). – 210 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)*

---

---

## ЗМІСТ

---

---

<b>БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА</b> .....	7
<b>Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Ємець А.В., Піциль А.О.</b> Геоінформаційні моделі якості питної води сільських селітебних територій.....	7
<b>ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА</b> .....	12
<b>Ковальчук В.В., Близнюк К.П.</b> Використання інженерної і комп'ютерної графіки при підготовці фахівців з екології транспортної інфраструктури.....	12
<b>Radomska M.M.</b> Building climate change resilience through the university education.....	16
<b>ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ</b> .....	21
<b>Шевченко Р.Ю.</b> Захист національних геопросторових екологічних даних України під час воєнного стану та повоєнного устрою.....	21
<b>ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ</b> .....	26
<b>Андрєєв В.І., Случак О.І., Случак О.І., Алексєєва А.О., Крисінська Д.О.</b> Розробка методики моделювання стану водної екосистеми на основі методів екологічної стехіометрії з урахуванням енергетичного підходу.....	26
<b>Магась Н.І.</b> Оцінка рівня екологічної безпеки поверхневих вод річки Південний Буг як джерела питного водопостачання у Миколаївській області.....	37
<b>Халтурин М.Б., Шевченко П.Г., Сондак В.В., Климковецький А.А.</b> Дослідження гідрохімічного стану та якості води Щербаківського водосховища (р. Рось) та деяких водосховищ на р. Роставиця.....	43
<b>Хом'як І.В., Онищук І.П., Медвідь О.В.</b> Зміна вектора динаміки автогенної сукцесії екосистем під впливом скиду зворотних вод.....	49
<b>Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Гандзюра В.П., Алпатова О.М., Демчук Л.І., Хом'як І.В., Вовк В.М.</b> Гідрохімічний статус пост-мілітарних водних екосистем с. Мощун, Київської області.....	53
<b>Яковлев В.В., Цифра Ю.М., Дмитренко Т.В.</b> Удосконалення конструкцій каптажів децентралізованого водопостачання в сучасних екологічних умовах.....	59
<b>ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО</b> .....	64
<b>Glozyn N.M., Pavliv O.V.</b> Ecological aspects of the analysis of the activity of the organic form enterprise of the Eastern Opillia.....	64
<b>Горобей М.С.</b> Дослідження впливу криптоактивів на основі технології блокчейн на навколишнє середовище.....	70
<b>Кордуба І.Б., Патлашенко Ж.І.</b> Перспективи технологічного поліпшення ядерно-екологічної безпеки та ефективності ядерної енергетики.....	75
<b>Kuznietsov S., Venher O., Semenchenko O., Bezpalchenko V., Ivkina E.</b> Mechanical self-cleaning dust collector.....	80
<b>Трохименко Г.Г., Недорода В.М.</b> Аналіз деструктивного потенціалу мікроорганізмів роду bacillus у комбінації з фульвокислотами для ризодеградації нафтових вуглеводнів.....	85
<b>Яремчук О.М., Яремчук Б.О.</b> Застосування детектору витoku побутового газу для моніторингу повітря.....	92
<b>ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ</b> .....	98
<b>Бондар О.Б.</b> Типологічна структура експлуатаційних лісів Кременецького району Тернопільської області.....	98
<b>ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ</b> .....	102
<b>Бессонова В.П., Чонгова А.С.</b> Морфометричні показники деревних рослин в індикації забруднення довкілля.....	102
<b>Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б.</b> Магнітне поле землі та геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину: екологічний аспект.....	109

<b>ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ</b> .....	119
<b>Зубцова І.В.</b> Морфометричні показники популяції <i>Saponaria officinalis</i> L. в умовах регіонального ландшафтного парку «Сеймський» (Сумська область, Україна).....	119
<b>Мякушко С.А.</b> Приспосувальні реакції популяції підземної полівки ( <i>Microtus subterraneus</i> ) до антропогенних змін середовища.....	125
<b>ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ ТА ҐРУНТИ</b> .....	132
<b>Богуславська Л.В.</b> Білкова система твірних тканин коренів кукурудзи ( <i>ZEA MAYS</i> L.) за дії іонів важких металів.....	132
<b>Василенко О.В., Балабак О.А., Балабак А.В., Нікітіна О.В., Гурський І.М.</b> Оцінка стану міських ґрунтів як засіб збереження екологічної стабільності урбоекосистеми.....	139
<b>Михайлюк В.І.</b> Агроекологічна контрастність ґрунтового покриву в умовах розосередженого поверхневого стоку.....	144
<b>Sopov D.S., Sopova N.V.</b> Constructive-geographical and environmental research of land resources: methodological principles.....	150
<b>Ткачук О.П., Врадій О.І.</b> Параметри кореневих систем бобових багаторічних трав як чинник впливу на агроекологічний стан ґрунту.....	153
<b>ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ</b> .....	162
<b>Byts O.V., Ivanenko I.M., Fedenko Yu.M.</b> Structure, properties, production and photocatalytic processes of titanium (IV) oxide.....	162
<b>Машков О.А., Абідов С.Т., Іващенко Т.Г., Оводенко Т.С., Печений В.Л.</b> Особливості екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень.....	168
<b>Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Гордій Н.М., Тютюнник О.С.</b> Емпіричний метод вимірювання ЕМР поля за допомогою приладу Multi-field EMf Meter TM-190.....	175
<b>ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ</b> .....	179
<b>Адашевський О.В.</b> Використання твердих відходів кондитерських фабрик при виробництві комбікормів як елемент сталого розвитку України.....	179
<b>Skuibida O.L.</b> Disposal of aluminum from end-of-life vehicles in Ukraine: analysis of legislative regulation.....	183
<b>ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ</b> .....	190
<b>Бойко Н.С., Калашнікова Л.В., Солошенко В.С., Дорошенко Ю.В.</b> Підсумки інвентаризації деревної рослинності колекційно-експозиційної ділянки «Фругіцетум» дендрологічного парку «Олександрія».....	190
<b>Шпак Н.П., Романчук О.П., Марківська Л.В., Дудник Г.Л.</b> Характеристика корінних дубових деревостанів у Національному природному парку «Кармелюкове Поділля».....	200
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ</b> .....	206

---

---

## CONTENTS

---

---

<b>BIOLOGICAL SAFETY</b> .....	7
<b>Valerko R., Herasimchuk L., Yemets A., Pitsil A.</b> Geoinformation models of drinking water quality of rural settlement areas.....	7
<b>ENVIRONMENTAL EDUCATION</b> .....	12
<b>Kovalchuk V., Blyznuk K.</b> Use of engineering and computer graphics in the educational training of specialists in the ecology of transport infrastructure. ....	12
<b>Radomska M.M.</b> Building climate change resilience through the university education.....	16
<b>ENVIRONMENTAL MONITORING</b> .....	21
<b>Shevchenko R.Y.</b> Protection of the National Geospatial Environmental Data of Ukraine during the marital status and the post-war regime.....	21
<b>ECOLOGY OF WATER RESOURCES</b> .....	26
<b>Andreev V., Sluchak O., Sluchak O., Alekseeva A., Krysinaka D.</b> Development of a methodology for modeling the state of the water ecosystem based on the methods of ecological stoichiometry, taking into account the energy approach.....	26
<b>Magas N.</b> Assessment of the ecological safety level of surface waters in the South Buh river as a source of drinking water supply in Mykolaiv region.....	37
<b>Khalturin M., Shevchenko P., Sondak V., Klymkovetskyi A.</b> Study of the hydrochemical state and water quality of the Shcherbakiv reservoir (Ros river) and some reservoirs on the Rostavytsya river.....	43
<b>Khomiak I., Onyshchuk I., Medvid O.</b> Change in the dynamics vector of autogenic succession of ecosystems under the influence of return water discharge.....	49
<b>Tsyganenko-Dzyubenko I.Yu., Ghandzyura V., Alpatova O., Demchuk L., Khomyak I., Vovk V.</b> Hydrochemical status of post-military water ecosystems of the village Moshchun, Kyiv region.....	53
<b>Yakovlev V., Tsyfra Yu., Dmytrenko T.</b> Improvement of groundwater tapping facilities of the decentralised water supply under current environmental conditions.....	59
<b>ECOLOGY AND PRODUCTION</b> .....	64
<b>Glovin N.M., Pavliv O.V.</b> Ecological aspects of the analysis of the activity of the organic form enterprise of the Eastern Opillia.....	64
<b>Gorobei M.</b> Study of the impact of cryptoassets based on blockchain technology on the environment.....	70
<b>Korduba I., Patlashenko Zh.</b> Prospects of technological enhancement nuclear environmental safety and efficiency of nuclear energy.....	75
<b>Kuznietsov S., Venher O., Semenchenko O., Bezpachenko V., Ivkina E.</b> Mechanical self-cleaning dust collector.....	80
<b>Trokhymenko G., Nedoroda V.</b> Potential analysis of <i>Bacillus</i> and fulvic acids combination for rhizodegradation of petroleum hydrocarbons.....	85
<b>Yaremchuk O., Yaremchuk B.</b> Application of a domestic gas leak detector for air monitoring.....	92
<b>ECOLOGY AND ECONOMICS OF NATURAL RESOURCE USE</b> .....	98
<b>Bondar O.</b> Typological structure of exploitation forests in Kremenets district, Ternopil region.....	98
<b>GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES</b> .....	102
<b>Bessonova V., Chonhova A.</b> Morphometric indicators of woody plants used for indicating of environmental pollution.....	102
<b>Ihnatyshyn V., Malyskyi D., Izsák T., Ihnatyshyn M., Ihnatyshyn A.</b> The Earth's magnetic field and geodynamic state of the Transcarpathian Inner Trough: ecological aspect.....	109

<b>PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY</b> .....	119
<b>Zubtsova I.</b> Morphometric parameters population of <i>Saponaria officinalis</i> L. in the regional landscape park «Seymskiy» (Sumy Region, Ukraine) .....	119
<b>Myakushko S.</b> Adaptive responses of the pine vole ( <i>Microtus subterraneus</i> ) population to anthropogenic environmental changes.....	125
<b>LAND RESOURCES AND SOILS</b> .....	132
<b>Bohuslavska L.</b> Protein system of formal tissue of maize roots ( <i>Zea mays</i> L.) under the action of heavy metal ions.....	132
<b>Vasylenko O. V., Balabak O. A., Balabak A. V., Nikitina O. V., Hurskiy I.M.</b> Defining the state of urban grounds as a means of preserving the ecological stability of an urban ecosystem.....	139
<b>Sopov D.S., Sopova N.V.</b> Constructive-geographical and environmental research of land resources: methodological principles.....	150
<b>Tkachuk O., Vradii O.</b> Parameters of the root systems of perennial legumes as a factor of influence on the agro-ecological condition of the soil.....	153
<b>INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF ENVIRONMENTAL PROTECTION</b> .....	162
<b>Byts O.V., Ivanenko I.M., Fedenko Yu.M.</b> Structure, properties, production and photocatalytic processes of titanium (IV) oxide.....	162
<b>Mashkov O., Abidov S., Ivashchenko T., Ovodenko T., Pechenyi V.</b> Prospects and problems of creating intelligent support systems for environmental decision-making.....	168
<b>Semernia O., Liubynskiy O., Fedorchuk I., Hordii N., Tiutiunnyk O.</b> Empirical methods of measuring environmental parameters.....	175
<b>WASTE MANAGEMENT</b> .....	179
<b>Adashevskiy O.</b> Confectionary factories solid waste using in compound feed production as element of Ukraine’s sustainable development.....	179
<b>Skuibida O.L.</b> Disposal of aluminum from end-of-life vehicles in Ukraine: analysis of legislative regulation.....	183
<b>THE UKRAINIAN NATURE RESERVE FUND</b> .....	190
<b>Boyko N., Kalashnikova L., Soloshenko V., Doroshenko Yu.</b> Results of the inventory of tree vegetation of the “Fruticetum” collection and exhibition area of the dendrological park “Olexandria”.....	190
<b>Shpak N., Romanchuk O., Markivska L., Dudnik G.</b> Characteristic of native oak forests of “Karmeliukove Podillia” National Nature Park.....	200
<b>AUTHORS’ CREDENTIALS</b> .....	206

---

---

# БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

---

---

УДК 628.1.033:626.22:628.161.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.1>

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ СІЛЬСЬКИХ СЕЛІТЕБНИХ ТЕРИТОРІЙ

Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Ємець А.В., Піциль А.О.

Поліський національний університет  
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир  
[valerko\\_ruslana@ukr.net](mailto:valerko_ruslana@ukr.net), [gerasim4uk@ukr.net](mailto:gerasim4uk@ukr.net),  
[anatoliy.yemets@gmail.com](mailto:anatoliy.yemets@gmail.com), [pitsil.uk@gmail.com](mailto:pitsil.uk@gmail.com)

Забезпечення безпечною та якісною питною водою мешканців сільських населених пунктів, які використовують власні колодязі, свердловини та природні джерела для господарсько-питного водопостачання, потребує комплексного підходу до оцінки якості питних підземних вод із використанням ГІС-технологій. Дослідження проходили у 129 населених пунктах 12-ти об'єднаних територіальних громад Житомирського району, де відбирались зразки питної води джерел нецентралізованого водопостачання із подальшим їх аналізуванням у вимірювальній лабораторії Поліського національного університету та створенням геоінформаційних моделей із застосуванням програмного пакету ArcGIS Pro. Об'єктом дослідження була питна вода джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів, а предметом – геоінформаційні моделі якості води.

Доведено, що середній рівень показнику рН в жодному досліджуваному населеному пункті не виходив за межі нормативу. Максимальна межа показнику рН на рівні 12,5 була виявлена у колодязній воді с. Некраші Оліївської громади. Середня концентрація нітратів у питній воді з нецентралізованих вододжерел перевищувала норматив у 1,4–3,5 рази, зокрема у воді Пулинської, Черняхівської, Вільшанської, Волицької та Оліївської громад зафіксовано перевищення ліміту більше двох ГДК, а максимальний їх вміст на рівні 660 мг/дм<sup>3</sup> зафіксовано у колодязній воді с. Вереси Житомирської громади. Середній рівень заліза загального не перевищував установленого нормативу і лише у сільських населених пунктах Любарської громади зафіксовано середній вміст заліза загального, що перевищував норматив понад 1,9 рази.

Отримані результати досліджень та створені на їх базі моделі можуть бути використані органами самоврядування досліджуваних громад для інформування населення щодо якості питної води та розроблення Плану покращення стану питного водопостачання з метою підвищення рівня екологічної безпеки питної води. *Ключові слова:* питна вода, громади, рН, нітрати, залізо загальне, ГІС.

### Geoinformation models of drinking water quality of rural settlement areas. Valerko R., Herasimchuk L., Yemets A., Pitsil A.

Providing safe and high-quality drinking water to residents of rural settlements who use their own wells, boreholes and natural springs for domestic drinking water supply requires a comprehensive approach to assessing the quality of drinking groundwater using GIS technologies. Research was carried out in 129 settlements of 12 united territorial communities of Zhytomyr district, where samples of drinking water were taken from sources of non-centralized water supply, followed by their analysis in the Measurement Laboratory of Polissia National University and creation of geo-informational models using the ArcGIS Pro software package. The object of the study was drinking water from sources of non-centralized water supply in rural settlements, and the subject was geo-information models of water quality.

It was proved that the average level of the pH indicator in no studied settlement did not exceed the standard. The maximum limit of the pH indicator at the level of 12.5 was found in the well water of the village. The best of the Oliivka community. The average concentration of nitrates in drinking water from non-centralized water sources exceeded the standard by 1.4–3.5 times, in particular, in the water of Pulyny, Chernyakhiv, Vilshanka, Volitska, and Oliivka communities, exceeding the limit by more than two MPCs was recorded, and their maximum content was at the level of 660 mg/dm<sup>3</sup> recorded in the well water of the village. The heathers of the Zhytomyr community. The average level of total iron did not exceed the established norm, and only in the rural settlements of the Lyubar community was recorded the average content of total iron, which exceeded the norm by more than 1.9 times.

The obtained research results and the models created on their basis can be used by self-governing bodies of the studied communities to inform the population about the quality of drinking water and to develop a Plan for improving the state of drinking water supply in order to increase the level of ecological safety of drinking water. *Key words:* drinking water, communities, pH, nitrates, total iron, GIS.

**Постановка проблеми.** Безпечне та достатнє водопостачання є важливим фактором у підтримці здоров'я людини, і тому доступ до чистої питної води сьогодні є одним із основних прав людини. Забезпечення загального доступу до безпечної питної води та санітарії є пріоритетом глобальної політики розвитку, як проголошено в шостій Цілі сталого розвитку [1]. Наразі, більше ніж 700 міль-

йонів людей, в основному країн, що розвиваються, не мають доступу до покращених джерел водопостачання та засобів санітарії [2].

Не виключенням у цьому сенсі є й Україна, де станом на початок 2020 року централізованим водопостачанням було забезпечено 99% міст, 91,2% селищ міського типу та лише 26,9% сільських населених пунктів. Ще гіршою є ситуація із централізованим

водовідведенням, оскільки ним забезпечено 96,6% міст, 63,7% селищ міського типу і тільки 1,8% сільських населених пунктів [3].

**Актуальність дослідження.** На сучасному етапі розвитку цивілізації великий інтерес викликають геоінформаційні системи, завдяки яким можна отримати ефективні управлінські рішення у багатьох галузях людської діяльності. Проблема питного водопостачання сільських селітебних територій наразі потребує залучення автоматизованих засобів та інструментів, що відкривають перед дослідниками досить широкі можливості, а тому використання спеціалізованих прикладних програм, розроблених на основі геоінформаційних технологій, підвищує актуальність проведених досліджень.

**Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями.** Перевага підземних вод полягає у тому, що їх можна відводити у будь-якому місці, не використовуючи при цьому складну інженерну мережу та трубопроводи. Крім того, вважається, що підземні води є набагато чистішими та якіснішими за поверхневі. Проте, внаслідок підвищення антропогенного впливу на довкілля, який проявляється у інтенсивному веденні сільського господарства, розвитку промисловості та розміщенні і складуванні відходів, досить часто якість підземних вод не відповідає нормативам через присутність у них забруднюючих речовин, таких як нітрати, нітроти, залізо, сульфати, хлориди, важкі метали тощо. Забруднення води джерел нецентралізованого водопостачання сільських селітебних територій може відбуватися внаслідок внесення великої кількості мінеральних та органічних добрив як у межах приватних домогосподарств, так і поза ними, на територіях фермерських підприємств. Дослідження є частиною науково-дослідної роботи «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (державний реєстраційний № 0120U104233), результати якого та створені на їх базі моделі можуть бути використані органами самоврядування об'єднаних громад для інформування населення щодо якості питної води та розроблення Плану покращення стану питного водопостачання з метою підвищення рівня екологічної безпеки питної води.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Визначення якості води привертає увагу багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених. Джерела нецентралізованого водопостачання мають важливе значення для забезпечення водою сільського населення [4]. Низька екологічна культура сільського населення, в результаті якої має місце безконтрольне використання добрив, засобів захисту рослин, велика кількість стічних вод, зумовлює мікробіологічне та хімічне забруднення водних джерел [5; 6; 7]. Основними забруднювачами води джерел нецентралізованого водопостачання є мікроорганізми, органічні речовини та важкі метали. Особливе занепо-

коєння викликає забруднення води нітратами [8; 9]. Характеризуючись збагаченістю токсичними елементами, вода має незадовільну якість, стає непридатною для пиття, а потенційні загрози здоров'ю людей від її споживання стають значною екологічною проблемою.

ГІС-технології використовуються для визначення якості води, в тому числі з нецентралізованого водопостачання. Кількість та якість поверхневих і підземних вод оцінювали за допомогою методів ГІС в Іспанії [10], Китаї [11] і на півдні Індії [12]. Оцінка якості підземних вод та їх придатності для зрошення на основі ГІС була проведена в сільських поселеннях Ірану [13]. Оцінювання ресурсів підземних вод на території Об'єднаних Арабських Еміратів [14], а також їх вразливості у Індії [15] проводили із застосуванням ГІС-інструментів.

Проте, поки що невелика кількість досліджень присвячені оцінці якості питної води із застосуванням ГІС-технологій, зокрема й у межах сільських населених пунктів Житомирської області [16; 17], що й зумовило вибір саме цієї теми дослідження.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна.** Таким чином, для гарантованого забезпечення безпечною та якісною питною водою мешканців сільських населених пунктів необхідним є потреба у комплексному підході до оцінки якості питних підземних вод із використанням ГІС-технологій. Враховуючи вище викладене, дослідження оцінки якості води джерел нецентралізованого водопостачання, які розташовані у сільських населених пунктах та використання геоінформаційних технологій, є актуальними і потребують детального вивчення.

Отже, метою дослідження є створення геоінформаційних моделей якості питної води джерел нецентралізованого водопостачання об'єднаних територіальних громад Житомирського району.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Дослідження проходили на території об'єднаних територіальних громад нового укрупненого Житомирського району Житомирської області. У рамках досліджень були відібрані зразки питної води джерел нецентралізованого водопостачання сільських та міських населених пунктів у межах таких об'єднаних громад:

- міські: Житомирська міська громада;
- селищні: Любарська, Новогуївська, Пулинська та Черняхівська територіальні громади;
- сільські: Березівська, Вільшанська, Волицька, Глибочицька, Оліївська, Станишівська і Тетерівська об'єднані територіальні громади.

Аналітичні дослідження якості питної води проводили на базі Вимірювальної лабораторії Поліського національного університету за такими показниками: рН, вміст нітратів, заліза загального та загальної твердості, які визначали за загальноприйнятими



методиками. Отримані результати порівнювали із стандартами, що діють на території України, а саме: ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до якості води, призначеної до споживання людиною» [18].

Отримані результати аналітичних досліджень були згруповані у відповідні бази даних спостереження та апробування і стали основою для створення геоінформаційних моделей досліджуваних

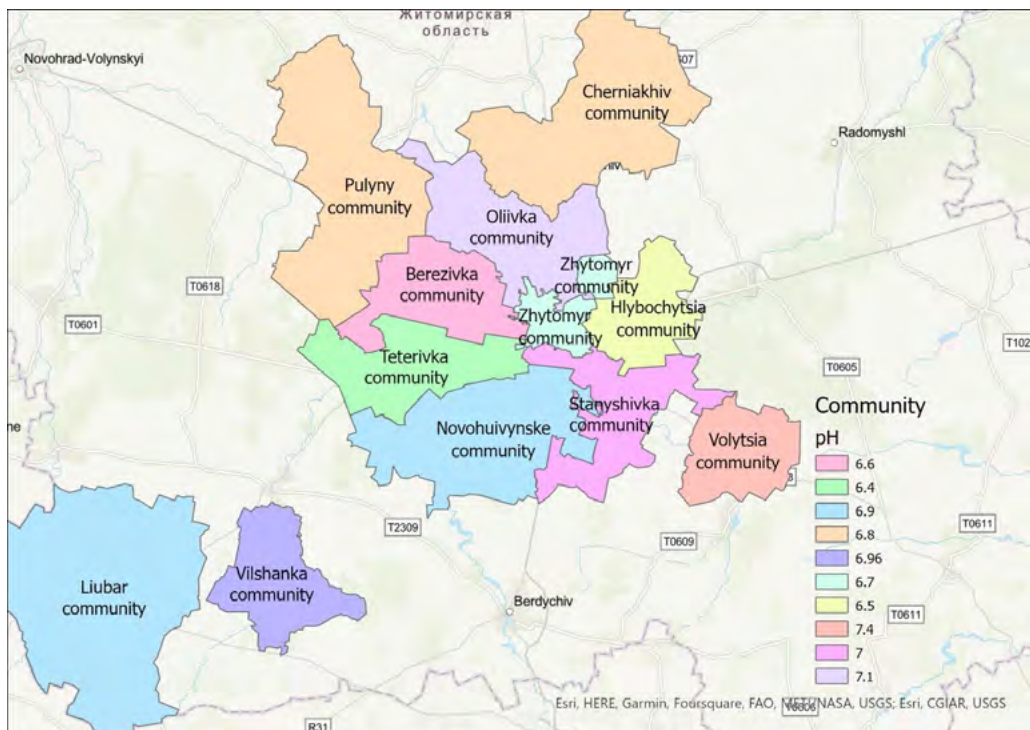


Рис. 1. Рівень показнику рН у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання досліджуваних громад, одиниці рН

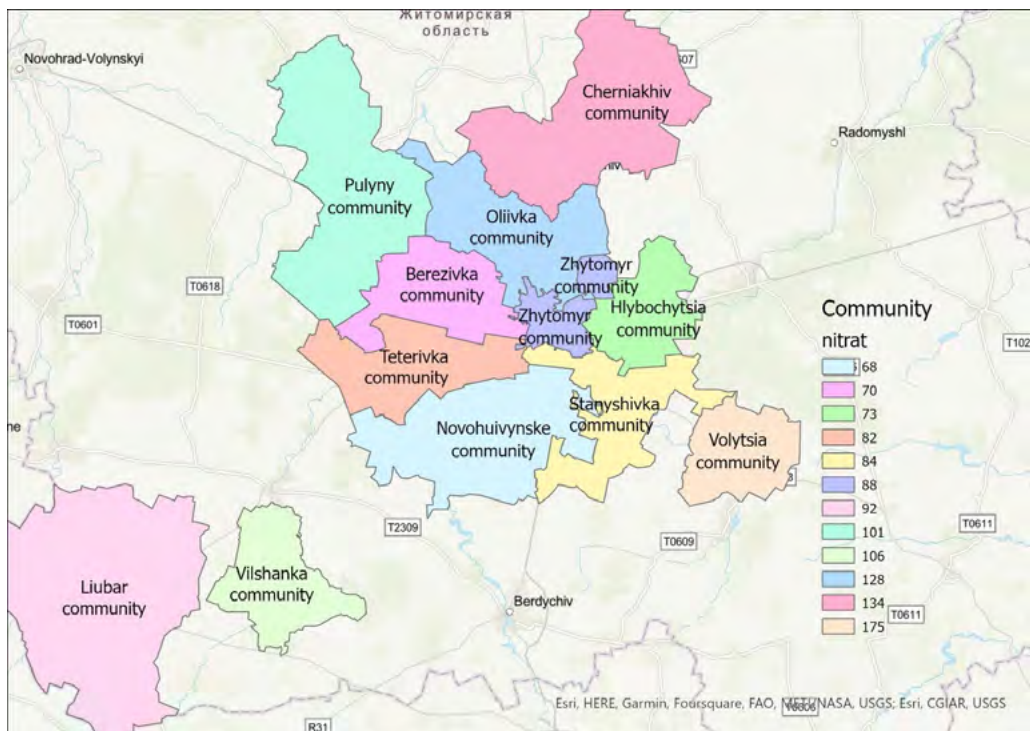


Рис. 2. Вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання досліджуваних громад, мг/дм<sup>3</sup>

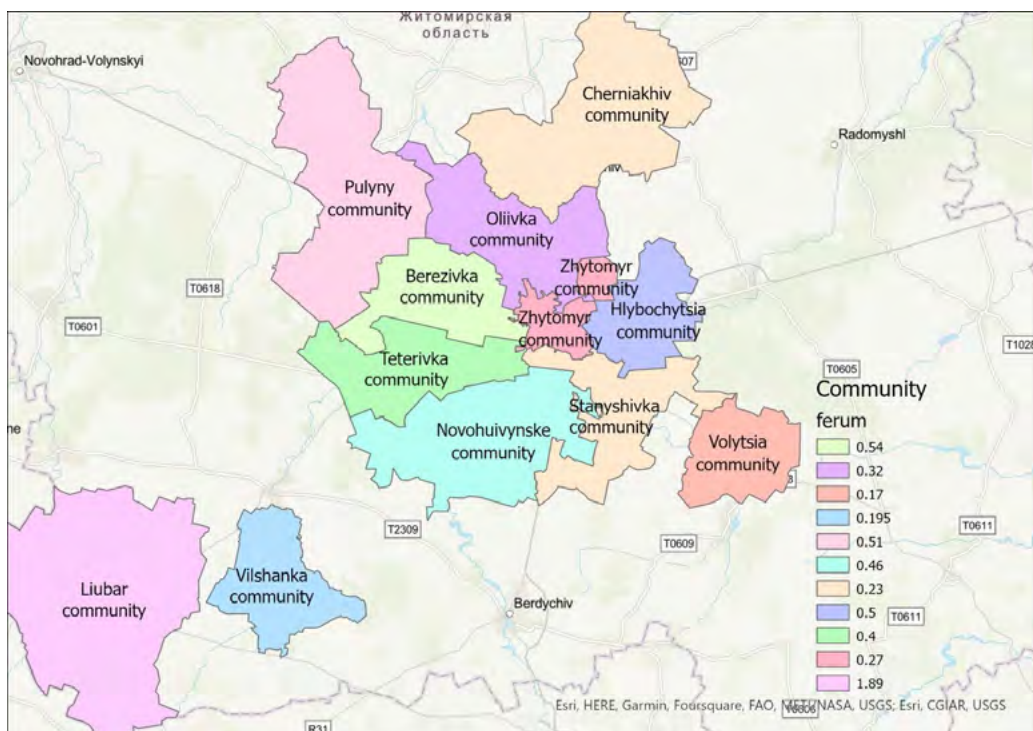


Рис. 3. Вміст заліза загального у питній воді досліджуваних громад, мг/м<sup>3</sup>

об'єктів. Побудова банку геоданих та вихідних карт за результатами дослідження здійснено із застосуванням програмного пакету ArcGIS Pro (розробник ESRI, США), який дає можливість доступу та управління геопросторовими даними у локальній мережі або через інтернет, містить велику кількість інструментів для їх обробки та забезпечує геокодування великих обсягів картографічних даних, що придатні для опрацювання їх у пакетному режимі.

**Викладення основного матеріалу.** У результаті досліджень виявлено, що в середньому у жодній із досліджуваних громад не було виявлено невідповідності нормативам за показником рН. Проте, майже у всіх громадах, крім Любарської, Вільшанської та Волицької, спостерігаються випадки зниження показника рН до 5,45, тобто відбувається підкислення води. Підвищення рН до 12,5 одиниць було зафіксовано у воді колодязю Некрашівської гімназії, що знаходиться у с. Некраші Оліївської громади (рис. 1).

Середній вміст нітратів у питній воді усіх досліджуваних громад перевищує норматив (50 мг/дм<sup>3</sup>) від 1,4 раза у Новогуївинській громаді до 3,5 раза у Волицькій. Максимальний вміст нітратів на рівні 660 мг/дм<sup>3</sup> було зафіксовано у колодязній воді населеного пункту Вереси, що входить до складу Житомирської міської громади. Загалом же максимальна концентрація нітратів варіювала у межах 167–660 мг/дм<sup>3</sup>, а мінімальна – 0,508–2,06 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2).

Відповідно до показника перевищення середнього вмісту нітратів у питній воді було проведено

групування громад. Таким чином, встановлено, що перевищення вмісту нітратів від 1,1 до 2 разів зафіксовано у сімох громадах, а перевищення ГДК більше двох разів виявлено у п'яти громадах (табл. 1).

Таблиця 1  
Групування громад за показником перевищення середнього вмісту нітратів у питній воді

Перевищення нормативу	Громади
1,1–2,0 ГДК	Житомирська, Любарська, Новогуївинська, Березівська, Глибочицька, Станишівська, Тетерівська
2,1–5,0 ГДК	Пулинська, Черняхівська, Вільшанська, Волицька, Оліївська

Середній вміст заліза загального у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання територіальних громад перевищував норматив, наведений у ДСанПіН, який становить 1 мг/дм<sup>3</sup>, лише у сільських населених пунктах Любарської громади у 1,9 раза (рис. 3).

Здійснюючи відбір проб води та оглядаючи території, де знаходяться криниці, і спілкуючись з місцевими жителями обстежуваних сільських населених пунктів, виявлено незадовільну якість води джерел нецентралізованого водопостачання, що пов'язано із специфічними джерелами забруднення та низьким рівнем екологічної культури місцевих жителів. Хаотична забудова присадибних ділянок, облаштування без урахування вимог санітарного законодавства на незначній відстані від джерел децентралізо-

ваного водопостачання вигрібних ям, гноєсховищ, компостних ям, надвірних вбиралень, приміщень для утримання худоби та птахів, внесення у ґрунт азотних мінеральних добрив у надмірних кількостях із порушенням регламентів їх застосування у комплексі з неналежним санітарним і технічним доглядом – причини сучасної деградації якості води джерел нецентралізованого водопостачання.

Відповідальність за управління водними ресурсами джерел нецентралізованого водопостачання покладається на їх власників, у яких часто виникають ілюзії щодо їх контролю та якості води, і в результаті чого недооцінюють ризики забруднення. Сприйняття якості води в джерелах нецентралізованого водопостачання є важливим для прийняття рішень та заходів щодо її покращення та запобігання забрудненню. Проте, такі рішення та заходи повинні впроваджува-

тися не лише на індивідуальному рівні, а й на рівні сільських, селищних рад та об'єднаних територіальних громад [17].

**Висновки.** Таким чином, використання геоінформаційних систем та створення за їх допомогою геоінформаційних моделей стану питних підземних вод сільських селітебних територій дають можливість отримати ефективні управлінські рішення щодо створення та підвищення рівня безпечного водопостачання об'єднаних територіальних громад. Тому, подальшими дослідженнями мають бути створення аналогічних моделей усіх громад Житомирської області.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати досліджень можуть бути використані місцевим населенням та органами самоврядування для покращення стану питного водопостачання сільських населених пунктів.

### Література

1. Глобальні Цілі Сталого розвитку: 2015–2030 / ООН. URL: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals.html>.
2. Diseases and risks / WHO. URL: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases-risks/en](https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/en).
3. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2019 році / Міністерство розвитку громад та територій України. Київ, 2020. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2020/12/naczialna-dopovid-za-2019-rik.pdf>.
4. Perceptions of drinking water quality from private wells in Alberta: A qualitative study / A. Munene, J. Lockyer, S. Checkley, D. C. Hall. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*. 2019. Vol. 44, Issue 3. P. 291–306. doi: 10.1080/07011784.2019.1601599.
5. Mena-Rivera L., Quiros-Vega J. Assessment of drinking water suitability in low income rural areas: a case study in Sixaola, Costa Rica. *Journal of Water and Health*. 2018. Vol. 16, Issue 3. P. 403–413. doi: <https://doi.org/10.2166/wh.2018.203>.
6. Lee D., Murphy H. M. Private Wells and Rural Health: Groundwater Contaminants of Emerging Concern. *Current environmental health reports*. 2020. Vol. 7, Iss. 2. P. 129–139. doi: 10.1007/s40572-020-00267-4. PMID: 31994010.
7. Hejaz B., Al-Khatib I. A., Mahmoud N. Domestic groundwater quality in the Northern Governorates of the West Bank, Palestine. *Journal of environmental and public health*. 2020. Vol. 1. P. 1–6. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/6894805>.
8. Valerko R. A., Herasymchuk L. O. Assessment of ecological integral index of rural settlements development in the radioactively contaminated territory based on drinking water quality indicators. *Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions* : Collective monograph. Riga : Baltija Publishing, 2020. P. 80–97. doi: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-45-7.5>.
9. Ecological assessment of vegetable products grown in the city of Zhytomyr and its residential suburb / R. A. Valerko, L. O. Herasymchuk, G. M. Martenyuk, M. M. Kravchuk. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8(1). P. 927–938. doi: 10.15421/2018\_295.
10. GIS-based models for water quantity and quality assessment in the Júcar River Basin, Spain, including climate change effects / J. Ferrer, M. A. Pérez-Martín, S. Jiménez et al. *Science of the Total Environment*. 2012. Vol. 440. P. 42–59. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.08.032.
11. Yan Bao-wen, Li Yang. GIS-based study on spatial variability of groundwater quality in Xianyang City. *2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection*. 2011. P. 48–52. doi: 10.1109/iswrep.2011.5892942.
12. Rawat K. S., Singh S. K. Water Quality Indices and GIS-based evaluation of a decadal groundwater quality. *Geology, Ecology, and Landscapes*. 2018. Vol. 2, № 4. P. 240–255. doi: 10.1080/24749508.2018.1452462.
13. Groundwater quality assessment for irrigation purposes based on irrigation water quality index and its zoning with GIS in the villages of Chabahar, Sistan and Baluchistan, Iran / A. Abbasnia, M. Radfard, A. H. Mahvi et al. *Data in Brief*. 2018. Vol. 19. P. 623–631. doi: 10.1016/j.dib.2018.05.061.
14. Assessment of groundwater quality for irrigation in the arid regions using irrigation water quality index (IWQI) and GIS-Zoning maps: Case study from Abu Dhabi Emirate, UAE / M. Batarseh, E. Imreizeeq, S. Tilev et al. *Groundwater for Sustainable Development*. 2021. Vol. 14. Article 100611. doi: 10.1016/j.gsd.2021.100611.
15. Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC model in Nangasai River Basin, India with special emphasis on agricultural contamination / A. Bera, B. P. Mukhopadhyay, P. Chowdhury et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 214. Article 112085. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112085.
16. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Кравчук А. А. ГІС як інструмент управління та контролю стану нецентралізованого водопостачання у межах громад. *Екологічні науки*. 2022. № 41 (2). С. 27–31.
17. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Романчук Л. Д. ГІС як інструмент контролю та управління у сфері нецентралізованого водопостачання у межах ОТГ : монографія. Житомир : Поліський національний університет, 2022. 165 с.
18. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Чинний від 2010-05-12]. Київ : МОЗ України, 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.

## ВИКОРИСТАННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ І КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З ЕКОЛОГІЇ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Ковальчук В.В., Близнюк К.П.

Державний університет інфраструктури та технологій

вул. Кирилівська, 904071, м. Київ

[kovalchuk\\_vv@gsuite.duit.edu.ua](mailto:kovalchuk_vv@gsuite.duit.edu.ua), [blyznuk\\_kp@gsuite.duit.edu.ua](mailto:blyznuk_kp@gsuite.duit.edu.ua)

Метою даної роботи є аналіз ефективності використання інженерної та комп'ютерної графіки в освітній підготовці майбутніх фахівців з екології транспортної інфраструктури. Указаний навчальний курс є важливим чинником для формування у здобувачів освіти сучасного рівня інформаційної та комп'ютерної культури, що є одним із значущих очікуваних результатів навчання. Практичні навички використання засобів комп'ютерної графіки, набуті під час занять і самостійної роботи, сприяють розвитку пізнавальної активності студентів. Також це підвищує вмотивованість щодо здобуття відповідних знань, оскільки на сучасному ринку праці чималі переваги мають фахівці, що розуміються на комп'ютерних графічно-інформаційних технологіях.

У статті акцентується увага на розвивальній, навчальній, мотиваційній та інформаційній функціях курсу інженерної і комп'ютерної графіки, що дають майбутнім фахівцям широкі можливості для самореалізації в сучасному інформаційному суспільстві. Для фахівців з екології транспортної інфраструктури набуті навички дозволяють розв'язувати широке коло фахових задач шляхом викладення технічних ідей за допомогою креслення з використанням засобів комп'ютерних програм. Графічне подання інформації має найвищу інформативність і наочність. Це сприяє більш повному розумінню студентом механізмів негативного впливу об'єктів транспорту і транспортної інфраструктури на навколишнє середовище та допомагає в пошуку і прийнятті грамотних і своєчасних інженерних рішень для його захисту від різних видів такого впливу. Такий підхід до підготовки майбутніх фахівців є втіленням концепції освіти для сталого розвитку. Автори статті на основі досвіду викладання курсу інженерної та комп'ютерної графіки проаналізували роль і місце цього курсу в інженерній освіті студентів, що навчаються за освітньо-професійною програмою «Екологія транспортної інфраструктури» в Державному університеті інфраструктури та технологій. *Ключові слова:* інженерна і комп'ютерна графіка, освіта для сталого розвитку, вища освіта, інформаційні технології.

**Use of engineering and computer graphics in the educational training of specialists in the ecology of transport infrastructure.**  
**Kovalchuk V., Blyznuk K.**

The purpose of this work is to analyze the effectiveness of the use of engineering and computer graphics in the educational training of future specialists in the ecology of transport infrastructure. The specified educational course is an important factor for the formation of education seekers' modern level of information and computer culture, which is one of the significant expected results of education. Practical skills in using computer graphics tools, acquired during classes and independent work, contribute to the development of student's cognitive activity. It also increases the motivation to acquire relevant knowledge, since specialists who understand computer graphic information technologies have considerable advantages in the modern labor market.

The article focuses on the developmental, educational, motivational, and informational functions of the engineering and computer graphics course, which provide future specialists with wide opportunities for self-realization in the modern information society. For specialists in the ecology of transport infrastructure, the acquired skills allow solving a wide range of professional problems by presenting technical ideas with the help of drawings using computer programs. Graphic presentation of information has the highest informativeness and visibility. This contributes to a more complete understanding by the student of the mechanisms of the negative impact of objects of transport and transport infrastructure on the environment and helps in finding and making competent and timely engineering decisions to protect it from various types of such impact. This approach to the training of future specialists is the embodiment of the concept of education for sustainable development. Based on the experience of teaching the engineering and computer graphics course, the authors of the article analyzed the role and place of this course in the engineering education of students studying in the educational and professional program "Ecology of Transport Infrastructure" at the State University of Infrastructure and Technologies. *Key words:* engineering and computer graphics, education for sustainability, higher education, information technology.

**Постановка проблеми.** Характерною особливістю сучасного етапу розвитку суспільства є широке використання комп'ютерної техніки та інформаційних технологій. Відповідно найважливішим фактором розвитку постають знання. Статистичні дані свідчать про те, що у розвинутих країнах протягом

останніх п'ятнадцяти років покращення економічних показників більшою мірою зумовлене використанням сучасних технологій та інноваційних підходів аніж наявністю тих чи інших природних ресурсів. У галузях, які ґрунтуються на знаннях, зростання доданої вартості у середньому становило 3%, нато-

мість темпи загального економічного зростання не перевищували 2,3%. Оскільки загальною тенденцією є те, що для розвитку країни дедалі все більшого значення набуває застосування знань і наукових інновацій, то змінюються і вимоги суспільства до освіти й підготовки майбутніх фахівців.

Україна як сучасне інформаційне суспільство потребує нового рівня освіти й нових підходів до надання освітніх послуг. Освіта разом із наукою набувають особливого значення як найважливіші інструменти і передумови досягнення збалансованого (сталого) розвитку суспільства. У 2015 році державами-членами ООН в рамках «Порядку денного для сталого розвитку до 2030 року» були визначені 17 основних цілей для людей і планети, спрямованих на покращення життя та перспектив кожного і всіх [1]. При цьому значну роль для досягнення указаних цілей відіграють інженерні інновації, що потребує відповідної трансформації інженерної освіти [2]. Освіта для сталого розвитку має бути спрямованою на набуття таких знань і навичок, які сприяють формуванню екологічно свідомого суспільства людей, що прагнуть нового світогляду і цінностей [3]. Така освіта разом з іншими чинниками має сприяти розвитку, який є соціально бажаним і водночас економічно життєздатним та екологічно збалансованим.

Інформатизація освіти у закладах вищої освіти суттєво впливає на навчально-пізнавальну діяльність студентів, а також на організаційні форми і методи навчання. Використання інформаційних технологій в освіті дає студентам глибоке й розгалужене науково-теоретичне підґрунтя для розвитку здатності приймати оптимальні рішення при розв'язанні прикладних задач. Метою статті є обговорення значення курсу інженерної і комп'ютерної графіки для формування спеціальних (фахових) компетентностей майбутніх фахівців з екології транспортної інфраструктури.

**Актуальність дослідження.** У Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки [4] одним із пріоритетних напрямків задеклароване запровадження інноваційних технологій в освітній процес. Курси навчальних дисциплін, які створені і використовують сучасні інформаційні технології, не тільки виконують розвивальну, мотиваційну, навчальну та інформаційну функції, а й сприяють становленню майбутніх компетентних фахівців, здатних бути конкурентоспроможними у сучасному суспільстві. Характерною особливістю сьогодення є те, що вже на початку навчання у закладах вищої освіти багато студентів вміють користуватися інформаційно-комунікаційними технологіями, створювати й редагувати на екрані комп'ютера графічні зображення, знаходити й зберігати графічну інформацію. Ці навички можуть бути використані для підвищення ефективності та якості освітнього процесу. Але для цього треба розширювати коло знань щодо можливостей засобів для створення та комп'ютерної

обробки графічної інформації. Такі знання та навички мають важливе значення для візуалізації даних щодо транспортних технологій та екології транспортної інфраструктури, а також для інженерного підходу до вирішення проблем сталого розвитку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Освіті сталого розвитку присвячено багато робіт зарубіжних і вітчизняних дослідників [3; 5–9]. Висоцька О. у своїй роботі зазначає необхідність змін пріоритетів розвитку сучасної вітчизняної освіти з урахуванням потреб глобалізації світової економіки і для збереження самої української культури [3]. При цьому медіаосвіта як важлива складова сучасної інформаційної культури має сприяти формуванню навичок створення певних інформаційних ресурсів, які мають характер інновацій.

Ляшенко О. звертає увагу на те, що сучасні моделі закладів вищої освіти мають бути скерованою не на ретрансляцію, а на генерацію нових знань щодо сталого розвитку та перетворення їх на ціннісний ресурс стійкого функціонування [5]. Так само у роботі [6] наголошено на тому, що освіта потребує значного ступеня відповідної трансформації. Автором роботи є професор Sterling S., який чимало своїх публікацій присвятив питанням системних змін в навчанні з метою вирішення проблем прискорення освітньої реакції на порядок денний сталого розвитку. Важливу роль при цьому мають зміни в навчальних програмах підготовки фахівців з інженерних і технічних спеціальностей [7; 8], які мають бути «підготовлені» для своєчасного реагування на виклики сьогодення [9].

Інформація є ціннісним ресурсом і важливим інструментом усвідомлення процесів та явищ сталого розвитку. Тому всебічний і глибокий аналіз інформації потребує використання різних спеціальних методів, важливе місце серед яких займають методи графічного представлення екологічних, економічних і статистичних даних. Хоча на даний момент вже опубліковано чимало науково-педагогічних зарубіжних і вітчизняних досліджень щодо графічного моделювання, питання використання у закладах вищої освіти інженерної і комп'ютерної графіки при підготовці майбутніх фахівців з екології транспортної інфраструктури ще потребує належного зваженого аналізу.

**Виклад основного матеріалу.** Курс інженерної і комп'ютерної графіки належить до загальноінженерних навчальних дисциплін, що покладені в основу інженерної освіти. Предметом інженерної графіки є побудова й читання креслеників, схем, технічних рисунків, які є графічними засобами фіксування, збереження та передачі технічних ідей у процесі їхньої розробки та реалізації. Предметом комп'ютерної графіки є комп'ютерне подання інформації про геометричні образи, про комплекси технічних і програмних засобів, що дають можливість створювати, аналізувати, редагувати та зберігати інформацію

про графічні об'єкти. Необхідність вивчення курсу зумовлена інтенсифікацією інформаційного обміну, вимогами підвищення рівня творчості та продуктивності праці інженера. Для здобувачів вищої освіти з екології транспортної інфраструктури знання і навички, набуті при вивченні інженерної і комп'ютерної графіки, дають широкі можливості для візуалізації потрібної інформації засобами графічного моделювання. Це є необхідною основою для розуміння механізмів негативного впливу об'єктів транспорту на навколишнє середовище та прийняття грамотних і своєчасних інженерних рішень для його захисту від різних видів такого впливу. При цьому забезпечується комп'ютерне представлення масивів екологічних даних і даних щодо об'єктів транспортної інфраструктури та їхнього географічного розподілу.

Основними завданнями, що мають бути вирішені в процесі викладання курсу інженерної і комп'ютерної графіки є формування у майбутніх спеціалістів сучасного рівня інформаційної та комп'ютерної культури з використанням професійних компетентностей фахівців з екології та транспортних технологій.

Досвід використання інформаційних технологій в освіті свідчить, що їхній прогрес значною мірою випереджає методичні підходи, на які він повинен спиратися. Традиційна освіта, фокусуючись більше на когнітивних і технічних знаннях, «не встигає» за багатогранними трансформаціями інформаційних технологій, за стрімким розвитком науки й техніки. Це стає справжнім викликом для сучасної освіти. Поява нових прикладних програм комп'ютерної графіки і розширення можливостей використання інженерної графіки в системах автоматизованого проектування (САПР) зумовлюють відповідні зміни в навчальних програмах. У практиці сучасної вищої освіти перспективною вважається орієнтація на впровадження інтенсивних технологій навчання і використання можливостей сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій [10]. Указані технології є ефективним інструментом, що допомагає зменшити витрати на навчання та значно підвищити якість освітнього процесу.

У даний період, в період масового впровадження дистанційного навчання в складних умовах останніх років, навчання комп'ютерній графіці розглядається як базовий елемент освіти [11]. Використання пакетів прикладних графічних програм і САПР – це реальний практичний інструмент для якісної обробки інформації на основі методів графічного (або імітаційного) моделювання, геопросторових технологій, інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень. Завдяки своїм властивостям графічні зображення є важливим засобом тлумачення і аналізу багатьох процесів, а завдяки наочності графіка дає можливість суттєво полегшити сприйняття, обробку та аналіз інформації, з граничною точністю виразити залежність між параметрами і показниками фахової галузі майбутнього спеціаліста.

Для формування й розвитку компетентного професійно-орієнтованого мислення майбутніх фахівців з екології транспортної інфраструктури достатньо ефективним елементом навчальної практики є виконання завдань дослідницького характеру за допомогою автоматизованих систем, що використовують функціональні можливості комп'ютерної графіки. Графічне представлення певних процесів можуть бути основою, фундаментом для розробки нових гіпотез, направлених на подальше поглиблене вивчення досліджуваної групи процесів або явищ.

Наочність – одна з основних особливостей когнітивної функції комп'ютерної графіки як сукупності прийомів і методів образного уявлення умов завдання, які дозволяють або відразу побачити рішення, або отримати підказку для його пошуку [11]. На сучасному етапі вже існують чимало програмних пакетів, за допомогою яких можна автоматизувати процес побудови графічних зображень. Для прикладу можна указати AutoCAD, Microsoft Exel, MS Visio, векторний графічний редактор Inkspace, група програм 1С та інші. В умовах дистанційного навчання можна використовувати хмаро орієнтовані технології. Зокрема, побудову структурних та організаційних схем спрощують графічні засоби додатків Google Таблиці та LucidChart. Напрацювання навичок роботи з одним прикладним пакетом комп'ютерної графіки дає студентам можливість опанувати загальні правила і методи створення та редагування креслеників, діаграм, графіків, схем тощо. Це значно спрощує опанування можливостей іншого графічного редактора чи програми. Незалежно від того, який програмний пакет інженерної комп'ютерної графіки буде використовувати студент, важливо, щоб він усвідомлював, що графічні образи мають максимально відповідати характеру і змісту досліджуваних даних і поставленій задачі. Створені студентом графічні зображення виконують перш за все когнітивну, а не ілюстративну функцію, адже в процесі взаємодії студента з комп'ютерними програмами процедурного типу формуються певні індивідуальні компоненти знань, тобто ті, яких немає у будь-кого іншого.

**Висновки і перспективи використання результатів дослідження.** Інженерна і комп'ютерна графіка є потужним навчальним засобом в процесі підготовки майбутніх фахівців з транспортних технологій і з екології транспортної інфраструктури. Відповідно до особистісно-діяльній парадигми навчання використання інженерної графіки і засобів комп'ютерних програм для створення та обробки графічної інформації реалізується в освітньому процесі через виконання конкретних завдань фахової галузі. Також набуті знання і навички з комп'ютерної графіки можуть бути успішно використані студентами для підвищення ефективності засвоєння нових знань з інших навчальних дисциплін, а також для якісного аналізу інформації та візуалізації даних при підготовці на випусковому курсі кваліфікаційної роботи.

У подальшому отримані результати дослідження можуть бути використані для покращення навчальних програм та організації освітнього процесу з урахуванням міждисциплінарних зав'язків в рамках втілення

концепції освіти для сталого розвитку. Такі зміни сприятимуть формуванню додаткових фахових компетентностей здобувачів освіти, які допоможуть їм при адаптації в сучасних соціально-економічних умовах.

### Література

1. United Nations. The Sustainable Development Agenda. 2015. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/> (Last accessed: 31.01.2023).
2. UNESCO. Engineering for Sustainable Development: Delivering on the Sustainable Development Goals. 2021. URL: <https://en.unesco.org/reports/engineering> (Last accessed: 31.01.2023).
3. Висоцька О. Є. Освіта для сталого розвитку: науково-методичний посібник. Дніпропетровськ : Роял Принт, 2011. 200 с.
4. Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 23.02.2022 р. № 286-р. URL: <https://cutt.ly/y9TFkYx> (дата звернення 28.01.2023).
5. Ляшенко О. М. Сталий розвиток закладів вищої освіти: локальні інформаційно-комунікативні аспекти. *Вчені записки Університету «Крок»*, 2020. № 2(58). С. 97–102. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2020-58-97-102> (дата звернення 30.01.2023).
6. Sterling S. A commentary on education and Sustainable Development Goals. *Journal of Education for Sustainable Development*. 2016. 10(2). P. 208–213.
7. Sánchez-Carracedo F., López D. Innovation in Engineering Education for Sustainable Development—Introduction to a Special Issue. *Sustainability*. 2020. 12(19), 8132.
8. Gutierrez-Bucheli L., Kidman G., Reid A. Sustainability in engineering education: A review of learning outcomes. *Journal of Cleaner Production*. 2022. 330, 129734. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129734> (Last accessed: 31.01.2023).
9. Хмелевська О. М. Освіта для сталого розвитку: зміст інституції. *Демографія та соціальна економіка*, 2018. № 1(32). С. 29–42.
10. Гнітецька Т. В. Курс «Інженерна та комп'ютерна графіка» для студентів технічних університетів. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2022. Том 90, № 4. С. 89–101. <https://doi.org/10.33407/itlt.v90i4.4738> (дата звернення 30.01.2023).
11. Романюк О. Н., Романюк О. В., Ціхановська О. М., Коваль Л. Г. Роль комп'ютерної графіки в підготовці фахівців. *XXII Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ–2021)* : зб. тез (Херсон, 13–17 вересня 2021 р.). Херсон, 2021. С. 74–76.

## BUILDING CLIMATE CHANGE RESILIENCE THROUGH THE UNIVERSITY EDUCATION

Radomska M.M.

National Aviation University  
L. Huzar Ave., 1, 03058, Kyiv  
[m.m.radoms kaya@gmail.com](mailto:m.m.radoms kaya@gmail.com)

The climate changes are inevitable part of the upcoming future; therefore it is necessary to address corresponding issues in education of children and adults. The paper presents the overview of the implementation of CCE in university education in and outside Ukraine. The commitments of the majority of countries to implement CCE in the curriculum at different levels hasn't been fulfilled completely yet. Even the majority of European countries have only elements of CCE at the level of school training, as it was shown by the global survey across 46 UNESCO Member States. The university degrees, offered at Master level on the West include some elements of climate change issues included in training, but only 11,5% has direct relation to them as it was shown by our study. In Ukraine only three Master degrees, indicating relation to climate changes, were offered in previous years and this demonstrates lack of attention to the development of adaptation potential among future professionals. Since there is no branch of human activity, which will not experience effect of climate changes, we consider implementation of special course in higher education a necessary response to provide graduates with specific adaptation skills. The experience of teaching the course "Adaptation to Climate Changes" is presented in the paper. The survey conducted among the students of the university has showed considerable gaps in the understanding of climate change implications for their personal and professional life and fragmented awareness of the adaptation approaches and the benefits adaptation offer. It is finally recommended to introduce similar course as elective to provide high quality of skills and competencies of future specialist, forced to life and work in challenging environment with changing climate. *Key words:* CCE, education for sustainable development, university course, adaptation potential, professional competency.

### Розвиток стійкості до зміни клімату на основі університетської освіти. Радомська М.М.

Зміни клімату є неминучою частиною майбутнього, тому необхідно розглядати відповідні питання у вихованні дітей і дорослих. І студенти, і педагоги повинні усвідомити, що вони не можуть розглядати умови життя у майбутньому як подібні до нинішніх. У статті подано огляд впровадження освіти зі зміни клімату в університетську освіту в Україні та за її межами. Зобов'язання більшості країн запровадити освіту зі зміни клімату в навчальні програми на різних рівнях ще не повністю виконано. Навіть більшість європейських країн мають лише елементи освіти щодо зміни клімату на рівні шкільної підготовки, як показало глобальне опитування в 46 країнах-членах ЮНЕСКО. Університетські ступені, які пропонуються на рівні магістра на Заході, включають деякі елементи питань зміни клімату в навчання, але лише 11,5% мають пряме відношення до них, як показало наше дослідження. В Україні в попередні роки пропонувалося лише три магістерські програми, що мали зв'язок зі змінами клімату, що свідчить про недостатню увагу до розвитку адаптаційного потенціалу у майбутніх фахівців. Оскільки немає жодної галузі людської діяльності, яка б не відчувала на собі вплив кліматичних змін, ми вважаємо впровадження спеціального курсу у вищій освіті необхідною реакцією для формування у випускників специфічних навичок адаптації. У роботі представлено досвід викладання курсу «Адаптація до змін клімату». Опитування, проведене серед студентів університету, показало значні прогалини в розумінні наслідків зміни клімату для їхнього особистого та професійного життя та фрагментарну обізнаність щодо підходів до адаптації та переваг, які пропонує адаптація. Нарешті, рекомендовано запровадити подібний курс як вибірко-вий, щоб забезпечити високу якість навичок та компетенцій майбутнього фахівця, змушеного жити та працювати в складних умовах зі мінливим кліматом. *Ключові слова:* освіта щодо зміни клімату, освіта для сталого розвитку, університетський курс, адаптаційний потенціал, професійна компетентність.

**Relevance of the problem.** CCE (CCE) has already become a widely discussed component of formal and informal education. In its most common definition CCE is education that aims to address and develop effective responses to climate change [1]. But in its core CCE deals with learning in the face of risk, uncertainty and rapid change [2]. This skills and knowledge are of extreme importance besides climate changes, as the modern world is evolving at the highest rates ever, offering opportunities and pressures equally. Under such conditions developing adaptive capacity of people is as important as building adaptation potential and resilience of ecosystems they live in.

It stems from ESD, which is already a solid concept and its expansion has uncovered many environmental issues of transformation for sustainability, previously

not known [3]. CCE is now considered a separate field within the ESD framework due to its urgency and underrepresentation everywhere except specialized professional education [4]. Moreover, the latest Berlin Declaration on Education for Sustainable Development, proclaimed in 2021, includes commitment to include climate change studies in a formal part of all school curricula by 2025.

**Problem statement.** A recent study of primary and secondary education policies and curricula across 46 UNESCO Member States found that 45% of national education documents studied made little-to-no reference to environmental themes [5]. Although 92% of documents included at least one reference to environmental themes, the depth of inclusion was very



low on average. Moreover, the environmental issues are more often linked to quality of living environment than to fundamental issues, like climate and biodiversity. In particular, over half of education policies and curricula studied made no mention of climate change and only 19% made reference to biodiversity.

The same survey showed that there is higher inclusion of environmental activities and studies in upper secondary education, in contrast to primary and lower secondary education which covers the relevant issues via nature contact practices, like gardening. This demonstrates another important issue: there is a concentration of attention to CCE implementation in primary and secondary education, while higher education is out of the focus for both – the universities and promoting organizations at international and national levels.

Ukrainian education is currently going through the process of massive reforming, which creates perfect conditions for the implementation of ESD and CCE. However, the exact extent of these transformations and involvement of climate change and sustainability issue is still unclear. Thus, there is a need to invest efforts in promoting the CCE at all levels of education in Ukraine, but it must account the peculiarities and opportunities of each level of education. The given paper considers experience and perspectives of CCE in higher education.

**Novelty.** The paper presents the comparative analysis of the level of CCE at university level in selected countries and Ukraine. The gaps in preparation of students to professional activity and personal life under the conditions demanding high adaptation potential are demonstrated based on the survey results.

**Methodological novelty.** The presented experience of teaching courses covering climate changes agenda in universities might be useful for the implementation of relevant training in other universities. It is also shown that approaches used to deliver elements of CCE are universal due to global character of the problem and could be applicable to teaching students of any specialties.

**Literature review.** Living in the world of changing climate has already made societies reconsider their goals in both economic and environmental spheres:

- **Starting point** – 1992 UN Framework Convention on Climate Change – the goal was to realize the presence of the problem.

- **Formalization** – 2009 UN Copenhagen Climate Change Conference – the goal was formulated as “no more than 2°C”.

- **Enrollment** – 2015 Paris agreement – the goal was set to implement nationally determined contributions and fit into the “no more than 1.5°C”.

- **Pressure** – 2019 UN Madrid Climate Change Conference – the goal was to press the need for changes at the political level.

- **Assessment** – 2021 UN Glasgow Climate Change Conference – the first iteration of the ratchet mechanism – the goal is to raise the national obligations.

Each of these stages-goals had some important drawbacks or advantages. Thus, at the “Starting point” in 1992, the major disadvantage was that climate change was considered as a typical “conflict of interests”, which should be negotiated. At the next point of “Formalization” in 2009 the climate change was again misperceived and treated as a “chemical issue” – simple a problem of pollution, which can be tackled by technical solutions. Only in 2015 at the “Enrollment” stage the first step towards “customization” of actions in response to climate changes was done and clear split between mitigation and adaptation was shown. The stage of “Pressure” in 2019 initiated changes at the political level and presented first clear commitments at governmental level. Moreover, expansion of the problem to the business sector also took place – voluntary obligations of 170 companies to cut their emissions or investments to meet the target of 2015. The important drawback of this stage is seeing responses to climate changes a task to be solved by high ranking officials only. The last step by now is the “Assessment” stage, at which national obligations were raised. But this has degraded the importance of adaptation in the system of response to climate change by concentrating on mitigation, equal to cutting emissions.

Thus, even at the highest level of international cooperation there is room for biases and deviations from the necessary balance between mitigation and adaptation. As a result, the interest to balancing and developing synergy between adaptation and mitigation has increased among researches and governmental entities since 2010 [6]. The works by Kane et al., Laukkonen et al., VijayaVenkataRaman et al., and Lal et al. pursuit this idea in their early publications in terms of various branches of economy and spheres of human life. At the same time, Ingham et al. highlighted the fact that too much attention is paid to the mitigation and cutting emissions, while adaptation and learning to live in the changing environment is given little to no attention [7]. Since then, the improvement of climate change literacy through sustained, active learning and teaching was formulated as a component of climate change resiliency for communities and economies [8]. The corresponding frameworks were offered and continue to be refined for both school children [9] and teachers [10]. From this point the discussion of CCE at university level was an obvious direction of progress, encompassing not only teachers but professionals on the whole [11]. However, the survey involving 212 university staff from 45 countries demonstrated high breadth of approaches and training components related to climate changes [12]. Such situation also has its advantages and disadvantages. From one side it supports diversity of ideas and strategies gives universities possibility to choose the most efficient solutions in their peculiar case. From the other side, such lack of consistency may leave considerable gaps in knowledge and skills of graduates, thus compromising their adaptation potential.

On the opposite side of the problem there are young people interested in getting knowledge. The study, conducted among 10 000 children and young people in ten countries about their attitude to climate change has showed unexpectedly high ranks of anxiety about the implications of climate changes [13]. Almost 60% of respondents across all countries reported very or extremely high concern about climate changes and 84% were at least moderately worried. 75% said that they feel helpless about threats imposed by climate changes. Leaving aside the reasons of these negative feelings, which strongly correlate with perceived inadequate government response, we can see that there is a real need to tackle this climate anxiety by teaching young people how to function efficiently under the changing climate and its effects. The other equally important part of such training should be aimed at action competence development, enabling real participation in climate mitigation and adaptation at the level of communities or professional activity. This will neutralize feelings of helplessness and make young people ready to act in response to new challenges.

**Results and discussions.** The efficient introduction of CCE should be considered from multiple perspectives, including:

- Availability of university degree programs related to climate changes;
- Development of training courses and curriculum components, dealing with climate changes;
- Introduction of students to new analytical methods for studying climate changes and following their consequences;
- Support of student research work and activities outside the university for the development of climate change adaptation skills and readiness to act;

– Implementation of climate change adaptation issues into the list of professional and general competencies subjects to build the understanding of climate change responses in professional and everyday life.

In Ukraine there are very few offers of the university degrees dealing with the climate changes: Bachelor of Applied Climatology, Bachelor of Meteorology, Agricultural Meteorology and Economics of Climate Change and Master of Meteorology and Climatology. These degree options are offered within the field of the Earth Sciences and only the Bachelor of Meteorology, Agricultural Meteorology and Economics of Climate Change covers wide range of issues, related to climate changes. The situation in the western world is better and our survey of the Study portal yielded 983 Master programs, which include consideration of climate changes as a part of some subjects, and 114 Master programs (11.5%) directly declaring study of climate changes, including only 6 dealing with Adaptation to climate changes (Fig.1). The most typical degrees in the field of climate change are teach general climate change issues, with special focus on climatology, physical grounds of atmospheric processes, prognosis and management of emissions. The next by popularity is Master degree in Climate Change Policy and Development, which is aimed at economic, political and social issues and thus can be also considered a part of teaching adaptation.

Given the increased interest of youth in the Western world to the climate change implications, combined with high level of activism, the number of related university degrees will probably increase in the nearest future.

As for Ukrainian young adults the level of awareness to climate changes is considerably lower, even among the university community. Thus, the survey conducted by the teachers of the Department of Environmental Sciences,

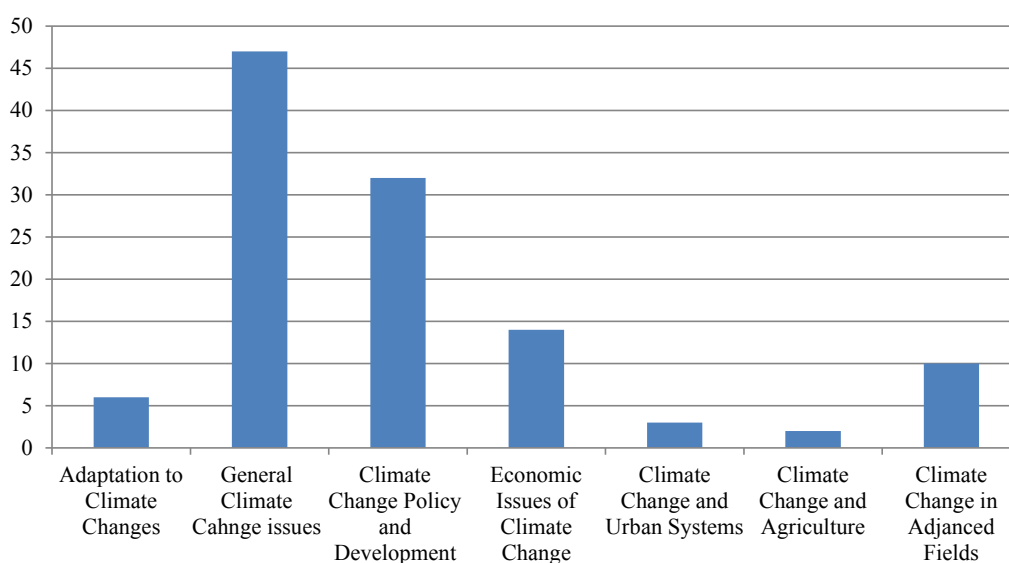


Fig. 1. Climate Changes as a core of university degree programs by specialties (based on the data from the Study portal)

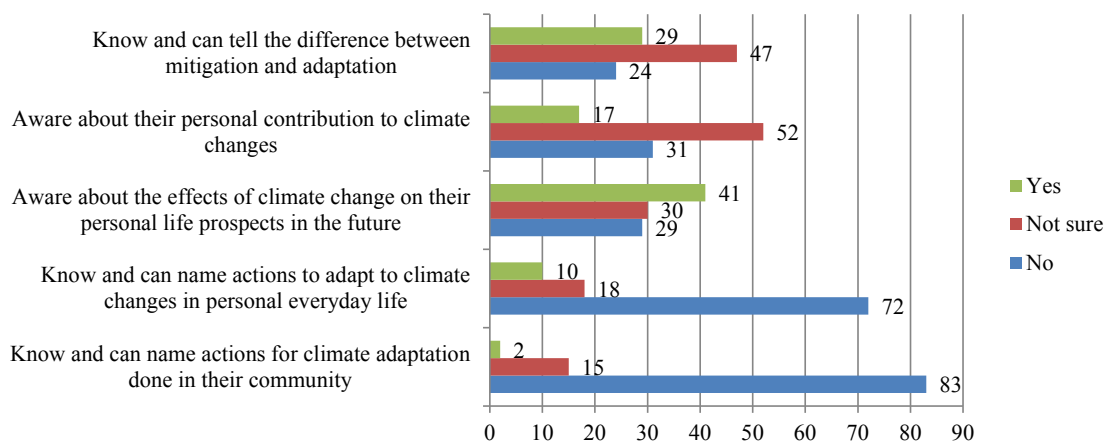


Fig. 2. Results of survey among the students of the National Aviation University on their awareness about climate change implications and adaptation

National Aviation University, in 2018–2022 among the students of technical specialties (Transport technologies, IT, Power Engineering) and Environmental sciences (total number of respondents is 253) showed that they have very fragmented competence in the problem (Fig. 2). The most prominent issue is that they have limited knowledge about personal preparedness to climate changes; thereby the level of their adaptation potential is very low. The lack of knowledge about some adaptation activities in their communities may be conditioned by a variety of reasons, apart from lack of interest to the matter. Such activities may be not well covered in mass media or really absent. However, most of them realize that their personal life can be affected by climate changes, but in most cases, it is perceived through the cost of transportation and energy supply issues. There is an obvious need to expand the presentation of climate change issues in students curricula in terms of adaptation and action competence.

To manage the low level of interest and awareness about the climate changes the Department of Environmental Sciences has introduced the course “Adaptation to Global Climate Changes” offered as an elective subject for students of Master and Bachelor students of all Training Programs (on average 5500 students a year can choose this subject) in 2019–2020, 2020–2021. In 2021–2022 and 2022–2023 it was offered as a subject of choice to the students of the Faculty of environmental safety, technologies and engineering and as an elective charged course to all students. Over this period the total number of enrolled students was 27 Masters (all from the Department of Environmental Sciences) and 103 Bachelors (all from the Department of Environmental Sciences). The absence of the representatives of the other specialties is a problem we need to tackle, since none of the economic branches can avoid negative effects of global climate changes.

The theoretical part and practical classes are primarily based on building understanding of the cause-effect-response interaction in the system of climate

change. The bottom line of the course is the development of draft adaptation plan for a home community, which includes analytical part, aimed at finding and describing vulnerabilities typical for the given community, and synthetic part, in which a road map and characteristics of the necessary actions is developed. The teachers of this subject note that such project-based learning is the best way to understanding of the climate change problem and its place in personal and community life.

In parallel the training plan of the subject “Environmental Science” taught to the students of technical specialties was revised and the theme of climate changes effects, mitigation and adaptation was given separate and broader attention. The implementation of the amended program will start in the next year and after two years of running a new survey is planned to evaluate the feedbacks of students in terms of climate change understanding.

The life of the current youth will progress under the pressure of climate change complications and quality higher education must provide them with the skills of efficient citizens and community members, natural resources users and dwellers of urban environment, accounting related challenges.

**Conclusions.** CCE is a need of the modern world, moreover, it is one of the most important fundamental blocks for the resilience of civilization in this century. As such the CCE is one of those valuable parts of education, which clearly looks into the future and prepares people to stand challenges and thrive, even if the exact.

Climate changes have their footprint in all parts of the educational process and thus must be considered and accounted. First of all, they affect applicability of professional knowledge received by students: changing environment conditions put their limitations of the way many industries can work and output they can receive. Simultaneously, if one is aware of climate change effects of his living and professional activity and posses the skills of adaptation, this competence gradually become obsolete

as conditions are changing in unexpected way due to our inability to make reliable prognosis, lack of analogues and implementation of some mitigation strategies.

Secondly, the quality of competencies obtained through the higher education must be of highest level, but it is impossible if the realities and challenges of the global world are not disclosed to students by educators and not accounted by newly graduated professionals in their work. In these terms CCE is closely connected to ESD and may and should be inextricably linked. It is not the task for government and industry only to change the world, it is we who create consumption patterns and force industries overconsume natural resources and assimilation potential of the environment.

Thirdly, we can thrive under changing climate only if all people are investing their efforts and paying attention to their consumption and level of sustainability, therefore the results of CCE are also affected by overall students' attendance and attainment. But in this case voids in competences may affect all life of young people, apart from professional career development. This brings us to the efficiency of quality management system at higher educational institutions, which works on academic responsibility of both teachers and students. Moreover, university itself is a component of the system and must work on mitigating its contribution into climate changes and adapting its work at all levels to possible pressures of the future.

### References

1. Not just a hot air. Putting CCE into Practice. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2015. 89 p.
2. Stevenson R.B., Nicholls J. Whitehouse, H. What Is CCE? *Curriculum Perspectives*. 2017. 37. P. 67–71. doi: 10.1007/s41297-017-0015-9
3. Grosseck G., Țiru L.G., Bran R.A. Education for Sustainable Development: Evolution and Perspectives: A Bibliometric Review of Research, 1992–2018. *Sustainability*. 2019. 11(21). 6136. doi: 10.3390/su11216136
4. Mochizuki Y., Bryan A. CCE in the context of education for sustainable development: Rationale and principles. *Journal of Education for Sustainable Development*. 2015. 9(1). P. 4–26. doi: 10.1177/09734082155691
5. Learn for our planet: a global review of how environmental issues are integrated in education. Paris: UNESCO, 2021. 48 p.
6. VijayaVenkataRaman, S., Iniyar, S., & Goic, R. A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. 16(1). P. 878–897. doi: 10.1016/j.rser.2011.09.009
7. Ingham A., Ma J., Ulph A. Climate change, mitigation and adaptation with uncertainty and learning, *Energy Policy*. 2007. 35 (11). P. 5354–5369. doi: 10.1016/j.enpol.2006.01.031.
8. Anderson A. CCE for mitigation and adaptation. *Journal of Education for Sustainable Development*. 2012. 6(2). P. 191–206. doi: 10.1177/097340821247519
9. Monroe M.C., Plate R.R., Oxarart A., Bowers A., Chaves W.A. Identifying effective CCE strategies: a systematic review of the research, *Environmental Education Research*. 2019. 25:6. P. 791–812. doi: 10.1080/13504622.2017.1360842
10. Drewes A., Henderson J., Mouza C. Professional development design considerations in CCE: teacher enactment and student learning. *International Journal of Science Education*. 2018. 40:1. P. 67-89. doi: 10.1080/09500693.2017.1397798
11. Leal Filho, W., Sima, M., Sharifi, A., Luetz, J. M., Salvia, A. L., Mifsud, M., ... & Lokupitiya, E. (2021). Handling CCE at universities: an overview. *Environmental Sciences Europe*, 33(1), 1–19. doi: 10.1186/s12302-021-00552-5
12. Molthan-Hill P., Worsfold N., Nagy G.J., Leal Filho W., Mifsud M. CCE for universities: A conceptual framework from an international study. *Journal of Cleaner Production*. 2019. 226. P. 1092–1101. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.053
13. Hickman C., Marks E., Pihkala P., Clayton S., Lewandowski R. E., Mayall E. E., ... van Susteren, L. Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: a global survey. *The Lancet Planetary Health*. 2021. 5(12). P. e863–e873. doi: 10.1016/S2542-5196(21)00278-3.

---

# ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

---

УДК 004.56.5

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.4>

## ЗАХИСТ НАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОПРОСТОРОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ДАНИХ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ ТА ПОВОЄННОГО УСТРОЮ

Шевченко Р.Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ  
azimut90@ukr.net

Розглянуті підходи та механізми захисту даних відкритих та корпоративних картографічних сервісів інтернету екологічного та природоохоронного тематичного змісту з урахуванням специфіки геопросторових екологічних даних, їх побудови, функціонування та зберігання під час активних фаз бойових дій російсько-української війни. Окреслені проблемні питання безпеки тематичних банків екологічних даних відкритих геоінформаційних систем України, що функціонують у відкритих (краудсорсингових) картографічних сервісах інтернету, демонструючи всю повноту еколого-географічної, топографічної та аерокосмічної інформації про Україну. Це, зокрема, геопортали : Google Map, Google Earth, OpenStreetMap, WikiMapia, Panoramio, Mapillary.

Висвітлені питання забезпечення безпеки геоданих, як тематичних шарів у картографічних сервісах інтернету, що є науковою новизною та своєрідним поштовхом до подальших наукових розробок в галузі екологічної геоінформатики та безпеки формування баз даних під час здійснення геоінформаційного еколого-природоохоронного картографування території України.

Розроблена методика забезпечення захисту національних геопросторових екологічних даних України в умовах воєнного стану та повоєнного устрою. Математичний апарат та методику визначення коефіцієнтів безпечності геоданих необхідно розглядати як інструкцію із забезпечення безпеки інтернет-картографування стратегічних галузей господарства України, оцінку їх впливу на довкілля та для потреб стратегічного екологічного проектування. Описується апробація методики аналізу безпеки тематичних баз даних екологічних геопорталів за допомогою систем забезпечення кібербезпеки.

Розглянуті питання стратегії захисту геоінформаційних баз даних відкритих та закритих корпоративних геопорталів із врахуванням специфіки способів використання даних користувачами. Відображено впроваджений мандатний принцип доступу до геоінформаційних систем управління екологічних баз даних України, що дозволяє підвищувати ступінь захищеності геоінформаційних картографічних сервісів (геопорталів) екологічного тематичного спрямування. *Ключові слова:* екологічні геопросторові дані, кібербезпека екологічної інформації, інфраструктура геопросторових даних, захист інформації, геокоінформація, сигнатури екологічних баз.

### **Protection of the National Geospatial Environmental Data of Ukraine during the martial status and the post-war regime. Shevchenko R.Y.**

The purpose of the research presented in the article is to consider the approaches and mechanisms of data protection of open and corporate online cartographic services of environmental and nature protection thematic content, taking into account the specifics of geospatial environmental data, their construction, functioning and storage during the active phases of the Russian-Ukrainian war. Special technical attention and emphasis was placed on the security of the thematic banks of environmental data of open geoinformation systems of Ukraine, which function in open (crowdsourced) mapping services of the Internet, which have not stopped demonstrating all the completeness of ecological-geographical, topographical and aerospace information about Ukraine. This means geoportals: Google Map, Google Earth, OpenStreetMap, WikiMapia, Panoramio, Mapillary.

A special place in the content of the publication is the issue of ensuring the safety of geodata as thematic layers in Internet mapping services. This is a scientific novelty and has progressive interest in further scientific developments in the field of environmental geoinformatics and security of database formation in geoinformational environmental and environmental protection mapping of the territory of Ukraine.

The methodology for ensuring the protection of National Geospatial Ecological Data of Ukraine during the martial law and post-war regime was developed. The mathematical apparatus and methodology for determining geodata safety factors should be considered as instructions for ensuring the safety of online mapping of strategic branches of the economy of Ukraine, assessing their impact on the environment, and for the needs of strategic environmental design. Approbation of the methodology of security analysis of the thematic databases of ecological geoportals with the help of cyber security systems is described.

Issues of the strategy of protection of geoinformation databases of open and closed corporate geoportals are considered, taking into account the specifics of how users use data. The mandated principle of access to geoinformation management systems of environmental databases of Ukraine was developed and implemented, which allows to increase the security class of geoinformation cartographic services (geoportals) with ecological thematic content. *Key words:* ecological geospatial data, cybersecurity of ecological information, geospatial data infrastructure, information protection, geocoinformation, signatures of ecological databases.

**Постановка проблеми.** Воєнний стан в Україні змінив певною мірою ставлення до безпеки національної інфраструктури геопросторових даних. Запровадження та реалізація системи захисту екологічної геоінформації напряму пов'язано із національною системою безпеки та оборони України, яка напряму має відношення до розвитку геоінформаційних технологій. Бойові дії та екоцид природно-заповідного фонду України стали наслідком формування нової концепції формулювання інноваційних програм захисту інформації національного значення. Зміна парадигми ставлення до безпеки геопросторових даних природоохоронної тематики стало імпульсом до розв'язання наукових проблем в галузі кібербезпеки національних геоданих.

**Актуальність дослідження.** В основу захисту екологічних геоданих апіорі покладається твердження про постійну готовність національної інфраструктури геопросторових даних до запобігання загроз та кібератак щодо хмарних геоінформаційних систем (геопорталів). У будь-який час система координування об'єктів ПЗФ України має відбивати загрози DoS-атак, патогенної активності програм-шпигунів із викрадення баз даних відкритих та корпоративних геоінформаційних систем. Цьому сприятимуть інноваційні розробки та реалізація необхідних програмних заходів із захисту, дотримання безпеки системам управління баз геопросторових даних (СУБД), зосередження зусиль із запобігання знищення найбільш цінної державної геоінформації щодо стану довкілля. В сукупності це визначає актуальні напрямки із розробки технічних вимог щодо захисту національних геопросторових екологічних даних України під час активних фаз бойових дій на території України (надзвичайної ситуації воєнного характеру).

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління є відповідальним адміністратором Національного геопорталу природно-заповідного фонду України. Важливий напрямок підтримки функціонування картографічного сервісу інтернету це захист екологічних баз даних та застосування хмарних технологій захисту геопросторової інформації природоохоронного змісту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблема захисту екологічних геопросторових даних України постала із лютого 2022 р., не розв'язання котрої є новітньою інформаційною кібер-загрозою для національної екологічної безпеки України. Апіорі, екологічні та природоохоронні геопросторові дані є відкритими до громадянського суспільства, вітчизняних еколо-просвітницьких та міжнародних волонтерських організацій із моніторингу та захисту довкілля. До недавнього часу взагалі не поставало питання секретності екологічної геоінформації в Україні. Тому спеціальних проблемних нау-

кових публікацій вишукано не було, окрім [4; 5; 6]. Бібліографічні матеріали присутні лише в галузі захисту інформації комерційного та корпоративного спрямування, безпеки баз даних фінансового сектору держави, оборонних галузей знань [7; 8; 9].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття.** Метою дослідження є розробка теоретико-методичних основ технології підвищення безпеки та захисту геоінтелектуальних ресурсів України під час війни у відповідності до чинного законодавства [1; 2; 3]. Їх швидка розробка та застосування є першочерговим завданням при попередженні несанкціонованого доступу, блокування, псування, знищення, розповсюдження, копіювання, фальсифікування противником картографічних доказів проведеного екоциду щодо довкілля України. За допомогою використання комплексу спеціалізованих програмних опцій буде забезпечено дотримання збереження екологічної геоінформації та обмеження (шлюзування) доступу до національних баз даних про довкілля, об'єкти рекреаційної мережі держави, обсягів завданої шкоди навколишньому природному середовищу України. Це все буде необхідно для комплексної оцінки впливу на довкілля внаслідок російсько-української війни, підготовки картографічних матеріалів та документів-доказів у міжнародному екологічному трибуналі.

**Новизна.** Зазначена необхідність захисту національної інфраструктури екологічних баз даних. Кожний оператор геоінформації в Україні зобов'язаний забезпечити захист просторових баз даних від хакерських атак за допомогою комплексу розроблених технологічних заходів та прийомів з дотримання, збереження екологічної інформації, а також обмеження доступу до загальнодоступної екологічної інформації під час війни.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Розроблення вимог щодо безпеки та захисту інфраструктури екологічних геоданих у відкритих геопорталах Google Map, Google Earth, OpenStreetMap, WikiMapia, Panoramio, Mapillary досягається рішеннями запровадження технології координатної затримки точності локалізації об'єктів місцевості, тоб то методами, які покладені в адміністрування будь-якого хмарного геоінформаційного сервісу. Це матиме наслідки у визначенні координатних значень для віддалених (незаконних) користувачів геопорталів. Досягається відповідний результат засобами трансформації операційної системи функцією нового регламентування баз даних геоінформаційних серверів зі зміною прав аудиту-доступу до спеціалізованих тематичних банків даних екологічної інформації.

**Виклад основного матеріалу.** Незважаючи на військові дії в Україні, повноцінно функціонують значна кількість картографічних сервісів, які надають різноформатну геопросторову інформацію про територію України. Це несе загрозу національній

небезпеці та обороні України. Навіть в радянські часи картографічна інформація була жорстко засекречена. Навіть туристичні довідники були оснащені примітивними схемами, особливо при демонстрації території великих міст. Відповідні вимоги не діяли понад тридцять років, що призвело до непоправних наслідків для держави. Це потребує негайних організаційних та технічних заходів для захисту національної геопросторової екологічної інформації.

Технічні аспекти організації безпеки та захисту національної інфраструктури геоданих класифікуються за мірилом просторових даних, які відкрито демонструються в мережі інтернет із тематичним навантаженням екологічного та природоохоронного змісту, призначенням інтернет-карт в залежності від функціонального застосування тематичних шарів геопорталу та особливостями розподілу архітектурних сегментів (сигнатур) геопросторових даних.

Під час воєнного стану в Україні відкриті геоінформаційні портали демонструють всю територію країни або відображаються картографічні моделі за складовими адміністративно-територіального устрою у відповідності до атласу адміністративної реформи [4]. Тобто масштаби геопросторових даних мають загальнонаціональний, регіональний (крайовий), локальний (місцевий) та об'єктовий сегмент.

Регіональні геопортали мають функціональні особливості, які полягають в тому, що еколого-природоохоронна інформація одного картографічного регіонального сервісу буде дублювати географічні бази даних прилеглих громад суміжних областей (країв) України або установ та підвідомчих організацій. Наприклад місто-ексклав Славутич або смт. Коцюбинське Бучанської громади Київської області.

Переважає більшість еколого-природоохоронних геопорталів мають об'єктове мірило. Це плани та карти територіальної організації національних природних парків, заповідників, заказників, експериментальних екологічних полігонів тощо. Але вони функціонують в рамках однієї, наприклад, природно-географічної, кліматичної або рекреаційно-охоронній зоні, такої, як, Смарагдова мережа України.

Для забезпечення геоінформаційного захисту геопросторової екологічної інформації рекомендуються наступні першочергові заходи під час активних бойових дій. Це формулювання текстових та графічних вимог до захисту екоінформації з розробки програмних засобів забезпечення безпеки тематичних баз даних відкритого або корпоративного геопорталу. Поетапна їх розробка та впровадження здійснюються з метою захисту екоінформації в ході експлуатації експериментального картографічного ресурсу об'єкту ПЗФ України ([www.gis.dea.edu.ua](http://www.gis.dea.edu.ua)).

Відповідні технічні вимоги вміщують інформацію про значення геопросторової екоінформації та відповідність кадастру національної системи охорони навколишнього природного середовища; документування та реєстрація унікальності та ексклю-

зивності природного об'єкту, його класифікаційні ознаки в системі екологічного туризму та рекреації. Також надається аналіз потенційних загроз безпеки самій програмі захисту геоданих на базі актуальних сигнатур хмарної системи безпеки картографічного сервісу інтернету.

Запроваджені заходи мають стати запобіжником несанкціонованого доступу (викрадення), навмисного псування, видалення, фальсифікування, компіляції, незаконного розповсюдження геоінформації державної екологічної таємниці України. Відповідний модуль повинен також мати аварійну функцію самознищення геоданих при хакерських атаках конфіденційного спрямування, пов'язаних із зазначенням кількісних та якісних показників систем природокористування та біоресурсів України. Шлюзи потоків кірбергатак повинні автоматично блокуватися на етапі проходження сигналу обміну геоданих у хмарному сервісі геопорталу.

Зазначені технічні засоби забезпечення безпеки екоданих обираються програмістами-геоінформатиками та реалізуються в модулях картографічних сервісів інтернету з прикладною метою захисту самої програмної оболонки геопорталу з урахуванням імовірних загроз безпеці тематичним банкам даних за усіма об'єктами та суб'єктами природоохоронної справи України на апаратному (геоінформаційному), прикладному (картографічному) та мережевому (краудсорсингові, корпоративні та інституціональні топографічні дані) рівнях. Це також має відношення до опцій геовіртуалізації географічної інформації та хмарних обчислювань картометричних опцій геопорталів.

Необхідно окреслити жорсткі умови (вимоги) до забезпечення захисту екологічної інформації природоохоронних установ та організації, які знаходяться в зоні тимчасової окупації. Це насамперед повна заборона доступу до просторової екоінформації (вимкнення геосерверу або його аварійне транспортування до установ державної безпеки України на зберігання). Визначення геолокації за VPN-сервісом та IP-кодом центрів хакерських спроб несанкціонованого доступу (злому) до національної екологічної інформації. Попередження негативних наслідків у разі не конфіденційного доступу до екологічної інформації шляхом припинення передачі даних спеціальними технічними засобами обробки геопросторових сигнатур в мережі інтернет. Відновлення порушеного функціонування тематичних баз даних, яка була знищена в процесі не санкціонованого доступу. Паралельно необхідно здійснювати контроль над рівнями захисту екологічної геоінформації, її перекодування із застосуванням трансферного брандмауера.

Розглянемо детально методи, засоби та прийоми забезпечення кібербезпеки екологічної геопросторової інформації України (рис. 1).

Показники захищеності національної інфраструктури геопросторових екологічних даних України характеризуються функцією захисних



Рис. 1. Система забезпечення кібербезпеки та захисту екологічних геоданих України

модулів, які впливають на фільтрування потоків даних та описуються технічними вимогами до рівнів інформаційної безпеки відкритих баз даних. Пропонується встановити та запровадити в систему інтернет-картографування п'ять класів кібербезпеки геоданих, які визначають спеціалізовані рівні безпеки екологічних банків даних різної тематики. Клас безпеки визначається в залежності від тематичного призначення карти, мірилом геоінформаційної моделі та державним значенням відповідної геоінформації в системі національної безпеки та оборони України. Відповідне відношення можна представити у вигляді формули:

$$L_{(i)} = l * m, \tag{1}$$

де  $L_{(i)}$  – ступінь безпеки геоданих,  $l$  – рівень державного значення геоінформації,  $m$  – мірило картографічної моделі у геопорталі.

Ступінь безпеки геоданих визначається кількісним показником потенційної шкоди державі або користувачу екогеоінформації, або замовнику/оператору геоданих від втрати відповідних баз даних чи порушення геоінформаційної конфіденційності (незаконний доступ, компілювання змістовної частини баз банків, фальсифікація та розповсюдження з метою дискредитації тощо). Відповідний ступінь визначає рівень цілісності збереженої або пошкодженої геоінформації, ранжир зношеності банку даних, геомодифікації координатних систем та обсяг шлюзування відкритої доступності до змісту екологічної інформації у просторовій прив'язці. Математично це виглядає наступним виразом:

$$L_{(i)+N} = (I_{(k)} + L_{(i)}) * \{(I_{(e)} + I_{(i)}) + \{(I_{(d)} + I_{(is)})\}, \tag{2}$$

де  $L_{(i)+N}$  – статус (державне значення) екологічної бази даних геоінформації,  $I_{(k)}$  – коефіцієнт індикативності (конфіденційності) геоінформації,  $L_{(i)}$  – ступінь шкоди державі за методикою центру сертифікації геоінформації,  $I_{(e)}$  – показник цілісності банку екологічних даних,  $I_{(i)}$  – ступінь актуалізації геоінформації, якою можна знехтувати,  $I_{(d)}$  – індекс доступності (відкритості) картографічного сервісу інтернету,  $I_{(is)}$  – ступінь навмисної фальсифікації геоінформації (застосовується при надзвичайній ситуації воєнного характеру).

Статус (державне значення) екологічної бази даних геоінформації визначається Держгеокадастром, Мінзахистдовкілля та СБУ на Раді національної безпеки та оборони України [1]. Водночас визначається ступінь потенційної шкоди державі від втрати відповідного банку даних. Це визначається експертними методами та має ряд наступних класифікаційних ознак.

*Найвищий рівень* небезпеки інфраструктури геопросторових екологічних даних України – червоний рівень. Застосовується в разі порушення одного із вище викладених властивостей безпеки картографічних баз. Це насамперед: конфіденційність, стійкість (цілісність) та закритість (недоступність). В наслідок поширення відповідного рівня до масштабів області або усієї території України є потенційна імовірність негативних подій у державному управлінні у сфері екологічної та техногенної безпеки держави, викликання соціально-політичної, геополітичної, фінансово-економічної кризи. В цей час оператори та адміністратори геопорталів критичної інфраструктури та провідних установ природоохоронної справи не зможуть виконувати покладені на них державною функції.

*Загрозливий рівень* небезпеки інфраструктури геопросторових екологічних даних України – жовто-гарячий рівень. Запроваджується із урахуванням вище зазначених факторів червоного рівня з одним виключенням, що стосується підтримки контролю Держгеокадастром конфіденційності (незламності) просторового (координатного) каркасу тематичних банків даних картографічних сервісів України.

*Потенційно небезпечний рівень* небезпеки інфраструктури геопросторових екологічних даних України – жовтий рівень. Запроваджується при фік-



суванні DoS-атак та координатної локалізації спецслужбами України центрів порушення конфіденційності корпоративних або державних геопорталів.

**Висновки.** Під час оперативного моніторингу безпеки баз даних національних екологічних геопорталів постійно визначається рівень значимості змістовної частини банків даних та частка державної таємниці геопросторової інформації. Це може бути військова таємниця, економічні секретні дані, матеріали природно-техногенної безпеки тощо. Ці відповідні параметри визначаються окремо по кожному із стратегічних складових національної безпеки та оборони за визначеним алгоритмом. Підсумковий коефіцієнт безпеки зберігання екологічної інформації оброблюється за вищевикладеними формулами і встановлюється за критично допустимими показниками ступенів потенційної шкоди, завданої навколишньому природному середовищу, що визначаються параметрами кон-

фіденційності, цілісності та недоступності національної інфраструктури геопросторових екологічних даних ворожим розвідувальним службам.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Методика захисту просторової геоінформації під час воєнного стану та повоєнного устрою може бути апробована для розробки стратегії подальшого (повоєнного) захисту персональних, мережових та інтернет-картографічних моделей наукових установ та організацій України.

Методика захисту геоданих, отриманих слідчими діями при розслідуванні злочинів екоциду буде затребувана для відповідального зберігання мультимасштабних еколого-природоохоронних ревізійно-аналітичних (аудиторських) геоінформаційних карт зруйнованих промислових майданчиків об'єктів критичної інфраструктури та постраждалих природоохоронних (рекреаційних) територій України, які зазнали втрат внаслідок російсько-української війни.

### Література

1. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 23.12.1998 р. № 353-XIV.
2. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» від 23.12.1998 р. № 353-XIV.
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Порядок функціонування національної інфраструктури геопросторових даних» від 26.05.2021 р. № 532.
4. Карпінський Ю.О., Лященко А.А. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні. К. : НДІГК. 2022. 106 с.
5. Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Макаренко Д. Г. Розвиток інфраструктури геопросторових даних: стан, тенденції та проблеми. XXV Міжнародна науково-технічна конференція «*Геофорум-2020*», 1–3 квітня 2020 року, Львів. С. 160–163.
6. Руденко Л. Г., Чабанюк В. С., Бондар А. Л. та ін. Концепція багатопільової національної ГІС України : матеріали науково-практичного семінару з геоінформаційних систем, 22–25 листопада 1993 р., Вінниця – Київ, С. 4–33.
7. Cetl V., Nunes de Lima V., Tomas R., Lutz, J., D'Eugenio M., Nagy A., Robbrecht J. Summary Report on Status of implementation of the INSPIRE Directive in EU, EUR 28930 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
8. Gómez P.M., García M.P., Seco G.G., Santiago A.R., Johnson C.T. The Americas' Spatial Data Infrastructure. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 8 (10), p. 432.
9. Crompvoets J., Vancauwenberghe G., Ho S., Masser I., Timo de Vries W. Governance of national spatial data infrastructures in Europe. IJSDIR, Vol. 13, pp. 253–285.

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТЕХІОМЕТРІЇ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ

Андрєєв В.І., Случак О.І., Случак О.І., Алексєєва А.О., Крисінська Д.О.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

68 Десантників, 10, 54000, м. Миколаїв

[avi@chmnu.edu.ua](mailto:avi@chmnu.edu.ua), [slu4ok@gmail.com](mailto:slu4ok@gmail.com), [ill69mill@gmail.com](mailto:ill69mill@gmail.com),

[anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua](mailto:anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua), [d\\_krysinaska@chmnu.edu.ua](mailto:d_krysinaska@chmnu.edu.ua)

Авторами статті представлено розробку методики моделювання стану харчового ланцюга водної екосистеми в аспекті приросту біомаси продуцентів за екологічною енергетичною стехіометрією. В основі дослідження лежить ряд функцій-синусоїд, розроблених в ході моделювання помісячного надходження сонячної енергії на одиницю площі за широтою. Середній прогнозний показник надходження енергії для півдня України 2518 МДж/м<sup>2</sup> дуже близький до результатів аналогічних прикладних вимірювань в м. Одеса. Для моделювання розраховано середню широту для України 48°23', середні схилання сонця для кожного з 8 місяців за астрономічним календарем (близько 14), а також середні тривалості сонячного дня та визначені на основі цих даних кут падіння та відбиття сонячних променів на воду з урахуванням не тільки кута падіння опівдні, а й зміни протягом дня (кут відбиття коливається в межах 17,5 в Червні до 29,26 в Вересні). Виведено поправочні коефіцієнти для широтності, розраховано відсоткове відношення днів з циклональною погодою, через які виникає зростання відбиття через хмарність та хвили – 638 годин та 30 хв. Розраховано ККД фотосинтезу для основних груп фітопланктонних організмів, що становить 1,98% для Chlorophyta, 2,38% для Cyanophyta, 1,96 для Euglenophyta та 1,65% попередньо для всіх інших. Загальне середнє ККД фотосинтезу таким чином становило 1,83%. З урахуванням площі водного дзеркала, надходження енергії, відбиття, розсіювання та поглинання. Враховуючи ККД фотосинтезу здійснено стехіометричне моделювання приросту біомаси продуцентів. Отримано потенціал депонування вуглекислого газу 2,6 кг/м<sup>2</sup> на рік, виділення кисню 1,92 кг/м<sup>2</sup>, приросту біомаси 1,8 кг/м<sup>2</sup>. Це максимальний потенціал. Дослідження доповнено виведеними поправочними коефіцієнтами на основі енергетичного та токсикологічного індексів екологічної безпеки, ОРР та співвідношення Редфілда. Це дає реальну сумарну енергію на метр квадратний в 12335,66473 кДж, приріст біомаси 773,1266184 г/м<sup>2</sup>. Прогнозна модель дає 577,6 кг/га на рік риби, що є близьким до значення природної біопродуктивності для рослиноїдних риб (505 кг/га). На етапі аналізу харчового ланцюга пропонується додатково використовувати виведену закономірність впливу солоності на ріст макролітів та поправочні коефіцієнти рибопродуктивності для різних ґрунтів. Закладено основу для автоматизації та локального моделювання. *Ключові слова:* екологічна стехіометрія, моделювання біоценозів, ККД фотосинтезу, альbedo водойм, енергетика водної екосистеми, біопродуктивність риб.

**Development of a methodology for modeling the state of the water ecosystem based on the methods of ecological stoichiometry, taking into account the energy approach. Andreev V., Sluchak O., Sluchak O., Alekseeva A., Krysinaska D.**

The article develops a methodology for modeling the state of the food chain of the aquatic ecosystem in terms of biomass growth of producers based on ecological energy stoichiometry. The research is based on a number of sinusoidal functions developed during the simulation of the monthly solar energy arrival per unit area by latitude. The average forecast indicator of energy input for southern Ukraine of 2518 MJ/m<sup>2</sup> is very close to the results of similar applied measurements in Odesa. For modeling, the average latitude for Ukraine is 48°23', the average inclinations of the sun for each of the 8 months according to the astronomical calendar (about 14), as well as the average duration of a sunny day, and the angle of incidence and reflection of the sun's rays on water are determined based on them, taking into account only the angle of incidence at noon, and changes during the day (the angle of reflection ranges from 17.5 in June to 29.26 in September). Correction coefficients for latitude were derived, the percentage ratio of days with cyclonic weather, due to which there is an increase in reflection due to cloudiness and waves, was calculated – 638 hours and 30 minutes. The efficiency of photosynthesis for the main groups of phytoplankton organisms was calculated, which is 1.98% for Chlorophyta, 2.38% for Cyanophyta, 1.96% for Euglenophyta and 1.65% for all others. The overall average efficiency of photosynthesis was thus 1.83%. Taking into account the area of the water mirror, the arrival of energy, reflection, scattering and absorption. Taking into account the efficiency of photosynthesis, a stoichiometric simulation of the increase in biomass of producers was carried out. The potential of carbon dioxide deposition is 2.6 kg/m<sup>2</sup> per year, oxygen release is 1.92 kg/m<sup>2</sup>, and biomass growth is 1.8 kg/m<sup>2</sup>. This is the maximum potential. The study is supplemented by derived correction factors based on energy and toxicological indices of environmental safety, ORP and the Redfield ratio. This gives a real total energy per square meter of 12335.66473 kJ, biomass growth of 773.1266184 g/m<sup>2</sup>. The predictive model yields 577.6 kg/ha per year of fish, which is close to the value of natural bioproductivity for herbivorous fish (505 kg/ha). At the stage of food chain analysis, it is proposed to additionally use the deduced regularity of the effect of salinity on the growth of macroliths and correction coefficients of fish productivity for different soils. The basis for automation and local modeling is laid. *Key words:* ecological stoichiometry, modeling of biocenoses, efficiency of photosynthesis, albedo of water bodies, energetics of water ecosystem, bioproductivity of fish.

**Постановка проблеми.** Проблема оцінювання стану харчового ланцюга водних біоценозів є особливо актуальною в аспектах оцінки безпечних лімітів відбору приросту біоресурсів, потенціалу депонування вуглецю та можливостей асиміляції забрудників водною екосистемою. Загалом подібні дослідження базуються на методах ловів та біоіндикації за шкалами сапробності, трофністю та рядом інших ознак.

Основною складністю в даному випадку є фрагментарність отримуваних даних, що вимагає створення чіткої прогнозової моделі та корегування господарювання в межах її показників.

Одним з відносно новітніх підходів в даному напрямку стала екологічна стехіометрія [1]. Особливо актуальною її зробило зосередження зусиль на депонуванні вуглецю, монетизація якого дозволила провести чітку фінансову оцінку витрат на даний напрям діяльності людини (або оцінку екосистемної послуги такого типу) [2].

В даному дослідженні екологічна стехіометрія тісно переплітається з екологічною енергетикою – значно більш розвинутою, ще з 1800-х років наукою [3], так як реакція фотосинтезу, на якій базується асиміляція енергії сонця та депонування вуглецю, дозволяє робити чіткі оціночні прогнози потенційної вигоди від діяльності природних екосистем.

Крім того, на основі розробленої моделі передачі енергії харчовим ланцюгом, можна встановлювати безпечні ліміти відбору біоресурсів та оцінювати вплив таких виловів на екосистему на основі даних по погодним умовам.

**Метою** даного дослідження стала розробка методики комплексного моделювання стану водної екосистеми на основі методів екологічної стехіометрії, з урахуванням енергетичного підходу.

Відповідно, об'єктом даного дослідження є міграція енергії харчовим ланцюгом водних екосистем, в рамках моделі, розробленої на базі екологічної стехіометрії.

Предметом дослідження виступає екостехіометрично-енергетична модель водних біоценозів України, з урахуванням лімітуючих факторів, включаючи аварійні.

Основні завдання дослідження:

- розробити модель надходження прямої енергії сонячного випромінювання на водне дзеркало водойми з урахуванням: прямої сонячної радіації в певну пору року; хмарності, кута падіння та відбиття, хвилювання, тривалості сонячного дня, площі водного дзеркала, прозорості води;

- на основі формули фотосинтезу вивести формулу для розрахунку реально використаної сонячної енергії без урахування ККД фотосинтезу;

- на основі літературних даних про дослідження водної біоти України визначити: концентрації основних таксонів фітопланктону у відсотковому співвідношенні та знайти дані про їх біопродуктив-

ність, біопродуктивність зоопланктонних організмів (також за групами), біопродуктивність та потребу в кормах трав'яних та всеїдних риб, на основі яких вивести ККД використання сонячної енергії на різних рівнях харчової піраміди;

- вдосконалити модель водних біоценозів за допомогою лімітуючих факторів: активність риб за прогнозами клювання риби (вплив погоди), санітарний пропуск та швидкість течії для проточних водойм, сапробність та трофність водойми;

- створити підґрунтя для доповнення моделі за рахунок концепції водойми як відкритої системи (надходження енергії з зовнішніх екосистем разом з поживними речовинами, харчування водоплаваючої птиці, змиви гранту дощами, виніс біомаси людиною та ін).

**Актуальність дослідження.** В умовах значного антропогенного забруднення водних екосистем, що ускладнюється аварійними скидами та витокami шкідливих речовин внаслідок пошкодження критичної інфраструктури, спричиненого військовими діями, особливої актуальності набувають напрямки розробки та цифровізації комплексної моделі харчових ланцюгів водних біоценозів, яка б дозволила оцінити нанесену екосистемі шкоду, для включення компенсації по даному аспекту до загальної суми репарацій та розробки заходів з рекультивативної постраждалої території.

Дане дослідження присвячено розробці методики моделювання стану водної екосистеми на основі методів екологічної стехіометрії з ухилом в бік міграції енергії харчовим ланцюгом.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження проводилось на базі науково-дослідної частини та кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили в рамках теми «Науково-практичне обґрунтування та визначення стенобіонтного підходу щодо забезпечення національної екологічної безпеки водних екосистем України» (№ держреєстрації 0120U101959).

Робота спрямована на вирішення завдань, визначених Урядом України у сфері зміцнення екологічної безпеки України та Законом України, а саме:

- Законом України «Про Пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» № 3715-VI (Пріоритет 6: широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища);

- Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № 2697-VIII та постановою Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 року №336 «Про затвердження Порядку розроблення плану заходів управління річковим басейном».

- Основні засади дослідження визначено пунктами Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження в напрямку екологічної стехіометрії поверхневих вод, в основному базуються на CNP-підході, тобто обчисленні біодоступності карбону, нітрогену та фосфору для первинної ланки продуцентів [4; 5]. Рідше [6] приділяється увага бактеріальним угрупованням редуцентів та анаеробних продуцентів.

При цьому часто відмічається два основні фактори – сезонна динаміка [7] та антропогенний вплив [8].

Відповідно, в ході формування моделей [9] трофічних ланцюгів для водних екосистем формується модель фонового значення (зазвичай на основі вмісту нітратів, нітритів, фосфатів), що є природним для даних умов та антропогенного навантаження.

Основним джерелом надходження енергії до річкової екосистеми є сонячне випромінювання, поглинуте в ході фотосинтезу. Автори [10] наводять таблицю з середніми показниками активної фотосинтетичної радіації на квадратний метр за періоди 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2006 та хронологією її зміни, в інформаційному джерелі [11] здійснюють районування за показниками геліоресурсів.

Проте, лише в першій з них є аналітика по порам року, і лише для пунктів вимірювання, проте цієї інформації недостатньо для повноцінного моделювання. В даному аспекті формула, яку наводять автори [12] дає змогу дещо краще зрозуміти особливості помісячного розподілу енергії сонячного випромінювання.

Все це корелює з моделями, виведеними нами [13] на основі таблиці помісячних вимірювань прямої сонячної радіації в різних широтах для кожного з місяців [14]. Так було отримано сумарне надходження енергії на  $m^2$  в районі 2518 МДж/ $m^2$  для Миколаївщини та півдня України, в той час як середній показник з таблиці джерела [10] для Одеси – 2510 МДж/ $m^2$ .

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим, присвячується означена стаття.** Дана стаття присвячується вирішенню питань моделювання річного приросту біомаси на основі надходження сонячної енергії в рамках проблеми екологічної стехіометрії в харчовому ланцюзі водного біоценозу, CNP-стехіометрія також розглядається в рамках лімітуючих умов росту фітопланктону за закономірністю Редфілда [15].

**Новизна** дослідження базується на інноваційній концепції енергетичної стехіометрії, що закладає базу для автоматизації моделювання приростів біоресурсів прісних (а за певних корегувань і солоних) водойм для встановлення лімітів вилову, та визначення їх потенційної здатності до депонування вуглецю. Використання погодних факторів, показників надходження сонячної енергії, що можуть вимірюватись люксометрами, та лімітуючих факторів, які також підлягають моніторингу, робить модель динамічною та дозволяє не тільки прогнозувати можли-

вості біоценозу в тривалій перспективі, а й оцінювати її в реальному часі, встановлюючи відповідні риболовні обмеження, проводячи рекультиваційні заходи та оцінюючи завдану їй шкоду.

**Методологічне та загальнонаукове значення.** Екоенергетична стехіометрія водойм є перспективним напрямком для отримання детальної, науково обґрунтованої інформації про функціонування харчових ланцюгів водних екосистем. Результати дослідження можна використовувати в процесі навчання студентів та аспірантів екологічних спеціальностей, для кращого розуміння особливостей формування складних динамічних моделей екосистем.

З наукової точки зору, моделі такого рівня – це запит на контроль над природною екосистемою, тобто розуміння принципів її функціонування на рівні всієї системи та окремого організму, окрім того, це важливе доповнення до системи моніторингу реального часу, крок до майбутніх заходів з локального коригування нанесеної антропогенним впливом шкоди екологічним системам.

**Виклад основного матеріалу.** Розроблена авторами методика включає таку послідовність дій:

1. Визначення площі водного дзеркала та об'єму водойми.
2. Визначення річного надходження прямої сонячної радіації на метр квадратний площі на основі закономірностей, виведених для кожного з місяців вегетаційного періоду за тривалістю світлового дня (без урахування біологічної зими).
3. Коригування показників по отриманій середовищем енергії на основі даних про кількість днів з циклонною погодою (впливає на хмарність, хвилювання), прозорість води (якщо менше метра), зміни кута падіння сонячних променів протягом дня (за схиленням).
4. Визначення відсоткового складу фітопланктонної біомаси по відділам з розрахунком ККД фотосинтезу для кожного з них та обсягів потенційного депонування вуглецю, виділення кисню, фітоекстракції забрудників та нарощування біомаси.
5. Корегування вказаних показників за допомогою коефіцієнтів, що визначають лімітуючі фактори: санітарний стік, ORP, співвідношення Редфілда, рівень забрудненості за індексом сапробності.
6. Розрахунок проходження енергії харчовим ланцюгом з урахуванням норм кормів та посадки для аквакультури та визначення безпечних лімітів відбору біоресурсів з урахуванням плодючості визначених видів.

Вимірювання площі водойми можна реалізувати шляхом обведення водойми в середовищі Google Maps (не можна зберігати, тому великі об'єкти обводити не рекомендуємо), Google Earth, або векторизувати карту в середовищі Mapinfo. По ряду штучних водойм та озер дані про площі водного дзеркала є в довідниках [16], а по річкам таких вимірювань окремо не проводиться, враховуючи складність іден-

тифікації приток. Маючи дані про площу, середню глибину та довжину річки, можемо розрахувати її приблизний об'єм за методикою [17]. По штучним водоймам дані про об'єм є в тих же довідниках.

Було створено прогнозну модель приходу енергії сонячного випромінювання на площу біля поверхні

землі питому енергію сонячного випромінювання для визначених координат [13].

Отримані синусоїди (таблиця 1) відрізняються між собою коефіцієнтами та коефіцієнтом кореляції показників, але мають досить високу для використання в прогнозах репрезентативність.

Таблиця 1

**Функції приходу енергії сонця на метр квадратний площі**

№	Функція	R
1	$E = 121.77 + 144.08 \cdot \cos(0,032 \cdot L - 0,283)$ ,	0,9994
2	$E = 174.44 + 99,04 \cdot \cos(0,037 \cdot L - 0,8099)$ ,	0,9991
3	$E = 239.595 + 45.788 \cdot \cos(0,055 \cdot L - 1,774)$ ,	0,9976
4	$E = 244.243 + 41.52 \cdot \cos(0,058 \cdot L - 1,957)$ ,	0,9956
5	$E = 191.744 + 81.367 \cdot \cos(0,041 \cdot L - 1,029)$ ,	0,9956
6	$E = 123.396 + 139,727 \cdot \cos(0,032 \cdot L - 0,433)$ ,	0,9997
7	$E = 102.213 + 160,82 \cdot \cos(0,029 \cdot L - 0,9385)$ ,	0,9997
8	$E = 129.195 + 133.909 \cdot \cos(0,036 \cdot L - 0,3826)$ ,	0,9998

де E (Energy) – енергія, що надходить до екосистеми на 1 м<sup>2</sup> за годину; L (Latitude) – широта в північній півкулі.

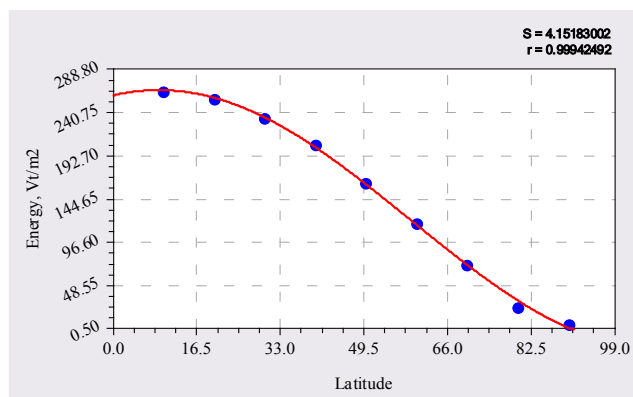


Рис. 1. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Квітня

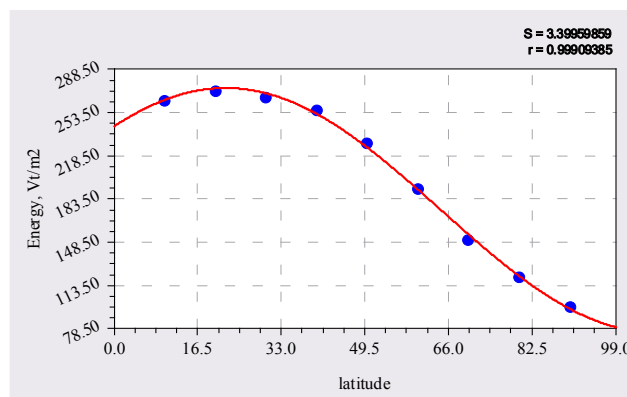


Рис. 2. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Травня

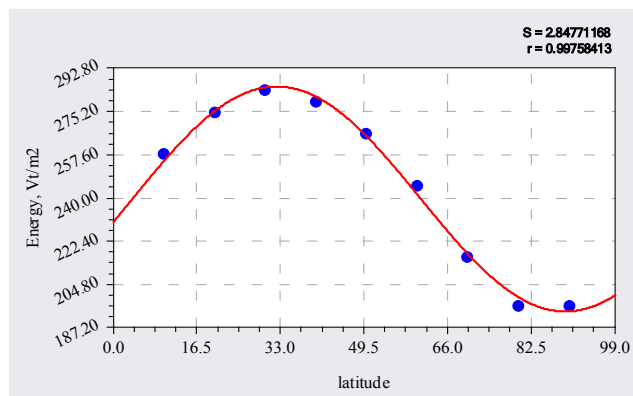


Рис. 3. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Червня

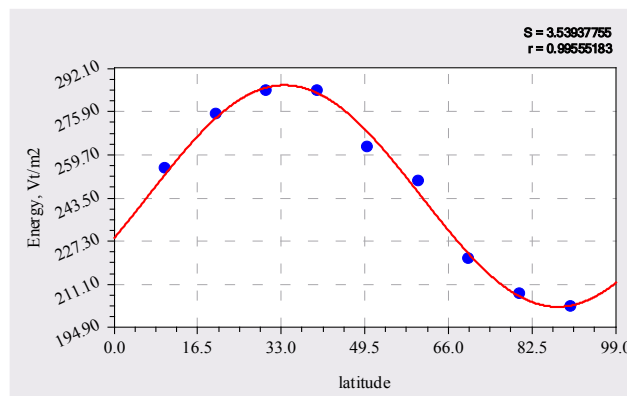


Рис. 4. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Липня

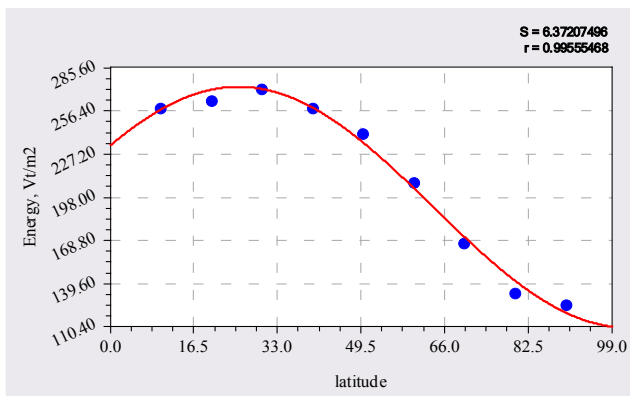


Рис. 5. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Серпня

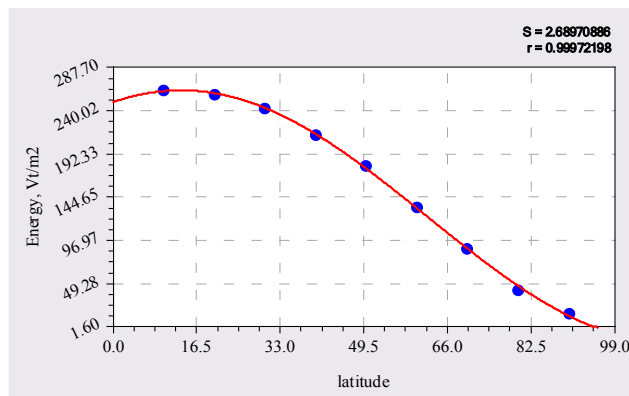


Рис. 6. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Вересня

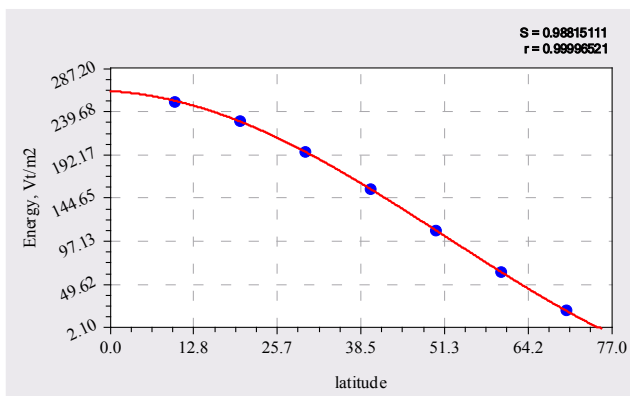


Рис. 7. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Жовтня

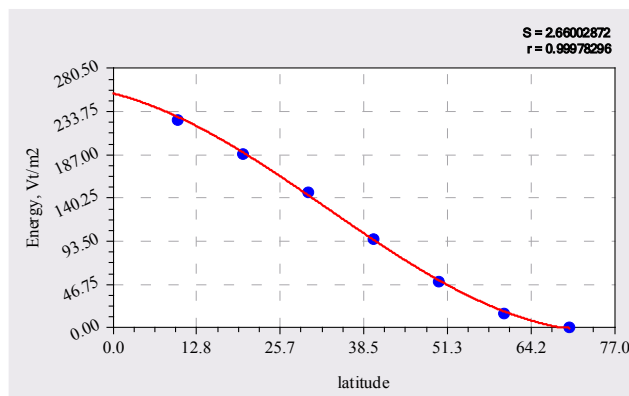


Рис. 8. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Листопада

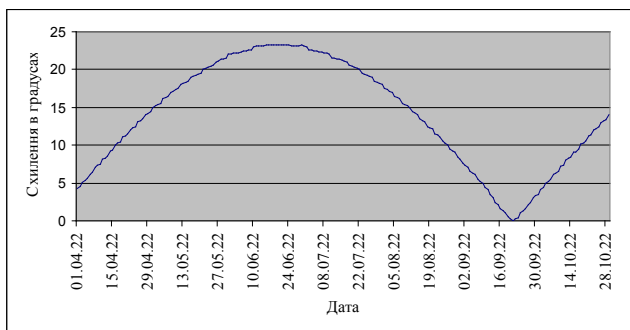


Рис. 9. Графік зміни схилення

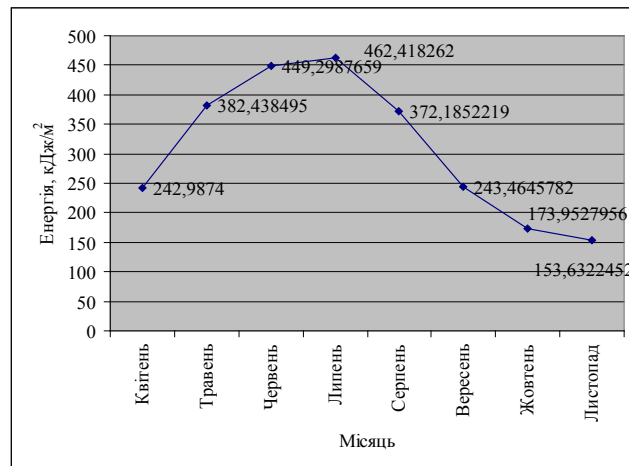


Рис. 10. Помісячний надходження енергії сонця в середньому для України (Дж/м<sup>2</sup>)

Далі необхідно розрахувати тривалість світлового дня, щоб використати узагальнені дані для отримання надходження сонячної енергії. В таблиці 2 зазначено показники розраховані для півдня України, але через один часовий пояс розбіжності будуть невеликими (дані після коми показано саме в хвилиналих). Проте для більш точних досліджень в алгоритмі автоматичного оцінювання для окремої водойми пропонується використовувати дані калькулятора тривалості сонячного дня.

Дані по куту падіння сонячного світла опівдні, а також тривалість світлового дня розраховуємо стандартно за схиленням [18] на основі формули 9 та формули 10.

$$h = 90 - \varphi \pm \delta, \tag{9}$$

де  $\varphi$  – широта,  $\delta$  – схилення.

$$h = 24 - \frac{24}{180} \arccos(\operatorname{tg} \lambda + \operatorname{tg}(\arcsin(\sin \alpha \sin \delta))), \tag{10}$$

де  $\lambda$  – широта точки,  $\delta$  – схилення,  $\alpha$  – широта тропіків 23°27'.

Середнє схилення в вегетаційний період становить 14° [19]. Його зміна відображена на графіку (рис. 9).

Наклавши дані на розроблені моделі було отримано графік помісячного приросту енергії в водоймі (рис. 10).

Наступний крок – визначення ступеню впливу лімітуючих факторів на потрапляння світла в воду. Для цього враховуємо, що при прямому падінні променів на водну поверхню відбиття становить не більше 2%, тому при наступних розрахунках ККД за біопродуктивністю треба домножувати на 0,98. В той же час, при зниженні кута падіння променів до

30°-5°, відбиття збільшується до 25-40% відповідно [20]. Якщо спиратись на лінійність даної функції, то отримуємо формулу (11):

$$y = 43 - 0,6. \tag{11}$$

Після цього розраховуємо кути падіння протягом дня, враховуючи, що кожену годину кут змінюється на 15 градусів відносно висоти сонця опівдні. Так для України в вегетаційний період середня тривалість дня становитиме 13 годин 18 хвилин для середньої розрахункової широти 48°23'.

Таким чином, кути падіння сонячних променів коливатимуться в межах визначених в таблиці 3.

Таблиця 2

**Тривалість сонячного дня в вегетаційний період**

Дата	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
1	12,51	14,28	15,43	15,55	14,58	13,23	11,42
2	12,54	14,31	15,44	15,54	14,55	13,2	11,38
3	12,58	14,34	15,46	15,53	14,52	13,16	11,35
4	13,01	14,37	15,47	15,52	14,49	13,13	11,31
5	13,04	14,4	15,48	15,51	14,47	13,1	11,28
6	13,08	14,43	15,5	15,5	14,44	13,06	11,25
7	13,11	14,46	15,51	15,48	14,41	13,03	11,21
8	13,15	14,49	15,52	15,47	14,38	13	11,18
9	13,18	14,52	15,53	15,46	14,35	12,56	11,14
10	13,21	14,54	15,54	15,44	14,32	12,53	11,11
11	13,25	14,57	15,55	15,43	14,29	12,49	11,08
12	13,28	15	15,55	15,41	14,26	12,46	11,04
13	13,31	15,02	15,56	15,4	14,23	12,43	11,01
14	13,34	15,05	15,57	15,38	14,2	12,39	10,58
15	13,38	15,08	15,57	15,36	14,17	12,36	10,54
16	13,41	15,1	15,58	15,34	14,14	12,32	10,51
17	13,44	15,13	15,58	15,32	14,11	12,29	10,48
18	13,47	15,15	15,58	15,3	14,08	12,26	10,44
19	13,51	15,17	15,59	15,28	14,05	12,22	10,41
20	13,54	15,2	15,59	15,26	14,01	12,19	10,38
21	13,57	15,22	15,59	15,24	13,58	12,16	10,35
22	14	15,24	15,59	15,22	13,55	12,12	10,32
23	14,04	15,26	15,59	15,2	13,52	12,09	10,28
24	14,07	15,28	15,58	15,18	13,49	12,05	10,25
25	14,1	15,3	15,58	15,15	13,46	12,02	10,22
26	14,13	15,32	15,58	15,13	13,42	11,59	10,19
27	14,16	15,34	15,57	15,1	13,39	11,55	10,16
28	14,19	15,36	15,57	15,08	13,36	11,52	10,12
29	14,22	15,38	15,56	15,05	13,33	11,48	10,09
30	14,25	15,39	15,55	15,03	13,29	11,45	10,06
31		15,41		15	13,26		10,03
Усього	404,07	463,11	466,36	475,26	434,1	371,44	331,17

Таблиця 3

**Кути падіння сонячних променів опівдні**

Місяць	4	5	6	7	8	9	10	11
День	13,469	14,93903	15,54533	15,31806	13,99032	12,38133	10,6829	13,92
Схилення	9,56	18,55	23	21	13,46935	3,4	8,520355	18,376
Кут	51,56	60,55	65	63	55,46935	45,4	50,52035	66,606

Таблиця 4

## Кути падіння сонячних променів та відсоток відбиття протягом доби

Кути	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад
Падіння	29,06	38,05	42,5	40,5	32,96935	22,9	28,02035	23,394
Відбиття	25,564	20,17	17,5	18,7	23,21839	29,26	26,18779	28,9636

Таблиця 5

Поправочні коефіцієнти відбиття  $\gamma$  сонячного випромінювання

Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад
0,74436	0,7983	0,825	0,813	0,767816	0,7074	0,738122	0,710364

Тоді середні кути падіння сонячних променів протягом доби визначаються за коливаннями в межах значень, менших за пікові з кроком в 15 градусів. Це дає нам результати, наведені в таблиці 4.

Відповідно, отримуємо таблицю поправочних коефіцієнтів для відбиття сонячних променів (таблиця 5):

Для хвилювання ступінь відбиття також збільшується. Наприклад, при легкому хвилюванні відбиття збільшується до 15%, при сильному – до 30%. Тут за основу беремо показник в 130 днів на рік, що становить 35,6% від всього часу, що враховуватиметься в вимірюваннях. Подібні ж дані наводять автори [21] для хмарності, що дозволяє здійснити потрібний розрахунок в середньому, а для конкретних об'єктів краще використовувати місцеві дані по клімату.

Враховуючи, що хмарність та вітер є ознаками циклональної погоди, вважатимемо, що дані по хмарності корелюють з циклонами, а тому влітку стає вдвічі менше хмарних днів близько 30% (40 % для півночі, 30% центр та частина півдня і 20% Крим), взимку їх близько 60%. Це означає, що за 244 дні вегетаційного періоду, що становить 3218 годин та 34 хвилини з 5856 тобто близько 54,95%, віднявши зимові 70%, отримуємо 72,6 з 130 днів з циклональною погодою, тобто на вегетаційний період лишилося 48,4 доби, з яких лише 54,95% припадуть на світлий час. Це 638 годин та 30 хв. Це дає 19,83% хмарного та вітряного часу. Вважатимемо, що вони впливають на поглинання сонячного світла в середньому на 20% тільки в зазначений період.

Період хвилювання та хмарності ми позначаємо додатковим коефіцієнтом  $\mu = 0,8$ .

Відповідно реально доступна ФАР (фотосинтетична активна радіація) визначається через окремий розрахунок з використанням поправочних коефіцієнтів відбиття  $\gamma$  до даних рисунку 10, але з урахуванням, що дані величини розраховуються для 80,17% часу (використовуємо коефіцієнт 0,8017 разом з ними) (12):

$$\Phi AP_{\text{ясн}} = 0,8017\gamma E, \quad (12)$$

Для циклональної погоди використовуємо коефіцієнт  $\gamma$  разом з коефіцієнтами хмарності  $\mu = 0,8$  та часткою від загального часу 0,1983 (13):

$$\Phi AP_{\text{ясн}} = 0,1983\gamma\mu E, \quad (13)$$

Їх сума і визначатиме загальне надходження енергії в водойму після поправки на погодні чинники (14).

$$\Phi AP_{\text{ясн}} = 0,8017\gamma E + 0,1983\gamma\mu E. \quad (14)$$

Таким чином отримано результати надходження енергії під дією погодних чинників (рис. 11).

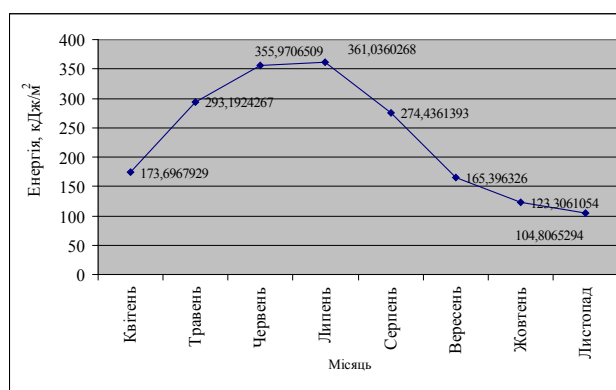


Рис. 11. Надходження енергії після дії погодних чинників

Отримана загальна сума становить близько 0,75 від первинного значення, що є дещо вищим, ніж ми розраховували.

Наступним кроком є стехіометрія реакції фотосинтезу [13]. Для початку варто внести ще один поправочний коефіцієнт, що характеризує поглинання випромінювання товщею води. Для поглинання світла прозорою водою основою є поглинання на глибині 1 м 36% червоного спектру (620–760 нм), 23% помаранчевого (585–620 нм), 7% жовтого (575–585 нм), 1,6% зеленого (510–550 нм) та 0,5% синього (450–480 нм). Глибину літоралі використовуємо як поправочний коефіцієнт для цих значень. Середня прозорість води для річок України 1,15 м за диском Секкі, але забруднені річки можуть мати набагато нижчу прозорість. Вважаємо, що поправочних коефіцієнтів потребують лише водойми з глибиною літоралі менше 1 м, а фотосинтез відбувається в цьому верхньому шарі.

Для фотосинтезу використовується випромінювання з довжиною хвилі 400–700 нм, що автоматично встановлює верхню планку ККД фотосинтезу в 11% [22], а також робить актуальними поправочні коефі-



цієнти вказані вище. Середній показник поглинутого світла в такому випадку становитиме 13,62%, що потребуватиме введення додаткового коефіцієнту 0,8638 при розрахунку використаної в фотосинтезі енергії. Сумарно це дає 1567,628 МДж енергії на метр квадратний на рік.

Далі, при оцінюванні обсягів засвоєння сонячної енергії автотрофами, необхідно визначати відсоткове співвідношення в біомасі їх основних відділів – *Syanoophyta* (ціанобактерії) 14%; *Bacillariophyta* (діатомові водорості) 43%; *Chlorophyta* (зелені водорості) 16%; *Euglenophyta* (евгленіди) 7%; *Dinophyta* (динофлагеляти) 1 7%[23]; *Cryptophyta* (криптофіти), *Chrysophyta* (хризоліти, золоті водорості) та інші – сумарно 3%.

Тепер необхідно визначити їх ККД фотосинтезу за біопродуктивністю в біореакторах [24].

Визначаємо, що при надходженні енергії в 4,5 Вт/л (або 16200 Дж) в умовно ідеальному середовищі (пам'ятаємо про 2% поглинання, що дає 15860 Дж) отримано продуктивність найпоширеніших груп *Chlorophyta* в 0,525 г/добу, або 0,021875 г/год, що при калорійності 4,72 ккал/г дає 0,10325 ккал/год в літрі води, або 432,2871 Дж. Це дає нам ККД фотосинтезу біля 2,73%. Нормальне значення в 0,38 г/добу аналогічним чином дає ККД фотосинтезу 1,98 % і буде вважатись основним при розрахунках.

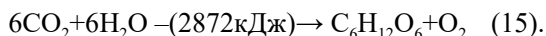
Для *Syanoophyta* такий приріст становив близько 0,49 г/добу, або 0,02042г/год, що при калорійності 4,41 ккал/г дає 0,0901 ккал, або 377,23068 Дж. Це дає ККД фотосинтезу близько 2,38%.

*Euglenophyta* дала приріст 0,81 г/добу при подвоєному освітленні, тобто 9,44 Вт/л, або 33984 Дж. При калорійності, аналогічній до зелених водоростей, та прирості 0,03375 г/год, дає 0,1593 ккал або 666,96 Дж. Це означає ККД 1,96%.

ККД для всіх інших видів за відсутності даних вважатимемо в районі 1,65% відповідно до даних на яких базувалась попередня модель.

Таким чином отримуємо загальний ККД 1,83%.

Рух енергії через стехіометрію кисню виражається за допомогою еквівалентної величини затрат 2872кДж енергії на генерацію 192 г O<sub>2</sub> в процесі синтезу 1 моль глюкози (180 г).



Враховуючи те, що на рік за нашим розрахунком до 1 м<sup>2</sup> площі водойми потрапляє 1567,628 МДж/м<sup>2</sup>, ми можемо розрахувати ФАР з урахуванням ККД фотосинтезу 28687,5924 кДж, що супроводжується виділенням 1917,833 48 г (біля 1,92 кг) кисню та депонування 2637,02103 г (біля 2,6 кг) вуглекислого газу (0,2729 цієї величини це вуглець, що дає за депонування вигоду 0,0698 доллара з м<sup>2</sup>) та приросту 1797,96888 г (біля 1,8 кг) біомаси.

Проте, цей розрахунок необхідно також доповнити лімітуючими факторами для біоти, що визначаються солоністю, перемішуванням, ORP, впливом

забруднюючих речовин та рядом інших факторів, які системно впливають на організми. Всі ці фактори можна об'єднати в формулі розрахунку індексу екологічної безпеки водойми [25].

Окисно-відновний (редокс) потенціал є величиною, яка відображає баланс між постачанням йонів відновника (водню) водоймою та приходом кисню як окисника з атмосфери. Разом з показником рН, ORP дозволяє скласти уявлення про так званий «поживний клімат» у воді через розрахунок показника гН (16) – десяткового логарифму, що визначає тиск йонів водню в редокс-системі.

$$rH = \frac{E}{28,9} + 2pH, \quad (16)$$

де E – редокс потенціал.

Величина гН встановлює шкалу окисного потенціалу води:

40-42 – атмосфера кисню з максимальним окисленням;

35 – сильне окислення;

30 – помірне окислення;

25 – слабке окислення;

20 – слабке відновлення;

15 – помірне відновлення;

10 – сильне відновлення;

0-5 – атмосфера водню.

Для водних істот оптимумом є показник 16-36, а для водних рослин 27-36.

Оскільки узагальнених даних в літературі не знайдено, спиратимемось на результати власних вимірювань для річки Південний Буг. В таблиці 5 наведено результати аналізу даних, отриманих в ході експедиції 2021 року.

Таблиця 5

**Результати вимірювань Редокс-потенціалу вод річки Південний Буг**

ORP	pH	rH
-37,4	7,7	14,10588
-56	8,02	14,10228
-67,5	8,18	14,02436
-67	8,13	13,94166
-67,8	8,2	14,05398
-81,6	8,45	14,07647
-96,7	8,71	14,07398

Отримані величини гН дозволяють констатувати, що середовище не є оптимальним і в цілому показник близько 14, є вдвічі нижчим за оптимум для водних рослин. Відповідно, треба застосовувати поправочний коефіцієнт 0,5 для отриманих раніше результатів.

Разом з тим необхідно визначити достатність будівельного матеріалу для фітопланктону за закономірністю Редфілда. Це важливий показник для NCP-стехіометрії. Така величина 106(C):16(N):1(P)

є оптимумом.

За запитом на підприємство «Спіруліна ЛТД» було отримано дані про споживання добрив на одиницю маси за вирощування в резервуарах – 200 мг/г сухої речовини спіруліни азоту. Відповідно, розрахунок за закономірністю Редфілда демонструє, що споживання фосфору становитиме 12,5 мг/г сухої маси а поглинання вуглецю 1325 мг/г сухої маси. В нашому випадку в більшості водойм наявний надлишок сполук азоту та фосфору, спричинений антропогенним впливом, тому тут скоріше йдеться саме про біоекстракцію забрудників. Поправочний коефіцієнт не вводиться.

Окрім того, було розроблено методики оцінки токсикологічного та енергетичного відгуку для водойми, що також є частиною тих самих лімітуючих коефіцієнтів [26].

$$IEB_r = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n k_s}, \quad (16)$$

де  $k_i$  – показник смертності стенобіонтів при перевищенні  $i$ -ої концентрації забруднювача у природному середовищі.

$IEB_r = 0,1294e^{0,031x}$ , представлена експоненціальна функцією по віддаленості від гирла. Її розрахунок ведеться на основі відповідності санітарного пропуску. Швидкість течії має бути не менше 0,29 м/с. Для Південного Бугу цей показник становить 0,14 м/с і це означає потребу в введенні коефіцієнту  $IEB_r$ , що становитиме 0,48.

Паралельно з цим за смертністю та видовим різноманіттям стенобіонтів розраховується другий ІЕБе – енергетичний індекс екологічної безпеки (17).

$$IEB_e = \frac{1}{n} \left( \frac{E_1}{E_{01}} + \frac{E_2}{E_{02}} + \dots + \frac{E_n}{E_{0n}} \right), \quad (17)$$

де величини від  $E_1$  до  $E_n$  характеризують сучасні показники чисельності або щільності живих компонентів певного виду в екосистемі;

$E_{01}$  до  $E_{0n}$  – історично зафіксовані та прийняті за «еталонні» значення показників чисельності (щільності) живих компонентів певного виду в екосистемі. Для Бугу він становить 0,31. Це вказує на помірний рівень забрудненості водойми (III клас), що цілком відповідає оцінкам за ІЗВ.

Ще одним лімітуючим фактором, визначеним в процесі дослідження був вплив солоності на ріст макроритів, що визначається формулою (18)

$$y = -11x + 361,7. \quad (18)$$

Цей коефіцієнт застосовується залежно від умов водойми при моделюванні відповідного рівня трофічної піраміди.

Виведені коефіцієнти необхідно усереднювати, а не використовувати кожен окремо, тому чим більше факторів враховано, тим точніша модель в прикладному аспекті, але для загальної картини достатньо і одного з них.

В нашому випадку – це буде поправочний коефіцієнт 0,43, що є усередненим від усіх попередніх.

Це дає реальну сумарну енергію на метр квадратний в 12335,66473 кДж, приріст біомаси 773,1266184 г з квадратного метра поверхні водойми і 30 \$ за депонування вуглецю.

Мірою Прозорості води служить висота стовпа води, при якій можна спостерігати білий диск-прозоромір (диск Секкі) певних розмірів, що його занурюють у воду, або розрізняти на білому папері стандартний шрифт певного розміру і типу. Прозорість одночасно є і глибиною літоралі.

Формула для визначення евтрофікації (19):

$$C_{fit} = 0,1 \sqrt{\left( \frac{\frac{1}{h} - 0,04}{0,158} \right)^3}, \quad (19)$$

Це дає можливість розрахувати значення прозорості води, яке стане поправочним коефіцієнтом для моделювання масо-об'ємної стратифікації продуктів в водоймі (20).

$$h = \frac{2}{0,04 + 0,158 \cdot \sqrt[3]{(10 \cdot C)_{fit}^2}}. \quad (20)$$

Концентрацію фітопланктону  $C_{fit}$  розраховуємо за насиченістю киснем, за співвідношенням 1 г органічної речовини фітопланктону, що є рівним 21,35527 кДж енергії або 1,5 г кисню та дає біомасу 5776,40389 г/м<sup>2</sup> або  $C_{fit}$  в обсязі 332,43 г/м<sup>3</sup> на рік, 332,43 мг/л (водні ресурси поверхневих вод України близько 12074 км<sup>2</sup> водного дзеркала та 209,8 км<sup>3</sup> об'єму). Враховуючи розподіл на 8 місяців вегетаційного періоду, то концентрації теоретично можуть коливатись від 1,38 до 41,6 мг/л.

За правилом трофічного ланцюга це означає, що макрозообентос та фільтратори матимуть теоретичний приріст біомаси 577,64 г/м<sup>2</sup>, риби 57,76 г/м<sup>2</sup>, хижі риби – 5,76 г/м<sup>2</sup>.

Враховуючи те, що індексування сапробності водойм відбувається саме за щільністю посадки та видовим різноманіттям організмів з даної групи, ці норми можуть бути використані як еталонні значення. Тобто не здійснення визначення сапробності за біотою, а прогнозування стану біоти на визначеному рівні за сапробністю водойми.

Враховуючи те, що попередня ланка є кормовою базою наступної, можемо прогнозувати відновлювані ресурси у вигляді рибних запасів. Це означатиме потенційні відновлювані ресурси риби в 577,6 кг/га на рік. Проте, в практиці аквакультури є дані, на які можна орієнтуватись – чіткі норми по природній рибопродуктивності для ставків, що становить в середньому 505 кг/га для рослиноїдних видів риб та 340 кг/га для коропа. При цьому застосовуються поправочні коефіцієнти для різних ґрунтів вирощувальних ставів: галькові, піщані та солончакові, торф'яні та чорноземи відповідно – 0,4; 0,6; 0,5; 1,2 [27].

Їх використання в прогнозуванні для біоресурсів в харчовому ланцюзі є обов'язковим.

Крім того, для природних екосистем варто також враховувати погодні явища, що визначаються багатьма ресурсами у вигляді прогнозів клювання різних порід риби. Дані прогнози від 1 до 5 балів відображають інтенсивність харчування, а відповідно і приросту біомаси риби. Їх можна відображати у вигляді коефіцієнтів з кроком в 0,2 за бал.

Винос біомаси може бути визначений за статистичними даними про вилов водних ресурсів, а також у вигляді прогнозу на основі даних про потреби в харчуванні водоплавної птиці та про її чисельність.

**Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження.** Відповідно, отриманий алгоритм дозволяє створити базу для динамічного точкового прогнозування біопродуктивності водних біоценозів на першому рівні – продуцентів. Це дозволяє характеризувати водні екосистеми, як відкриті системи, в які відбувається занесення енергії сонця та виніс біомаси. Використання астрономічних даних та динамічних показників дозволяє створити автоматизований алгоритм, що аналізуватиме біопродуктивність водойм, спираючись на дані про їх розмір, координати, погодні умови та ряд інших динамічних факторів.

В результаті проведеного дослідження отримано:

- функції надходження сонячної енергії на одиницю площі в вегетаційний період (8 синусоїд);
- метод розрахунку поправочних коефіцієнтів на основі широтності, з урахуванням зміни кута падіння сонячних променів протягом дня та циклональної погоди;
- метод розрахунку ККД фотосинтезу основних груп мікро водоростей за їх біопродуктивністю в біореакторах;
- лімітуючі коефіцієнти визначені перемішуванням, токсико-екологічним відгуком, НСР-співвідношенням Редфілда та солоністю;

- модель екологічної стехіометрії фотосинтезу продуцентів водойм з отриманням для прикладу середнього результату для України.

Отримана методика дозволить в ГІС-пакетах накладати на векторне зображення водойми сітку з кроком в 1 м<sup>2</sup> та за означеними формулами визначити локальну потенційну біопродуктивність потенційно за розробленою моделлю та реально за NDVI-індексом з супутникових знімків. Для більш точного моделювання необхідно провести прикладні дослідження біопродуктивності найпоширеніших в українських водоймах видів фітопланктонних організмів та моніторинг динаміки їх сезонних коливань чисельності. Крім того, необхідно створити векторну карту водойм, де кожна з них була б обведена окремо.

Отримана модель є базою для розробки програмного забезпечення, здатного здійснювати поточні розрахунки для прогнозування стану екосистеми водойми в реальному часі. Автоматичний розрахунок для кожного метру квадратного поверхні водного дзеркала з урахуванням його точних координат, погодних умов, дна, швидкості течії та найпоширеніших угруповань фітопланктону, макрозообентосу та риби дозволить створити детальну динамічну модель стану водного біоценозу.

Завдяки чому можна буде з високою точністю оцінювати прогнозні ресурси біомаси, можливості з депонування вуглецю та інші властивості водойми.

В перспективі буде проведено ряд робіт з оцифрування карт водойм, визначення ККД фотосинтезу основних фітопланктонних культур та налаштування програми, що здійснюватиме моделювання на основі даних з відкритих джерел. Отримані результати буде доповнено новими даними власних польових вимірювань, подальшою розробкою послідовної стратегії досліджень річок півдня України, в рамках проведення подальших наукових робіт та виконання практики студентами екологами ЧНУ ім. Петра Могили.

### Література

1. R. W. Sterner and J. J. Elser (2002) *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton University Press. pp. 584. ISBN 069107491.
2. 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](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).
3. Lindeman R. L. The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology (PDF). *Ecology*. 23 (4), P. 399–417. URL: <https://doi.org/10.2307/1930126> (дата звернення 10.10.2022).
4. Ling Meng, Fanzhu Qu, Xiaoli Bi, Jiangbao Xia, Yunzhao Li, Xuehong Wang, Junbao Yu, Elemental stoichiometry (C, N, P) of soil in the Yellow River Delta nature reserve: Understanding N and P status of soil in the coastal estuary. *Science of The Total Environment*, Volume 751, 2021, 141737, ISSN 0048-9697, URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141737> (дата звернення 10.10.2022).
5. Лакуста О. Н., Руденко С. С. CNP-стехиометрия трансграничных рек – Днестра, Прута и Сирета – на выходе из Украины. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 5 (69). URL: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2017.05.002> (дата звернення 10.10.2022).
6. Yong Li, Enze Kang, Bing Song, Jinsong Wang, Xiaodong Zhang, Jinzhi Wang, Meng Li, Liang Yan, Zhongqing Yan, Kerou Zhang, Haidong Wu, Xiaoming Kang, Soil salinity and nutrients availability drive patterns in bacterial community and diversity along succession gradient in the Yellow River Delta. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Volume 262, 2021, 107621, ISSN 0272-7714. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107621> (дата звернення 10.10.2022).

7. Qiongqiong Lu, Junhong Bai, Guangliang Zhang, Qingqing Zhao, Jianjun Wu, Spatial and seasonal distribution of carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur and their ecological stoichiometry in wetland soils along a water and salt gradient in the Yellow River Delta, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2018. Volume 104. Pages 9–17, ISSN 1474-7065. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.04.001> (дата звернення 10.10.2022).
8. Руденко С. С. Вплив антропогенних чинників на CNP-стехіометрію води річкових екосистем. Біологічні системи. 2018. Т. 10, Вип. 2. С. 169–175. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/biolsist\\_2018\\_10\\_2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/biolsist_2018_10_2_12) (дата звернення 10.10.2022).
9. Annette B.G. Janssen, Sven Teurlincx, Arthur H.W. Beusen, Mark A.J. Huijbregts, Jasmijn Rost, Aafke M. Schipper, Laura M.S. Seelen, Wolf M. Mooij, Jan H. Janse, PCLake+: A process-based ecological model to assess the trophic state of stratified and non-stratified freshwater lakes worldwide. *Ecological Modelling*. 2019. Volume 396. Pages 23–32. ISSN 0304-3800, URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.01.006> (дата звернення 10.10.2022).
10. Рибченко Л. С., Ревера Т. О. Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2007. Вип. 256. С. 99–111. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/51523> (дата звернення 10.10.2022).
11. Дмитренко Л. В., Барандіч С. Л. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2007. Вип. 256. С. 121–129. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/51525> (дата звернення 10.10.2022).
12. Jaromír Petřáala. Simple analytic formula for the light-tube optical efficiency under overcast sky conditions. *Solar Energy*. 2019. Volume 194. Pages 47–50. ISSN 0038-092X. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.032> (дата звернення 12.10.2022).
13. Андреев В.І., Случак О.І., Случак О.І. Энергетика водной экосистемы. *Екологія та раціональне природокористування* : збір. тез доп. конф. Ольвійський форум – 2022: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2022. С. 5–10.
14. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы современных измерений глобального климата. Л., 1980, 279 с.
15. Redfield, A.C. On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton. *James Johnstone Memorial Volume*, University Press of Liverpool, 176–192. URL: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1883475](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1883475) (дата звернення 12.10.2022).
16. Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки : Довідник / За ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. Київ : Інтерпрес, 2014. 164 с.
17. Han J., LeeD., Lee S., Chung S.–W., KimS. J.,Park M., LimK. J.,Kim J. (2019). Evaluation of the Effect of Channel Geometry on Streamflow and Water Quality Modeling and Modification of Channel Geometry Module in SWAT: A Case Study of the Andong Dam Watershed. *Water*. Volume 11, 718. URL: <https://doi:10.3390/w11040718> (дата звернення 12.10.2022).
18. Схилення. Астрономічний енциклопедичний словник / за заг. ред. І. А. Климишина та А. О. Корсунь. Львів : Голов. астроном. обсерваторія НАН України : Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка, 2003. С. 465.
19. Астрономічний календар. 2022 / ред. кол.: А. П. Відьмаченко (гол. ред.) та ін.; ГАО НАН України. Київ : Академперіодика, 2021. 214 с. URL: [https://www.mao.kiev.ua/docs/artid080\\_calendar-2022.pdf](https://www.mao.kiev.ua/docs/artid080_calendar-2022.pdf) (дата звернення 16.10.2022).
20. Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г. Общая гидрология. Л., 1973. 462 с.
21. Краковська С. В., Паламарчук Л. В., Білозерова А. К., Шпиталь Т. М. Загальна хмарність в Україні до середини XXI ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей. *Геоінформатика*. 2017. № 3. С. 56–66. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf\\_2017\\_3\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2017_3_9) (дата звернення 16.10.2022).
22. Miyamoto, K. (1997). Renewable Biological Systems for Alternative Sustainable Energy Production. Issue 128 of FAO Agricultural Services Bulletin, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/3/w7241e/w7241e05.htm#1.2.1> (дата звернення 16.10.2022).
23. Мінаєва, Г. М. Структурно-функціональні характеристики фітопланктону водотоків нижнього Дніпра. *Природничий альманах (біологічні науки)*. 2021. (30), 75–83. URL: <http://na.kspu.edu/index.php/na/article/view/653> (дата звернення 16.10.2022).
24. Урмыч Е. М., Бердыкулов Х. А., Эшпулатова М. Б. Продуктивность микроводорослей в интенсивных условиях культивирования. *Альгология*. 2008. Т. 18, № 3. С. 347–352. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/algol\\_2008\\_18\\_3\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/algol_2008_18_3_14) (дата звернення 16.10.2022).
25. Mityasova O., Pohrebennyk V., Bezsonov Y., Mats A. Environmental Risk and State of Surface Water Resources. *Climate Change & Sustainable Development: New Challenges of the Century* : Monograph. Mykolaiv : PMBSNU. Rzeszow: RzUT, 2021. P. 279–288. URL: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/MONOGRAPH-2.pdf>. (дата звернення 18.10.2022).
26. Bezsonov Y., Andreev V. Justification and formalization of approach to regional environmental safety evaluation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. URL: <https://doi.org/2.9.10.15587/1729-4061.2016.64843> (дата звернення 18.10.2022).
27. Андрущенко А. І., Алимов С. І. Ставове рибництво. Київ : НАУ, 2008. 636 с. URL: <https://uteka.ua/ua/publication/agro-4-gospodarski-operacii-v-agrosektori-35-praktichni-rekomendacii-shhodo-zariblennya-viroshhuvalnix-staviv> (дата звернення 20.10.2022).

## ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ЯК ДЖЕРЕЛА ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Магась Н.І.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
пр. Героїв України, 9, 54025, м. Миколаїв  
nataly.magasy@gmail.com

Україна належить до числа держав з незначними запасами прісної вод. Гострий дефіцит цього ресурсу спостерігається у південному регіоні держави, зокрема у Миколаївській області. Водні ресурси області є дуже обмеженими і залежать переважно від притоку з інших регіонів країни. Частково проблему з кількістю прісної води для обласного центру було вирішено за рахунок водопостачання з річки Дніпро. У більшості невеликих містечок питання водозабезпечення й досі не вирішене. У роботі розглянуто питання оцінки якості води р.Південний Буг як джерела питного водопостачання на території Миколаївської області. За результатами аналізу структури та тенденцій зміни використання прісної води на території області встановлено, що на господарсько-питні потреби використовується не більше 22% від загального обсягу використаних вод. Найбільший рівень водоспоживання для задоволення виробничих потреб. Оцінку рівня екологічної безпеки та якості води р. Південний Буг було проведено за гігієнічними та екологічними критеріями. Встановлено, що в межах досліджуваної ділянки в басейні Південного Бугу якість води у більшості випадків належала до другого класу і оцінювалась як «добра», прийнятної якості. Змінювались лише підкласи якості. За окремими показниками спостерігалось погіршення якості води до третього класу – «задовільна», прийнятної якості. Найгірша ситуація спостерігалась вище м. Первомайськ, де якість води погіршувалась за загально-санітарними хімічними показниками до 4 класу, тобто небажаної якості. Істотні перевищення рекомендованих значень концентрацій забруднюючих речовин для води бажаної якості відзначені за вмістом сульфатів, хлоридів, фосфатів, нітритного й нітратного азоту, БСК<sub>5</sub>, ХСК. За середніми значеннями якості води рівень екологічної безпеки оцінюється як малонебезпечний. За найгіршими значеннями спостерігалось пониження рівня екологічної безпеки до помірно небезпечного. Результати дослідження можуть бути використані при розробці планів вирішення питання водозабезпечення та стратегії управління водними ресурсами в регіоні. *Ключові слова:* питне водопостачання, оцінка якості води, гідрохімічні показники, гігієнічні та екологічні критерії, екологічна безпека.

### Assessment of the ecological safety level of surface waters in the south buh river as a source of drinking water supply in Mykolaiv region. Magas N.

Ukraine is one of the countries with insignificant freshwater reserves. An acute deficit of this resource is observed in the southern region of the country, in particular in Mykolaiv oblast. The region's water resources are very limited and depend mainly on inflows from other regions of the country. The problem with the amount of fresh water for the regional center was partially solved by water supply from the Dnipro River. In most small towns, the issue of the water supply has not been resolved yet. The paper considers the issue of assessing the water quality of the South Buh River as a source of drinking water supply in Mykolaiv oblast. Based on the results of the analysis of the structure and trends in the use of fresh water in the region, it was found that no more than 22% of the total amount of water is used for domestic and drinking needs. The highest level of water consumption is for production needs. The assessment of the level of environmental safety and water quality of the South Buh River was carried out according to hygienic and environmental criteria. It was found that within the study area in the South Buh basin, the water quality in most cases was categorized as the second class and was assessed as "good", of acceptable quality. The only category that has changed is the quality subclasses. According to some indicators, water quality deteriorated to the third class – "satisfactory", of acceptable quality. The worst situation was observed upstream from the city of Pervomais'k, where, according to general sanitary chemical indicators, the water quality deteriorated to class 4, i.e., of undesirable quality. Significant exceedances of the recommended values of pollutant concentrations for water of desirable quality were noted for sulfates, chlorides, phosphates, nitrite, and nitrate nitrogen, BOC<sub>5</sub> (biochemical oxygen consumption), and COC (chemical oxygen consumption). Based on the average water quality values, the level of environmental hazard is assessed as low. According to the worst values, a decrease in the level of environmental safety to moderately dangerous was noted. The results of the study can be used to develop plans for addressing the issue of water supply and water management strategies in the region. *Key words:* drinking water supply, water quality assessment, hydrochemical indicators, hygienic and environmental criteria, environmental safety.

**Постановка проблеми.** Питання екологічної безпеки питного водопостачання є стратегічною ціллю для України, що зазначено у Законі «Про національну безпеку України» [1]. Не зважаючи на це, наша держава належить до числа таких, що мають обмежені питні ресурси через підвищений рівень забруднення поверхневих і підземних

джерел водопостачання. Особливо актуальною ця проблема є в містах південних областей України, більшість яких використовують для забезпечення господарсько-питних потреб населення як підземні води так і води з поверхневих водних джерел [2]. Поверхневі води суші, використовувані для централізованого водопостачання, знахо-

дяться під дуже великим антропогенним впливом, в результаті якого істотно змінений природний стан цих вод. Такі антропогенні зміни обмежують можливість використання окремих водних об'єктів для потреб населення регіону [2; 3].

З кожним роком ситуація з водопостачанням в містах загострюється, оскільки методи очищення води, системи водопроводів морально і фізично зношені, тому дослідження рівня екологічної безпеки джерел питного водопостачання та пошук шляхів поліпшення якості питної води є актуальними і життєво необхідними.

**Актуальність дослідження.** Аналізуючи структуру системи водопостачання України, можна сказати, що основу становлять поверхневі води, це близько 80%. Однак, Україна належить до числа держав з незначними запасами прісної води, гострий дефіцит цього ресурсу спостерігається в південному регіоні держави, зокрема у Миколаївській області [4; 5]. Частково проблема з кількістю прісної води в обласному центрі вирішилася за рахунок подачі води з річки Дніпро. Проте в більшості невеликих містечок, райцентрів та сіл, питання водозабезпечення й досі є невирішеним [4; 6]. Крім того, ситуація дуже погіршилась після початку воєнних дій на території України. Після руйнування водогону з р. Дніпро, на деякий період місто Миколаїв взагалі залишилось без основного джерела водопостачання. Такі дані свідчать про необхідність пошуку альтернативних джерел питного водопостачання та можливості використовувати поверхневі води регіону.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Робота тісно пов'язана з вирішенням завдань, що наведені у Водній стратегії України на період до 2050 року [2], у Законі України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» [7], Обласній програмі «Питна вода Миколаївщини» на 2021–2025 роки [4].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Вода, яку відбирають із поверхневих джерела водопостачання, має бути придатна як сировина для виробництва високоякісної питної води. Метою даної роботи є оцінка рівня екологічної безпеки води р.Південний Буг та встановлення можливості використання для питних потреб населення на території Миколаївської області. Для досягнення поставленої мети у роботі було розглянуто та проаналізовано наступні питання: аналіз сучасної структури та тенденцій зміни використання прісної води в басейні Південного Бугу на території Миколаївської області; оцінка якості води р. Південний Буг в межах питних водозаборів за гігієнічними та екологічними критеріями, відповідності показникам фізіологічної повноцінності

мінерального складу; оцінка рівня екологічної безпеки води р. Південний Буг як джерела централізованого питного водопостачання.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Для оцінки рівня безпеки та встановлення можливості використання поверхневої води річки Південний Буг на території Миколаївської області для питного водозабезпечення, значення показників якості річкової води у контрольних точках порівнювали із нормативами, зазначеними у «Гігієнічних нормативах якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення», що затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721 [8]. Цим документом передбачено, що склад та властивості води водних об'єктів за жодним з показників не повинні перевищувати встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовно допустимі рівні (ОДР) речовин у воді водних об'єктів [8].

Оцінку якості поверхневої води р. Південний Буг, як джерела питного водопостачання проводили відповідно до Національного стандарту України ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання». За значеннями інтегральних блокових та узагальненого індексів, якість води можна оцінити за чотирма класами від «відмінної» бажаної якості до «посередньої, обмежено придатної» небажаної якості [9]. У роботі оцінку якості води здійснено за середніми та найгіршими значеннями органолептичних, загально-санітарних та токсикологічних хімічних показників.

Оцінювання рівня екологічної безпеки води джерел питного водопостачання нами запропоновано здійснювати на основі результатів гігієнічної та екологічної оцінки якості поверхневих вод у контрольних точках.

Рівень спільного впливу зазначених блокових інтегральних індексів якості води визначають за допомогою обчислення інтегрального узагальненого індекса  $I_{\text{ИТ}}$ , який в певній мірі характеризує рівень екологічної безпеки води джерела централізованого питного водопостачання  $P_k$ .

За результатами проведеної оцінки на основі розрахунку інтегрального індекса за всіма використаними показниками, визначають клас якості води за логічною функцією:

$$R(P_k) = \begin{cases} K_4, \text{ якщо } k_3^k < I_{\text{ИТ}} \leq k_4^k \\ K_3, \text{ якщо } k_2^k < I_{\text{ИТ}} \leq k_3^k \\ K_2, \text{ якщо } k_1^k < I_{\text{ИТ}} \leq k_2^k \\ K_1, \text{ якщо } k_0^k \leq I_{\text{ИТ}} \leq k_1^k \end{cases} \quad (4.1)$$

де  $k_i^k$  – критерії ступеня екологічної безпеки, а саме:  $k_0^k = 1$ ,  $k_1^k = 1,5$ ,  $k_2^k = 2,5$ ,  $k_3^k = 3,5$ ,  $k_4^k = 3,99$ .

Таблиця 1

## Класифікація поверхневих вод джерел питного водопостачання за рівнем екологічної безпеки

Класи якості води	Характеристика якості води	Характеристика рівня екологічної безпеки
I	«Відмінна», бажаної якості	безпечний
II	«Добра», прийнятної якості	малонебезпечний
III	«Задовільна», прийнятної якості	помірно небезпечний
IV	«Посередня», обмежено придатна, небажаної якості	небезпечний

Класифікацію рівня екологічної безпеки поверхневої води джерела питного водопостачання та їхніх класів якості визначено множиною логічних альтернатив  $K_i \in K$ , що представлено вектором  $K = (K_1, K_2, K_3, K_4) =$  (клас якості води – ступінь екологічної безпеки: «I клас – безпечний», «II клас – мало небезпечний», «III клас – помірно небезпечний», «IV клас – небезпечний») [10].

Узагальнюючі таблиці для проведення оцінки та класифікації якості води за рівнем їхньої екологічної безпеки в досліджуваному басейні представлено у таблиці 1.

Співставлення та аналіз отриманих результатів з використанням запропонованих методичних підходів дозволяють здійснити зонування

території дослідження за рівнем екологічної безпеки та придатності поверхневих вод для централізованого питного водокористування. Отримані результати дослідження дозволять підвищити ефективність процедури вибору та наукового обґрунтування пріоритетних методів водопідготовки та напрямків водоохоронної діяльності з метою підвищення рівня екологічної безпеки регіону.

Для дослідження та оцінки якості поверхневих вод річки Південний Буг, як одного з джерел питного водопостачання на території Миколаївської області, було вибрано три контрольні точки: вище м. Первомайськ (239 км від гирла річки), біля с. Олексіївка (153 км) та вище м. Вознесенськ (97 км).

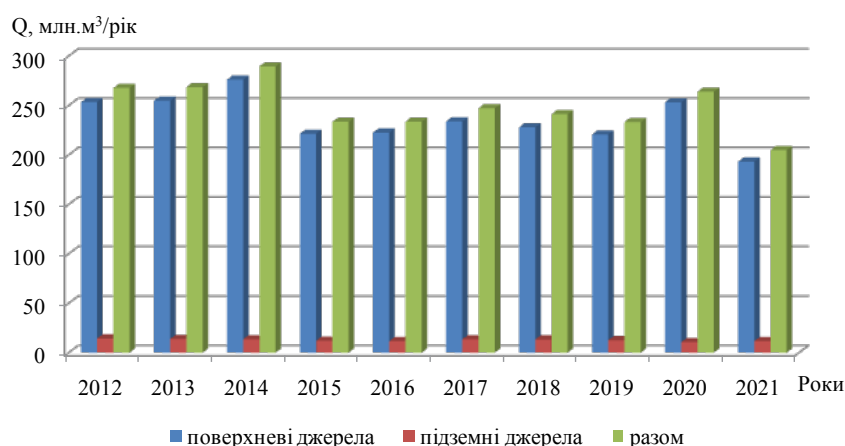


Рис. 1. Динаміка водозабору у Миколаївській області

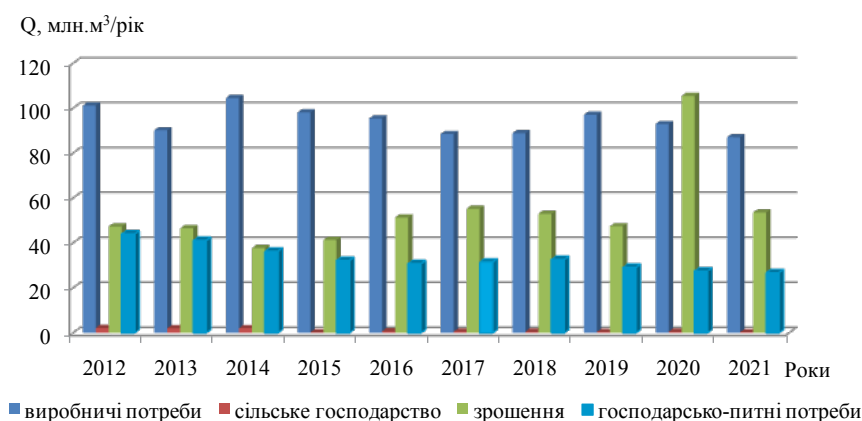


Рис. 2. Динаміка використання води у Миколаївській області

**Викладення основного матеріалу.** Територія Миколаївської області належить до степової зони України. Аналізуючи водні ресурси області необхідно зазначити, що вони є дуже обмеженими – залежать переважно від притоку з інших регіонів країни. За питомими показниками водних ресурсів (на одиницю площі і на одного мешканця) область займає одне із останніх місць серед областей України [4; 6; 11].

Водопостачання більшості населених пунктів області здійснюється з поверхневих водних джерел, а саме: р. Південний Буг, р. Синюха, р. Інгул. В сільських населених пунктах та районних центрах використовують підземні джерела [6].

Згідно даних статистичної звітності 2ТП – водгосп (річна) [12] щороку з природних джерел області відбирається більше 200 млн. м<sup>3</sup> води (рис. 1). Водоспоживання для задоволення виробничих потреб традиційно є найбільшим і становить більше 50% від загального обсягу використаних вод. Використання прісної води на

господарсько-питні потреби за весь період спостереження не перевищували 22% від загального об'єму використання вод в області.

Спостерігаємо тенденцію зменшення водозабору, що спричинено зменшенням виробничих потужностей, а також зменшення річних стоків водних об'єктів.

Порівняльну характеристику динаміки використання прісної води для потреб різних галузей зображено на рисунку 2.

За досліджуваний період 2012–2021 рр. спостерігається зменшення витрат прісної води на господарсько-питні потреби. На сьогоднішній день, на території області є значна потреба у додатковій потужності водозаборів яка складає 5,5 млн. м<sup>3</sup>/рік.

За результатами оцінки якості води р. Південний Буг у вибраних контрольних точках за органолептичними показниками встановлено, що вода була відмінної якості у всіх створах. Вода «відмінна», дуже чиста за середніми річними значеннями спостерігалась у 97,43% відсотків випадків. Повторюваність якості води з характеристикою «відмінна», дуже чиста вода з ухилом до класу «доброї», чистої води бажаної якості складала 2,57%. Погіршення якості води до 2-го класу спостерігалось вище м. Вознесенськ та м. Первомайськ, де вода була «добра», чиста прийнятної якості. За найгіршими значеннями показників у 71,33% випадків вода належала до 1-го класу якості, а у 28,67% випадків – до другого.

За середніми значеннями загально-санітарних хімічних показників вміст хімічних речовин у воді р. Південний Буг перевищення рекомендованих у [8] гігієнічних нормативів якості води спостерігається лише за БСК<sub>5</sub> та ХСК. Однак, у всіх точках контролю спостерігається перевищення рекомендованих показників бажаної якості води, що оцінюється як «відмінна». Якість води у цих точках протягом всього періоду спостереження була 2 класу. Найгірша ситуація спостерігалась у пункті м. Первомайськ, де якість води погіршувалась до 4 класу, тобто небажаної якості. Найбільший негативний вплив на якість води вносили в окремі роки значні концентрації БСК<sub>5</sub>, фосфору фосфатів, перманганатної та біхроматної окислюваностей, нітритного й нітратного азоту.

За середніми річними значеннями у більшості випадків вода належала до другого класу якості (91,37%) і тільки у 8,63% – до третього (вода, перехідна

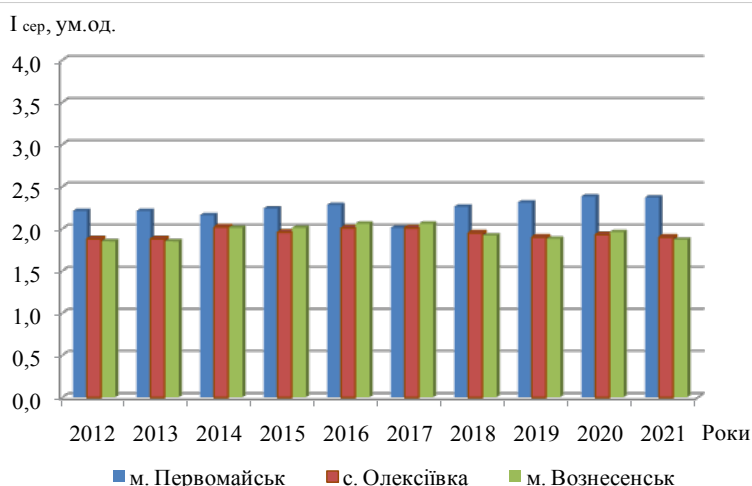


Рис. 3. Зміна узагальненого інтегрального індексу якості води р. Південний Буг за середніми значеннями

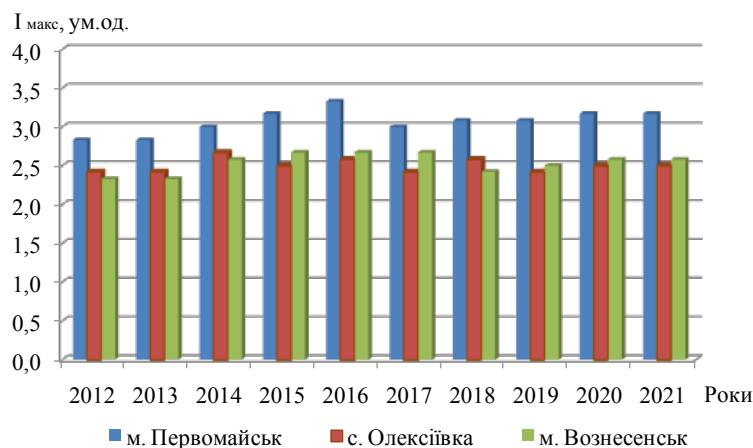


Рис. 4. Зміна узагальненого інтегрального індексу якості води р. Південний Буг за найгіршими значеннями



за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої), що спостерігалось лише у створі м. Первомайськ. Більш всього у межах створів (57,36%) вода відповідала підкласу 2(3), тобто оцінювалась як «добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості.

За найгіршими показниками характеристика якості води розподілилась наступним чином: у 7,67% від загальної кількості випадків вода в межах питних водозаборів належала до другого класу якості; у 85,61% – до третього класу та в 6,72% – до четвертого. Вода з характеристикою: «задовільна», слабо забруднена з ухилом до класу «обмежено придатної» небажаної якості (підклас 3(4)) спостерігалась майже у 50% випадків.

За результатами оцінки впливу токсикологічних хімічних показників на якість води найгірші значення спостерігались вище м. Первомайськ. Вода у р. Південний Буг вище міста характеризувалась як «добра», чиста з хилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості. Нижче за течією, за весь період дослідження, вода належала до підкласу 2 і була «добра», чиста вода прийнятної якості. Однак, за останні роки у точках контролю якість погіршувалась до третього класу якості, а за найгіршими показниками оцінювалась як «задовільна», слабо забруднена вода прийнятної якості. До погіршення якості води призводили підвищені концентрації заліза загального та СПАР.

За середньорічними показниками якість води у 5% випадків була «відмінна», дуже чиста з ухилом до класу «доброї», чистої води бажаної якості. У більшості випадків (78,64%) вода належала до

другого класу якості, змінюючись в межах: вода, перехідна за якістю від «відмінної», дуже чистої до «доброї», чистої – «Добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості. Але в основному (53,3%) вода була «добра», чиста прийнятної якості. Достатньо часто вода погіршувалась до третього класу якості. Частота появи води з таким класом за найгіршими показниками складає 66,67% від загальної кількості.

Підсумкові результати оцінки за значеннями інтегральних індексів показали, що за середніми значеннями якість води оцінювалась другим класом протягом всього періоду спостереження. Змінювались лише підкласи якості (рис. 3).

Найбільш забрудненою вода була у водозаборі м.Первомайськ змінюючись від чистої прийнятної якості на чисту воду з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості.

За найгіршими значеннями якість води вище м. Вознесенська та с.Олексіївка належала до 2-го класу та погіршувалась до 3-го класу підкласу 2-3 – вода, перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої (рис. 4).

Погіршення якості води до 3-го класу спостерігалось також вище м. Первомайськ і оцінювалась від слабо забрудненої прийнятної якості до слабо забруднена з ухилом до класу «обмежено придатної» небажаної якості.

У таблиці 2 наведені підсумкові результати аналізу повторюваності якості та оцінки рівня екологічної безпеки води у р. Південний Буг на досліджуваній території за значенням інтегрального індексу. За середніми значеннями якість води оцінювалась другим класом протягом всього періоду

Таблиця 2

**Результати аналізу рівня екологічної безпеки та повторюваності якості води за значенням інтегрального індексу**

Клас якості	Підклас якості води	Характеристика класів і підкласів якості води	Рівень екологічної безпеки	Кількість випадків (повторюваність), %
<b>Середні значення концентрацій ЗР</b>				
II	2(1)	«Добра», чиста вода з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої	мало небезпечний	22,97
	2	«Добра», чиста вода прийнятної якості		48,91
	2(3)	«Добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості		28,12
<b>Найгірші значення концентрацій ЗР</b>				
II	2(3)	«Добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості	мало небезпечний	15,97
III	2–3	Вода, перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої	помірно небезпечний	17,67
	3(2)	«Задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «доброї», чистої		3,30
	3	«Задовільна», слабо забруднена вода прийнятної якості		54,03
	3(4)	«Задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «обмежено придатної» небажаної якості		9,03

спостереження. Змінювались лише підкласи якості: вода у 22,97% випадків була «добра», чиста з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої; у 48,91% випадків – «добра», чиста вода прийнятної якості; у 28,12% випадків – «добра», чиста з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості.

За найгіршими значеннями якості води в основному визначалась третім класом якості. Лише у 15,97% випадків за період спостереження вода була «добра», чиста прийнятної якості. 17,67% випадків – це вода, перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої. Менше всього (3,30%) за весь час вода була «задовільною», слабо забрудненою з ухилом до класу «доброї», чистої. Більше ніж у половині випадків (54,03%) якості води було оцінено як «задовільну», слабо забруднену прийнятної якості. Найгірші показники якості води спостерігались у 9,03% випадків, вода була «задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «обмежено придатної» небажаної якості.

У межах досліджуваної ділянки в басейні Південного Бугу переважає забруднення органічними сполуками. Найбільший внесок у сумарне забруднення води річки у контрольних точках, належить еколого-санітарним показникам, найменший — компонентам сольового складу. Істотні перевищення рекомендованих значень концентрацій забруднюючих речовин за гігієнічними та

екологічними критеріями для води бажаної якості відзначені за вмістом сульфатів, хлоридів, фосфатів, нітритного й нітратного азоту, БСК<sub>5</sub>, ХСК. Присутність таких речовин у воді не тільки прискорюють процеси евтрофікації [13], а й роблять її не придатною для питного використання.

**Висновки.** Отже, за результатами гігієнічної та екологічної оцінки якості поверхневих вод р. Південний Буг на території Миколаївської області у вибраних контрольних точках було встановлено, що в жодному контрольному створі рівень екологічної безпеки води не відповідає безпечному рівню. За середніми значеннями якості води рівень екологічної безпеки оцінюється як мало небезпечний. За найгіршими значеннями – спостерігалось пониження рівня екологічної безпеки до помірно небезпечного. Постійне споживання питної води такої якості може привести до погіршення стану здоров'я людини. У випадку використання такої води для питних потреб населення регіону є необхідність проведення доочищення поверхневої води р. Південний Буг до нормативних показників та проведення подальших спеціальних досліджень.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використані при вирішенні питання водозабезпечення населення і виборі методів доочищення питної води, розробці водоохоронних заходів та стратегії управління водними ресурсами у регіоні.

### Література

1. Про національну безпеку України : Закон України від 21.06.2018 р. № 2469-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>.
2. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 09.12.2022 № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>
3. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2019. № 16, ст.70.
4. Про затвердження обласної Програми «Питна вода Миколаївщини» на 2021-2025 роки: Рішення Миколаївської обласної ради від 29.09.2021 № 4. URL: <https://www.mk-oblrada.gov.ua/UserFiles/decrece/1633434255615c3a8f16115.pdf>
5. Річний звіт з питань управління водними ресурсами басейну річок Причорномор'я за 2020 рік. Басейнове управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю. Одеса, 2021. 66 с.
6. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2020 році. *Управління екології та природних ресурсів Миколаївської обласної державної адміністрації*. Миколаїв, 2021. 236 с.
7. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення : Закон України від 10.01.2002 № 2918-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text>
8. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text>
9. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання. К., 2007.
10. Магась Н. І. Оцінка рівня екологічної безпеки та якості води в нижній частині басейну річки Південний Буг як джерела централізованого питного водопостачання. Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження». Полтава : НУПП, 2022. С. 171–173.
11. Магась Н. І., Трохименко Г.Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Кременчук : КрНУ, 2013. Випуск 2/2013 (16). С. 48–52.
12. Про використання води за формою 2ТП\_водгосп (річна). Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області. URL: [https://mk-vodres.davr.gov.ua/basseynova\\_rada](https://mk-vodres.davr.gov.ua/basseynova_rada)
13. Магась Н.І. Вплив природних та антропогенних чинників на формування якості поверхневих вод Південного Побужжя. *Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти* : Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції. Київ: КПІ ім. Сікорського. 2019. С. 136–137.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОХІМІЧНОГО СТАНУ ТА ЯКОСТІ ВОДИ ЩЕРБАКІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА (Р. РОСЬ) ТА ДЕЯКИХ ВОДОСХОВИЩ НА Р. РОСТАВИЦЯ

Халтурин М.Б.<sup>1</sup>, Шевченко П.Г.<sup>1</sup>, Сондак В.В.<sup>2</sup>, Климковецький А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів та природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування  
вул. Соборна, 11, 33000, м. Рівне

chalturinmax@gmail.com, shevchenko.petr@gmail.com,  
an-180@meta.ua, v.v.sondak@nuwm.edu.ua

Визначили гідрохімічні показники, Щербаківського водосховища та деяких водосховищ на р. Роставиця, для контролю та рекомендацій щодо ведення рибогосподарської діяльності. Дослідження деяких водосховищ на верхній Росі та її притоці Роставиці були проведені у 2007 – 2011 рр. Відбір матеріалу проводився під час власних зборів та спільних експедиційних виїздів зі співробітниками кафедри гідробіології та іхтіології НУБіП України у період із 2007 по 2016 рр. Досліджували фізико-хімічні показниками складу води у водосховищах, а саме іонний склад, газовий режим (концентрація розчинених газів), біогенні сполуки, органічні речовини стандартними методами гідрохімічних досліджень. Гідрохімічний стан показників водного середовища досліджувався у лабораторії, акредитованій на право проведення незалежних досліджень по гідрохімії та водній токсикології (іони важких металів) Українського гідрометеорологічного інституту УкрГМІ за стандартними методиками (ОСТ.15.372.87; Справочник гідрохіміка, 1991). Оцінку якості води проводили у порівнянні із рибогосподарськими вимогами та ДСанПіН 2.2.4-171-10. Результати проведених досліджень водосховищах на річці Рось та її притоці р. Роставиця дозволяють стверджувати про придатність даних водойм для риборозведення. Зафіксовані незначні перевищення деяких хімічних елементів і сполук у воді носять тимчасовий (порою сезонний) характер і не можуть перешкоджати рибогосподарському використанню досліджених водосховищ. Тим паче вони повністю придатні для існування типових аборигенних видів риб як бентофагів, так і хижак. Практичні значення отриманих результатів, полягають, можливість контролювати та порівнювати стан водного середовища, та запобігти його погіршенню. *Ключові слова:* іонний склад, газовий режим, біогенні сполуки, рибогосподарські вимоги.

**Study of the hydrochemical state and water quality of the Shcherbakiv reservoir (Ros river) and some reservoirs on the Rostavytsya river. Khalturin M., Shevchenko P., Sondak V., Klymkovetskyi A.**

The hydrochemical parameters of the Shcherbaki reservoir and some reservoirs on the Rostavytsya River were determined for control and recommendations regarding the conduct of fishing activities. The research of some reservoirs on the upper Ros and its tributary Rostavytsya was carried out in 2007-2011. The selection of material was carried out during own gatherings and joint expedition trips with employees of the Department of Hydrobiology and Ichthyology of the NUBiP of Ukraine in the period from 2007 to 2016. Physico-chemical indicators were studied composition of water in reservoirs, namely ionic composition, gas regime (concentration of dissolved gases), biogenic compounds, organic substances by standard methods of hydrochemical research. The hydrochemical state of the indicators of the water environment was investigated in the laboratory accredited to conduct independent research on hydrochemistry and water toxicology (heavy metal ions) of the Ukrainian Hydrometeorological Institute of the UkrHMI according to standard methods (OST.15.372.87; Handbook of hydrochemistry, 1991). Water quality was assessed in comparison with fishery requirements and DSanPiN 2.2.4-171-10. The results of research carried out in reservoirs on the Ros River and its tributary Rostavytsya allow us to assert the suitability of these reservoirs for fish breeding. Recorded slight excesses of some chemical elements and compounds in the water are temporary (sometimes seasonal) in nature and cannot interfere with the fishery use of the studied reservoirs. Moreover, they are completely suitable for the existence of typical aboriginal species of fish, both benthophagous and predatory. The practical significance of the obtained results is the ability to monitor and compare the state of the water environment and prevent its deterioration. *Key words:* ionic composition, gas regime, biogenic compounds, fishery requirements.

### Постановка наукової проблеми та її значення.

Збереження природних вод – це проблема, що потребує змін на всіх рівнях використання, починаючи з біотичних зв'язків і закінчуючи природоохоронними нормативами та законами. Основну роль відіграє вплив антропогенних чинників та дослідження сучасного стану водних екосистем.

Гідрохімічні показники є обов'язковими елементи оцінки стану водних об'єктів, виявити забруднення неорганічними й органічними сполуками без

них неможливо та призводить до евтрофікації, підвищення мінералізації та сапробності водойм. Метою проведення спостережень і контролю за рівнем забруднення водних об'єктів є отримання даних про якість води, необхідних для реалізації заходів щодо її охорони та рибогосподарського використання.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Річка Рось – права притока Дніпра. Довжина річки становить 346 км, водозбірна площа басейну – 12,6 тис. км<sup>2</sup> [1]. На річці розташовано 60 водосхо-

вищ і 1865 ставків. На р. Роставиця розташовано 12 водосховищ і 227 ставків [1].

Щербаківське водосховище розташоване на 236 км від гирла річки Рось, площа водяного дзеркала становить 2,19 км<sup>2</sup>, повний об'єм – 1,58 млн. м<sup>3</sup>, довжина – 3,60 км [1].

Чубинське водосховище розташоване на річці Роставиця, притока першого порядку р. Рось, на відстані 30 км від гирла. Площа водяного дзеркала становить 0,58 км<sup>2</sup>, повний об'єм – 1,13 млн. м<sup>3</sup>, довжина – 3,10 км [1].

Матюшанське водосховище на річці Роставиця, притока першого порядку р. Рось, на відстані 7 км від гирла біля с. Матюші. Площа водяного дзеркала становить 0,78 км<sup>2</sup>, повний об'єм – 1,28 млн. м<sup>3</sup>, довжина – 4,50 км [1].

Дослідження гідрохімічного стану річки Рось були розпочаті ще на початку XIX ст. [2]. Продовжені низкою дослідників, зокрема широко відомі роботи В.В. Поліщука [3].

У кінці XX-го та на початку XXI-го ст. гідрохімічні дослідження річки Рось, у цілому, проводили співробітники Київського національного універ-

ситету імені Тараса Шевченка під керівництвом В.К. Хільчевського [1].

**Мета дослідження** – визначити гідрохімічні показники, даних водойм, для контролю та рекомендацій щодо ведення рибогосподарської діяльності.

**Матеріали та методи досліджень.** Наші дослідження деяких водосховищ на верхній Росі та її притоці Роставиці були проведені у 2007–2011 рр. Відбір матеріалу проводився під час власних зборів та спільних експедиційних виїздів зі співробітниками кафедри біології тварин та кафедри гідробіології та іхтіології НУБіП України у період із 2007 по 2016 рр.

Досліджували фізико-хімічні показниками складу води у водосховищах, а саме іонний склад, газовий режим (концентрація розчинених газів), біогенні сполуки, органічні речовини стандартними методами гідрохімічних досліджень [4; 5].

Гідрохімічний стан показників водного середовища досліджувався у лабораторії, акредитованій на право проведення незалежних досліджень по гідрохімії та водній токсикології (іони важких металів) Українського гідрометеорологічного інституту

Таблиця 1

**Концентрація основних хімічних елементів і сполук у воді Щербаківського водосховища на річці Рось (басейн річки Дніпро), с. Щербаки Київської обл., квітень 2011 р.**

Показники	Концентрація, одиниць рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	Рибогосп. нормативи, 2013, од. рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	ДСанПіН 2.2.4-171-10, од. рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	Наказ Мінагрополітики України 30.07.2012 № 471
Температура води, °С	7,5	≤ 28	Не норм.	–
Водневий показник рН води, одиниць рН	8,15	6,5-8,5	6,5–8,5	–
Розчинений кисень O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	7,0–9,4	не менше 5,0	–	–
Гідрокарбонати HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	230,15	300–400 (4,9–6,5)	Не норм.	–
Сульфати SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	35,52	50–70 (1,04–1,46)	≤ 250,0	–
Хлориди Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	23,5	50–70 (1,48–1,97)	≤ 250,0	–
Магній Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2,06	30 (не більше 2,5)	Не норм. 10–50	–
Кальцій Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	63,06	50–70 (2,5–3,5)	Не норм. 25–75	–
Загальна твердість, мг-екв./дм <sup>3</sup>	4,95	5–7	≤ 7,0 До 10,0	–
Калій+натрій K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	21,19	50 (не більше 2,0)	Не норм.	–
Калій K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	5,675	50	Не норм.	–
Натрій Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	15,52	120	Не норм. ≤ 200	–
Загальне залізо Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> , мг Fe/дм <sup>3</sup>	0,06	1,0	0,3 1,0	–
Загальна мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	379,805	1000	≤ 1000 1500	–
Кремній Si, мг/дм <sup>3</sup>	1,85	–	–	–
Перманганатна окисність, мг O/дм <sup>3</sup>	8,5	15,0	–	–
Хімічне споживання кисню (ХСК), мг O/дм <sup>3</sup>	31,7	62,5	–	62,5

УкрГМІ за стандартними методиками (ОСТ.15.372.87; Справочник гидрохимика, 1991). Оцінку якості води проводили у порівнянні із рибогосподарськими вимогами [5; 6] та ДСанПіН 2.2.4-171-10 [7].

#### Результати досліджень.

##### Щербаківське водосховище (р. Рось).

У табл. 1 викладено результати гідрохімічних досліджень водойм і водотоків Щербаківського водосховища (р. Рось) у квітні 2011 р.

Хімічний склад води Щербаківського водосховища (на річці Рось) у районі с. Щербаки у квітні 2011 р. (табл. 1) зафіксований у наступних межах: водневий показник рН становив 8,15 одиниць рН, що в межах норми. Концентрація розчиненого кисню у воді фіксувалася у межах 7,0-9,4/8,77 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Загальна мінералізація води – 379,805 мг/дм<sup>3</sup>, загальна твердість води – 4,95 мг-екв./дм<sup>3</sup>. Концентрація іонів кальцію – 63,06 мг/дм<sup>3</sup>, магнію – 2,06 мг/дм<sup>3</sup>,

Таблиця 2

#### Концентрація біогенних елементів і сполук у воді у воді Щербаківського водосховища на річці Рось (басейн річки Дніпро), с. Щербаки Київської обл., квітень 2011 р.

Показники	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	Рибогосп. нормативи, 2013, мг/дм <sup>3</sup>	ДСанПіН 2.2.4-171-10, мг/дм <sup>3</sup>	Наказ Мінагрополітики України 30.07.2012 № 471
Азот амонійний NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,245	2,0	≤ 2,6	1,0-2,0
Азот нітритний NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,017	0,1	≤ 3,3	–
Азот нітратний NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,07	не більше 2,0	≤ 50,0	–
Фосфати PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг P/дм <sup>3</sup>	0,027	0,5	3,5 PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,7

Таблиця 3

#### Концентрація основних хімічних елементів і сполук у воді Чубинського водосховища на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро) біля с. Чубинці, жовтень 2010 р.

Показники	Концентрація, одиниць рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	Рибогосп. нормативи, 2013, м, од. рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	ДСанПіН 2.2.4-171-10, од. рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	Наказ Мінагрополітики України 30.07.2012 № 471
Температура води, °С	8,3	≤ 28	Не норм.	–
Прозорість (за д. Секкі), см	70	0,75-1,0	–	–
Водневий показник рН води, одиниць рН	7,3	6,5-8,5	6,5–8,5	–
Розчинений кисень О <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	6,0	не менше 5,0	–	–
Гідрокарбонати HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	185,32	300-400 (4,9-6,5)	Не норм.	–
Сульфати SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	55,68	50-70 (1,04-1,46)	≤ 250,0	–
Хлориди Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	36,15	50-70 (1,48-1,97)	≤ 250,0	–
Магній Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	25,15	30 (не більше 2,5)	Не норм. 10–50	–
Кальцій Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	50,5	50-70 (2,5-3,5)	Не норм. 25–75	–
Загальна твердість, мг-екв./дм <sup>3</sup>	4,59	5-7	≤ 7,0 До 10,0	–
Калій+натрій K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	28,42	50 (не більше 2,0)	Не норм.	–
Калій, мг/дм <sup>3</sup>	12,7	50	Не норм.	–
Натрій, мг/дм <sup>3</sup>	15,72	120	Не норм. ≤ 200	–
Загальне залізо Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> , мг Fe/дм <sup>3</sup>	0,042	1,0	0,3 1,0	–
Загальна мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	368,5	1000	≤ 1000 1500	–
Кремній Si, мг/дм <sup>3</sup>	1,65	–	–	–
Перманганатна окисність, мг О/дм <sup>3</sup>	10,0	15,0	–	–
Хімічне споживання кисню (ХСК), мг О/дм <sup>3</sup>	32,05	62,5	–	62,5

сульфатів 35,62 мг/дм<sup>3</sup>, хлоридів – 23,50 мг/дм<sup>3</sup>. За класифікацією вода гідрокарбонатна. Переважають йони НСО<sup>3-</sup> – 230,15 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрація йонів натрію становила 15,52 мг/дм<sup>3</sup>, калій+натрій – 21,19 мг/дм<sup>3</sup>, калію – 5,675 мг/дм<sup>3</sup>, загального заліза – 0,06 мг/дм<sup>3</sup>, кремнію – 1,85 мг/дм<sup>3</sup>. Вода у Щербаківському водосховищі (р. Рось) у квітні

2011 р. була слабо мінералізована. Жодних перевищень рибогосподарських нормативів не виявлено (табл. 1).

Також не було зафіксовано жодних перевищень нормативів ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (табл. 1).

Таблиця 4

**Концентрація біогенних елементів і сполук у воді Чубинського водосховища на річці Раствавця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро), жовтень 2010 р.**

Показники	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	Рибогосп. нормативи, 2013, мг/дм <sup>3</sup>	ДСанПіН 2.2.4-171-10, мг/дм <sup>3</sup>	Наказ Міністерства агрополітики України 30.07.2012 № 471
Азот амонійний NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,275	2,0	≤ 2,6	1,0-2,0
Азот нітритний NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,208	0,1	≤ 3,3	–
Азот нітратний NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,005	не більше 2,0	≤ 50,0	–
Фосфати PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг P/дм <sup>3</sup>	0,172	0,7	3,5 PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,7

Таблиця 5

**Концентрація основних хімічних елементів і сполук у воді Матюшанського водосховища на річці Раствавця (притока річки Рось) басейн річки Дніпро), жовтень 2007 р.**

Показники	Концентрація, одиниць рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	Рибогосп. нормативи, 2013, од. рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	ДСанПіН 2.2.4-171-10, од. рН, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	Наказ Мінагрополітики України 30.07.2012 № 471
Температура води, °С	10,5–10,7	≤ 28	Не норм.	–
Водневий показник рН води, одиниць рН	7,68–7,98	6,5–8,5	6,5–8,5	–
Розчинений кисень O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	6,08–6,25	не менше 5,0	–	–
Гідрокарбонати HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	329,4–347,7	300–400 (4,9–6,5)	Не норм.	–
Сульфати SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	76,00–88,00	50–70 (1,04–1,46)	≤ 250,0	–
Хлориди Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	37,1–40,12	50–70 (1,48–1,97)	≤ 250,0	–
Магній Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	42,56–48,64	30 (не більше 2,5)	Не норм. 10–50	–
Кальцій Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	70,14–80,16	50–70 (2,5–3,5)	Не норм. 25–75	–
Загальна твердість, мг-екв./дм <sup>3</sup>	6,5-7,0	5–7	≤ 7,0 До 10,0	–
Калій+натрій K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	39,51	50 (не більше 2,0)	Не норм.	–
Калій, мг/дм <sup>3</sup>	10,71	50	Не норм.	–
Натрій, мг/дм <sup>3</sup>	28,80	120	Не норм. ≤ 200	–
Загальне залізо Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> , мг Fe/дм <sup>3</sup>	0,4–0,47	1,0	0,3 1,0	–
Загальна мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	258–278	1000	≤ 1000 1500	–
Перманганатна окисність, мг O/дм <sup>3</sup>	5,33–7,61	15,0	–	–
Хімічне споживання кисню (ХСК), мг O/дм <sup>3</sup>	27,90–35,15	62,5	–	62,5

Таблиця 6

**Концентрація біогенних елементів і сполук у воді у воді Матюшанського водосховища на річці Роставиця (притока річки Рось) басейн річки Дніпро), жовтень 2007 р.**

Показники	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	Рибогосп. нормативи, 2013, мг/дм <sup>3</sup> , мг-екв./дм <sup>3</sup>	ДСанПіН 2.2.4-171-10, мг/дм <sup>3</sup>	Наказ Мінагрополітики України 30.07.2012 № 471
Азот амонійний NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,58	2,0	≤ 2,6	1,0–2,0
Азот нітритний NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,065–0,079	0,1	≤ 3,3	–
Азот нітратний NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	1,5–1,94	не більше 2,0	≤ 50,0	–
Фосфати PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг P/дм <sup>3</sup>	0,1–0,11	0,7	3,5 PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,7

У табл. 2 викладено результати досліджень вмісту біогенних елементів і сполук у воді Щербаківського водосховища на річці Рось (басейн річки Дніпро) у квітні 2011 р.

Також не виявлено жодних перевищень діючих рибогосподарських нормативів (Рибогосп. нормативи, 2013) [5; 6; 7].

Притоки річки Рось, р. Роставиця

Дослідження проводилися на водосховищах річки Роставиця, притоки річки Рось, а саме Чубинському водосховищі (с. Чубинці) та Матюшанському водосховищі (с. Матюші). Обидві водойми розташовані нижче Щербаківського водосховища (с. Щербаки).

У табл. 3 викладено результати гідрохімічних досліджень Чубинського водосховища на річці Роставиця (притока річки Рось) біля с. Чубинці у жовтні 2010 р.

Хімічний склад води Чубинського водосховища біля с. Чубинці на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро) у жовтні 2010 р. (табл. 3) зафіксований у наступних межах: водневий показник рН становив 7,3 одиниць рН, що в межах норми. Концентрація розчиненого кисню у воді фіксувалася у межах 6,0 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Загальна мінералізація води – 368,5 мг/дм<sup>3</sup>, загальна твердість води – 4,59 мг-екв./дм<sup>3</sup>. Концентрація іонів кальцію – 50,5 мг/дм<sup>3</sup>, магнію – 25,15 мг/дм<sup>3</sup>, сульфатів 55,68 мг/дм<sup>3</sup>, хлоридів – 36,15 мг/дм<sup>3</sup>. За класифікацією вода гідрокарбонатна. Переважають іони HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 185,32 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрація іонів натрію становила 15,72 мг/дм<sup>3</sup>, калій+натрій – 28,42 мг/дм<sup>3</sup>, калію – 12,70 мг/дм<sup>3</sup>, загального заліза – 0,042 мг/дм<sup>3</sup>, кремнію – 1,65 мг/дм<sup>3</sup>. Вода у біля с. Чубинці на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро) у жовтні 2010 р. була слабко мінералізована.

Жодних перевищень рибогосподарських нормативів не виявлено (табл. 3).

Також не було зафіксовано жодних перевищень нормативів ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (табл. 3).

У табл. 4 викладено результати досліджень вмісту біогенних елементів і сполук у воді Чубинського водосховища біля с. Чубинці на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро) у жовтні 2010 р.

Вміст нітратного азоту перевищує діючі рибогосподарські нормативи у 2 рази (табл. 3).

Матюшанське водосховище на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро)

У табл. 5 викладено результати гідрохімічних досліджень Матюшанського водосховища на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро) у жовтні 2007 р.

Хімічний склад води Матюшанського водосховища на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро) у районі с. Щербаки у жовтні 2007 р. (табл. 5) зафіксований у наступних межах: водневий показник рН становив 7,68–7,98/7,83 одиниць рН, що у межах норми. Концентрація розчиненого кисню у воді фіксувалася у межах 6,08–6,25/6,17 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Загальна мінералізація води – 258–278/268 мг/дм<sup>3</sup>, загальна твердість води – 6,5–7,0/6,75 мг-екв./дм<sup>3</sup>. Концентрація іонів кальцію – 70,14–80,16/75,15 мг/дм<sup>3</sup>, магнію – 42,56–48,64/45,60 мг/дм<sup>3</sup>, сульфатів 76,00–88,00/82,00 мг/дм<sup>3</sup>, хлоридів – 37,1–40,12/38,61 мг/дм<sup>3</sup>. За класифікацією вода гідрокарбонатна. Переважають іони HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 329,4–347,7/338,57 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрація іонів натрію становила 28,80 мг/дм<sup>3</sup>, калій+натрій – 39,51 мг/дм<sup>3</sup>, калію – 10,71 мг/дм<sup>3</sup>, загального заліза – 0,4–0,47/0,435 мг/дм<sup>3</sup>. Вода Матюшанського водосховища на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро) у районі с. Матюші у жовтні 2007 р. була слабко мінералізована.

Незначно перевищені рибогосподарські нормативи щодо концентрації сульфатів (у 1,09–1,26 рази), кальцію (у 1,15 рази від максимуму) та магнію (у 1,42–1,62 рази) (табл. 5).

Не було зафіксовано жодних перевищень нормативів ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (табл. 5).

У табл. 6 викладено результати досліджень вмісту біогенних елементів і сполук у воді Матюшанського водосховища на річці Роставиця (притока річки Рось, басейн річки Дніпро) у районі с. Щербаки у жовтні 2007 р.

Не виявлено жодних перевищень діючих рибогосподарських нормативів [5; 6; 7].

**Висновки.** Результати проведених досліджень водосховищах на річці Рось та її притоці р. Роставиця дозволяють стверджувати про придатність даних водойм для риборозведення. Зафіксовані незначні перевищення деяких хімічних елементів і сполук у воді носять тимчасовий (порою сезонний) характер і не можуть перешкоджати рибогосподарському

використанню досліджених водосховищ. Тим паче вони повністю придатні для існування типових аборигенних видів риб як бентофагів, так і хижаків.

Практичні значення отриманих результатів, полягають, можливість контролювати та порівнювати стан водного середовища, та запобігти його погіршенню.

### Література

1. Гідроекологічний стан басейну річки Рось / Хільчевський В.К. та ін.; за ред. В.К. Хільчевського. Київ : Ніка-Центр, 2009. 116 с.
2. Киркор Ф.Ф. Матеріали по вопросу о колебаниях состава речной воды. Химическое исследование воды реки Роси. 1904–1905 гг. *Труды Всероссийского общества сахарозаводчиков*. Киев : Типография Р.К. Лубковского, 1907. 124 с.
3. Гідробіологія і гідрохімія річок Правобережного Придніпров'я. Поліщук В.В., Травянюк В.С., Коненко Г.Д., Гарасевич І.Д. Київ : Наукова думка, 1978. 271 с.
4. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Арсан О.М. та ін.; за ред. В.Д. Романенка. Київ, 2006. 408 с.
5. СОУ 05.01-37-385:2006. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми. Київ : Міністерство аграрної політики України, 2006. 15 с. (Стандарт Мінагрополітики України)
6. ДСанПіН 2.2.4-171-10 (ДСанПіН 2.2.4-400-10). Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [Чинний від 2010-07-16]. Київ, 2010. 9 с. (Інформація та документація)
7. Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту) : Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 30 липня 2012 № 471 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text>



## ЗМІНА ВЕКТОРА ДИНАМІКИ АВТОГЕННОЇ СУКЦЕСІЇ ЕКОСИСТЕМ ПІД ВПЛИВОМ СКИДУ ЗВОРОТНИХ ВОД

Хом'як І.В.<sup>1</sup>, Онищук І.П.<sup>1</sup>, Медвідь О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Житомирський державний університет імені Івана Франка  
вул. Велика Бердичівська 40, 10005, Житомир

<sup>2</sup>Товариство із обмеженою відповідальністю «ЕКО-МБ»  
вул. Рильського, 9, оф. 521, 10014, м. Житомир  
[eko-mb@ukr.net](mailto:eko-mb@ukr.net), [ecosystem\\_lab@ukr.net](mailto:ecosystem_lab@ukr.net)

Водно-болотні угіддя та пов'язані із ними природні комплекси це складні та проблемні об'єкти для охорони природи. Разом із тим, вони мають найвищу екосозологічну цінність. Всестороннє та об'єктивне вивчення впливу людини на ці об'єкти є надзвичайно актуальним завданням сьогодення. Зокрема, метою даного дослідження є вплив викиду зворотних вод на процеси динаміки водних, прибережно-водних та прируслових екосистем Центрального Полісся. У відповідності до мети були сформовані такі завдання: визначити склад рослинності в районі скиду зворотних вод, класифікувати екосистеми на основі ознак їхніх автотрофних блоків, визначити раритетність досліджених екосистем та їхніх елементів, встановити вплив викиду зворотних вод на процеси динаміки екосистем [11]. Вплив зворотних вод проявляється на рівні формування водної, прибережно-водної та прируслової рослинності. В меліоративних канавах куди не потрапляють зворотні води відсутні сформовані водні та прибережно-водні угруповання. Лучні екосистеми – це переважно мезофітні та мезоксерофітні угруповання класу *Molinio-Arrhenatheretea*. Лише в зоні дії зворотних вод, вздовж меліоративних каналів зустрічаються вологі луки асоціації *Scirpetum sylvatici*. Похідні ліси належать до двох типів – суходільні (клас *Robinietaea*) та прибережні (клас *Salicetea purpurea*). Перша група переважає поза впливом зворотних вод, а в другому вони є головним джерелом води. В місцях максимальної дії зворотних вод зустрічаються типові оселища класу *Alnetea glutinosae*. Загальне фітоценотичне різноманіття досліджуваної території складає 13 класів, 16 порядків, 26 союзів, 32 асоціації за класифікацією Браун-Бланке. У зоні впливу зворотних вод на водний режим меліоративних каналів та пов'язаних із ними малих річок, спостерігається зміщення в бік формування природних прируслових, водних та прибережно-водних оселищ [10]. Площі раритетних оселищ «Е3.4. Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки», «F9.1 Прирічкові чагарники» та «G1.11 Прибережні вербові ліси» резолюції 4 Бернської конвенції помітно зростають в зоні скиду зворотних вод. *Ключові слова:* раритетні оселища, сукцесії, меліорація, відновлювальна екологія.

**Change in the dynamics vector of autogenic succession of ecosystems under the influence of return water discharge. Khomiak I. Onyshchuk I., Medvid O.**

Wetlands and associated natural complexes are complex and problematic objects for nature protection. At the same time, they have the highest ecological value. A comprehensive and objective study of human impact on these objects is a highly urgent task. The purpose of the study is to the influence of return water discharge on the processes of the dynamics of aquatic, coastal-aquatic, and near-river ecosystems of Central Polissia. In accordance with the goal, the following tasks were set: to determine the composition of vegetation in the area of return water discharge, to classify ecosystems based on the characteristics of their autotrophic blocks, to determine the rarity of the studied ecosystems, to establish the impact of return water discharge on the processes of ecosystem dynamics. The influence of backwaters is manifested at the level of the formation of aquatic, coastal-aquatic, and riparian vegetation. In reclamation ditches where return water does not enter, no formed water and coastal-water groups exist. Meadow ecosystems are mainly mesophytic and mesoxerophytic communities of the *Molinio-Arrhenatheretea* class. Wet meadows of the *Scirpetum sylvatici* association are found only in the area of return water, along the melioration ditches. Derived forests belong to two types - terrestrial (class *Robinietaea*) and coastal (class *Salicetea purpurea*). The first group prevails outside the influence of return waters, and the second they are the main source of water. Typical habitats of the *Alnetea glutinosae* class are found in places of maximum return water action. The total phytocoenotic diversity of the studied territory is 13 classes, 16 orders, 26 unions, and 32 associations according to the Brown Blanke classification. In the zone of influence of return waters on the water regime of reclamation ditches and small rivers connected with them, there is a shift towards the formation of natural riparian, aquatic and coastal-aquatic habitats. Areas of rare dwellings "E3.4. Wet or moist eutrophic and mesotrophic meadows", "F9.1 Riparian shrubs" and "G1.11 Coastal willow forests" of Resolution 4 of the Berne Convention are growing noticeably in the return water discharge zone. *Key words:* rare habitats, successions, land reclamation, restoration ecology.

**Вступ.** Проблема поводження із промисловими відходами багатогранна і її не можна розглядати в спрощеному ключі поміж проблемою нормування викидів, їхньої утилізації та переробки. Ілюстрацією цьому твердженню є поводження із зворотними водами гірничо-видобувних підприємств. Прийнято звертати увагу, в основному на концентрації хімічних речовин в них та їхній вплив на оселища водойм [14]. Однак, їхня взаємодія із навколишнім

середовищем набагато складніше та багатогранніша. Вони змінюють не лише хімічний склад води а й її обсяг, регулярність наповнення водойм, коливання рівня води в самій водоймі та її прибережній ділянці [20]. Це безпосередньо впливає на водні й прибережно-водні екосистеми та опосередковано на прируслові й заплавні. Оскільки людська діяльність, через зміни в глобальному кліматі та нераціональне господарювання в межах долинах малих річок, призвела

до їхньої деградації та знищення, то вивчення вищезазначеного впливу на динаміку екосистем є актуальною задачею сучасної екології.

#### Огляд попередніх підходів

Наприкінці ХХ століття підходи до охорони природи радикально змінилися. Ми охороняємо не види чи окремі ландшафти від прямого антропогенного впливу, а намагаємось зберегти сталість оптимальних умов середовища їхніх оселищ. Це вимагає переходу на оселищний рівень охорони довкілля із використанням методів моделювання та прогнозування прямих та опосередкованих впливів людини екосистеми [12]. Оскільки, екосистеми це відкриті динамічні системи, то при цьому ми маємо враховувати взаємозв'язок антропогенних факторів із сукцесіями, які відбуваються в досліджуваних екосистемах [10].

Водно-болотні угіддя та пов'язані із ними природні комплекси є досить складними об'єктами для охорони [3]. Навіть без впливу людської діяльності їхні сукцесії здатні відбуватися за різними сценаріями, а динаміка часто є виразно нелінійною [16]. Разом із тим вони мають найвищу екосозологічну цінність.

За звичай, автогенна динаміка екосистем призводить до активного накопичення фітомаси та наближає їх до кліматичного клімаксу [17]. В водно-болотних оселищах цей процес за часту іде за іншими сценаріями. Наприклад, накопичення торфу на дні водойми призупиняє наближення до кліматичного клімаксу на тривалий час. Тут на стадії оліготрофних боліт може протягом багатьох століть існувати катастрофічний клімакс. Ще одним прикладом можуть бути русла річок, які змінюють свої обриси в залежності від процесів водної ерозії та замулювання. Тоді, як для більшості випадків антропогенного впливу на екосистеми суходолу спостерігається процес, який зміщує динаміку в протилежний від клімаксового атрактора [13] бік у водних екосистемах це зміщення може відбуватися у різних напрямках [5]. Отже, коли ми прогнозуємо наслідки скиду зворотних вод, то маємо враховувати їхній вплив на провідні фактори, які визначають вектори та темп динаміки водних екосистем. Мова йде про багаторічний режим зволоження й загальний сольовий режим, а також, про фактори, які впливають на них опосередковано [7]. Також важливим є порівняння змін в рослинності в місцях, що знаходяться під впливом скиду і за його межами.

**Метою дослідження** є вплив викиду зворотних вод на процеси динаміки водних, прибережно-водних та прируслових екосистем Центрального Полісся.

У відповідності до мети були поставлені такі завдання:

- Визначити склад рослинності в районі скиду зворотних вод.
- Класифікувати екосистеми на основі ознак їхніх автотрофних блоків.
- Визначити раритетність досліджених екосистем.

- Встановити вплив викиду зворотних вод на процеси динаміки екосистем.

**Матеріали та методи досліджень.** Дослідження проводилися в 2022 році за стандартними маршрутно-експедиційними і камеральними геоботанічними методами на території розробки Пекарщинського родовища гранітів. Рослинні угруповання визначалися за допомогою створення стандартних геоботанічних описів та їхня обробка із використанням програми TURBOVEG for Windows [19]. Назви рослинних угруповань визначалися за допомогою продрому рослинності України за 2019 рік [3]. Показники чинників середовища [1] в тому числі інтегрований показник антропогенної трансформації та показник динаміки визначалися із використанням синфітоіндикаційних методів за допомогою пакету програм «Simargl 1.12» [8].

**Результати досліджень та їхнє обговорення.** Загальне фітоценотичне різноманіття досліджуваної території складає 13 класів, 16 порядків, 26 союзів, 32 асоціацій за класифікацією Браун-Бланке. Синтаксономічна схема рослинності має такий вигляд:

*Phragmiti-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941: *Nasturcio-Glycerietalia* Pignatti 1953: *Glycerio-Sparganion fluitans* Br.-Bl et Siss in Boer 1942: *Glycerietum fluitantis* Nowiński 1930; *Phragmitetalia* Koch 1926: *Phragmitium* Koch 1926: *Phragmitetum australis* Savič 1926, *Typhetum angustifoliae* Pignatti 1953. *Molinio-Arrhenatheretea* R.Tx 1937: *Galietales* Mirk. et Naum. 1986: *Agrostion vinealis* Sipaylova, Mirk., Shelyag et V.Sl. 1985.; *Agrostio vinealis-Calamagrostietum epigeioris* (Shelyag et al. 1981) Shelyag, V.Sl. et Sipaylova 1985, *Agrostietum vinealistenueis* Shelyag et al. 1985, *Potentillo argenteae-Poetum angustifoliae* Solomakha 1996, *Achillea submiefolium-Dactyletum glomeratae* Smetana, Derpoluk, Krasova 1997; *Molinetalia* Koch. 1926: *Calthion palustris* R.Tx 1937: *Scirpetum sylvatici* Ralski 1931. *Trifolio-Geranietales* Th.Müll 1962: *Origanetalia* Th.Müll 1962: *Trifolion medii* Th.Müll 1962: *Agrimonio-Vicetium cassubicae* (Passarge 1967) Dengler et al 2006, *Agrimonio eupatoriae-Trifolietum medii* (T. Müller 1962) Dengler et al. 2003. *Sedo-Scleranthetetea* Br.-Bl. 1955: *Sedo-Scleranthetalia* Br.-Bl. 1955: *Hyperico perforati-Scleranthion perennis* Moravec 1967: *Thymo pulegioidis-Sedetum sexangularis* Didukh et Kontar 1998. *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preisling ex von Rochow 1951 *Galeopsio-Senecionetalia sylvatici* Passarge 1981: *Epilobion angustifolii* Oberd. 1957: *Rubetum idaei* Gams 1927, *Calamagrostietum epigii* Juraszek 1928. *Robinietales* Jurco ex Hadac et Sofron 1980: *Sambucetalia racemosae* Oberd. ex Doing 1962: *Sambuco-Salicion capreae* Tx. et Neum et Oberd.1957: *Salicetum capreae* Schreier 1955. *Salicetea purpurea* Moor 1958: *Salicetalia purpureae* Moor 1958: *Salicion albae* de Soó 1951: *Salicetum albae* Issler 1926, *Populetum nigro-albae* Slavnić 1952.

*Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff, Dijk et al. 1946; *Alnetalia glutinosae* R.Tx 1937; *Alnion glutinosae* Malcuit 1929; *Ribeso nigri-Alnetum* Sol.-Gorn (1975) 1987. *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951; *Agropyretalia intermedio-repentis* Th.Müll et Görs 1969; *Convolvulo-Agropyron repentis* Görs 1966; *Agropyretum repentis* Felföldy 194; *Onopordetalia acanthii* Br.-Bl. et Tx. ex Klika et Hadač 1944; *Arction lappae* R.Tx 1937; *Leonuro-Arctietum* Felföldy 1942, *Echio-Verbascetum* Sissingh 1950; *Dauco-Melilotenion* Görs ex Rostański et Gutte 1971; *Berteroëtum incanae* Sissingh et Tideman ex Sissingh 1950, *Dauco-Picridetum hieracioidis* Görs 1966; *Onopordion acanthii* Br.-Bl et al. 1926; *Onopordetum acanthii* Br.-Bl 1926, *Potentilo-Artemisietum absintii* Faliński 1965, *Tanaceto-Artemisietum vulgaris* Br.-Bl (1931) 1949. *Polygono arenastrii-Poëtea annuae* Rivas-Martínez 1975; *Polygono arenastrii-Poëtalía annuae* Tx. in Géhu et al. 1972 corr. Rivas Martínez et al. 1991; *Polygono-Coronopion* Sissingh 1969; *Polygonetum arenastrii* Gams 1927 corr. Láníková in Chytrý 2009. *Plantagenetea majoris* Tx. et Preising ex von Rochow 1951; *Potentillo-Polygonetalia avicularis* R. Tx. 1947; *Plantagini-Prunellion* Eliáš 1980; *Agrostio tenuis-Poetum annuae* Gutte et Hilbig 1975, *Prunello-Plantaginetum* Faliński 1963, *Festuco pratensis-Plantaginetum* Balserc et Pawlak 2000; *Potentillion anserinae* Tüxen 1947; *Potentilletum anserinae* Rapaics 1927. *Galio-Urticetea* Passrge et Kopecký 1969; *Galio aparines-Alliarietalia petiolatae* Oberdorfer ex Görs et. T. Müller 1969; *Aegopodion podagrariae* R.Tx 1967; *Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae* Tüxen 1967. *Bidentetea tripartiti* Tx. et al. ex von Rochow 1951; *Bidentetalia tripartiti* Br.- Bl. et R. Tx. ex Klika et Hadač 1944; *Bidention tripartiti* Nordhagen ex Klika et Hadač 1944; *Rumici maritimi-Ranunculetum scelerati* Oberdorfer 1957.

Також, було описано відносно великі площі зайняті лишайниковими угрупованнями класу *Ceratodonto purpurei-Polytrichetea piliferi* Mohan 1978; *Peltigeretalia* Klement 1949; *Cladonion arbusculae* Klement 1949; *Cladonietum mitis* Krieger 1937. На досліджуваній території відмічено угруповання мохів роду *Philonotis*, яке не представлене Продромусі рослинності України.

Водойми території родовища тимчасові або перешихаючі. Усі вони мають штучне походження – елементи виробітку, каналу, відстійники. В зоні впливу знаходиться система меліоративних каналів, з'єднаних із річкою Тростяниця. Зворотні води потрапляють в меліоративну каналу через відстійник. Канави замулені та мають незначний та непостійний рівень води [18]. Поза межами впливу зворотних вод, вони практично позбавлені типових водних та прибережно-водних оселищ. Тут, зазвичай, зустрічаються прируслові вербові ліси. Вони мають вигляд екотонів із похідними лісами класу *Robinietae*. На решті території родовища тимчасові водойми не мають

добре сформованих водних та водно-болотних рослинних угруповань. В межах каналів продовжують домінувати типові суходільні фітоценози. Лише в окремих місцях спостерігаються ранні стадії формування асоціацій *Phragmitetum australis* та *Typhetum angustifoliae* класу.

У місцях, куди потрапляють зворотні води, на дні меліоративної каналу зустрічаються угруповання асоціації *Glycerietum fluitantis* (клас *Phragmiti-Magnocaricetea*). В самому відстійнику спостерігається також невисокий та несталый рівень води. Більшість площі відстійника займає монодомінантне мохове угруповання із представників роду *Philonotis*.

Лучні екосистеми – це перелоги на злаковій стадії відновлення природної рослинності. Переважно, це мезофітні та мезоксерофітні угруповання класу *Molinio-Arrhenatheretea*. Найчастіше зустрічаються асоціації *Agrostio vinealis-Calamagrostietum epigeioris* та *Agrostietum vinealis-tenuis*, *Potentillo argenteae-Poetum angustifoliae*. В зоні дії зворотних вод, вздовж меліоративних каналів нами виявлені вологі луки асоціації *Scirpetum sylvatici*. Ця асоціація відноситься до категорії «Е3.4. Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки» резолюції 4 Бернської конвенції [4]. Поруч із ними на узліссях похідних лісів зустрічаються угруповання класу *Trifolio-Geranietea*. Частіше за все це асоціації *Agrimonio-Vicetum cassubicae* та *Agrimonio eupatoriae-Trifolietum medii*. На ділянках із погано сформованим ґрунтовим покривом виявлені угруповання *Sedo-Scleranthetea*. Частіше за все це асоціація *Thymo pulegioidis-Sedetum sexangularis*. На більш засушливих та порушених ділянках проживають лишайникові угруповання класу *Ceratodonto purpurei-Polytrichetea piliferi*. На відміну від номенклатурного типу асоціації *Cladonietum mitis* присутня велика частка злаків костриці овечої, мітлиці звичайної та виноградникової. Інколи костриця овеча формує монодомінантні синузії. На більш пізніх стадіях автогенної сукцесії формуються угруповання класу *Epilobietea angustifolii*. Частіше за все це асоціація *Calamagrostietum epigii*, рідше – *Rubetum idaei*.

Похідні ліси належать до двох типів – суходільні (клас *Robinietae*) та прибережні (клас *Salicetea purpurea*) [10]. Суходільні похідні ліси представлені асоціацією *Salicetum capreae*. Прибережні похідні ліси – це асоціації *Salicetum albae* та *Populetum nigro-albae*. Ці оселища за своїм статусом наближаються до «F9.1 Прирічкові чагарники» та «G1.11 Прибережні вербові ліси» резолюції 4 Бернської конвенції. Спостерігається прямий вплив зворотних вод на співвідношення між цими класами. В місцях максимальної дії зворотних вод зустрічаються типові оселища класу *Alnetea glutinosae*, асоціації *Ribeso nigri-Alnetum*. Вона сформована із молодих дерев вільхи звичайної. В її чагарниковому ярусі зустрічаються калина звичайна, верба попеляста та ламка. Трав'яний ярус сформований переважно із комишу лісового.

Синантропні угруповання представлені 5 класами: *Artemisietea vulgaris*, *Polygono arenastri-Poëtea annuae*, *Plantagenetea majoris*, *Galio-Urticetea ma Bidentetea tripartiti*. Слід зазначити, що площі цих оселищ відносно невеликі. Вони зосереджені вздовж доріг та бортів кар'єру. Їхній покрив досить розріджений в багатьох місцях загальне проективне покриття нижче за 50-30%. На порушених ділянках спостерігається поширення розріджених ценозів асоціації *Agropyretum repentis*. Вздовж доріг трапляються асоціації *Tanaceto-Artemisietum vulgaris*, *Leonuro-Arctietum*, *Echio-Verbascetum*. На перелогах зустрічаються острівці асоціації *Onopordetum acanthii*, *Berteroëtum incanae*, *Dauco-Picridetum hieracioidis*. Найбільш витоптані ділянки зайняті рудеральними угрупованнями класів *Polygono arenastri-Poëtea annuae*, *Plantagenetea majoris*. В місцях накопичення органіки формуються рудеральні оселища нітрофікованих узлісь асоціації *Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae* (клас *Galio-Urticetea*). Його формують

підмаренник чіпкий, кропива дводомна, пирій повзучий і осока шостковолосиста. Оселища цієї території досить вразливі для рослинних інвазій, що вимагає регулярних заходів з моніторингу рослинності та оселищ. На територію планової діяльності проникає інвазійний вид трансформер *Solidago canadensis*.

**Висновки.** Загальне фітоценотичне різноманіття досліджуваної території складає 13 класів, 16 порядків, 26 союзів, 32 асоціацій за класифікацією Браун Бланке.

У зоні впливу зворотних вод на водний режим меліоративних каналів та пов'язаних із ними малих річок спостерігається зміщення в бік формування природних прируслових, водних та прибережно-водних оселищ.

Площі раритетних оселищ «Е3.4. Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки», «F9.1 Прирічкові чагарники» та «G1.11 Прибережні вербові ліси» резолюції 4 Бернської конвенції помітно зростають в зоні скиду зворотних вод.

### Література

1. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів Київ: Наукова думка, 1994. 280 с.
2. Дубина Д.В., Устименко П.М. Антропогенна трансформація та оцінка збалансованості площ рослинності верхнього басейну р. Тиси. Чорноморськ. бот. ж. 2008. № 1(4). С. 14–25.
3. Дубина, Д. В., Дзюба, Т. П., Ємельянова, С. М. та ін. Продромус рослинності України. Київ. Наукова думка, 2019. 784 с.
4. Категорії та критерії червоного списку МСОП: Версія 3.1. 2-ге вид. Пер. з англ. Київ, 2017. 36 с. URL: [https://nc.iucnredlist.org/redlist001redlistcats\\_crit\\_ucranian.pdf](https://nc.iucnredlist.org/redlist001redlistcats_crit_ucranian.pdf) (дата звернення 25.01.2023).
5. Тимченко А. Ю., Хом'як І. В. Автогенні сукцесії в екосистемах гірничих виробок в долині річки Гуйва. *Біологічні дослідження – 2019*: Збірник наукових праць. Житомир: «Полісся», 2019. С. 353-354.
6. Хом'як І.В. Екосистемологія: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. 235 с.
7. Хом'як І.В., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П. Динаміка відновлюваної рослинності піщаних кар'єрів Житомирського Полісся. *Екологічні науки*. 2021. № 6 (39). С. 204–207.
8. Хом'як І.В., Демчук Н.С., Василенко О.М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. *Екологічні науки*. 2018. Вип. 3(22). С. 113–118.
9. Хом'як І.В., Козин М.С., Коцюба І.Ю., Василенко О.М., Власенко Р.П. Обґрунтування необхідності охорони витоків малих річок на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. *Екологічні науки*. 2022. № 1 (40). С. 28–32.
10. Хом'як І.В. Синтаксономія відновлюваної рослинності кар'єрів Центрального Полісся. *Український ботанічний журнал*. 2022. № 79(3). С. 142–153.
11. Червона книга України. Рослинний світ. М-во охорони навколишнього природного середовища України. Нац. Акад. наук України / за ред. Я. П. Дідуха. Київ. Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
12. Davies C. E., Moss D., Hill M. O. EUNIS Habitat Classification Revised. Report to the European Environment Agency. European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity. Paris, 2004. 310 p.
13. Harbar Oleksandr, Khomiak Ivan, Kotsiuba Iryna, Demchuk Nataliia and Onyshchuk Iryna. Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Socijalna ekologija*. 2021. № 3. P. 347-367.
14. Helgeson Tom. A Reconnaissance-Level Quantitative Comparison of Reclaimed Water, Surface Water, and Groundwater. Alexandria. VA: WateReuse Research Foundation, 2009. p. 141.
15. Hennekens, S.M., Schaminée, J.H.J. Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data. *J. Veg. Sci*. 2001. № 12. 589–591.
16. Keith R. Skene. The energetics of ecological succession: A logistic model of entropic output. *Ecological Modelling*. 2013. № 250 (10) P. 287–293.
17. Khomiak Ivan, Harbar Oleksandr, Demchuk Nataliia, Kotsiuba Iryna, and Onyshchuk Iryna. Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*. 2019. № 1. P. 136–146.
18. Lopes Ana Rita, Becerra-Castro, Cristina, Vaz-Moreira, Ivone, Silva, M. Elisabete F.; Nunes, Olga C.; Manaia, Céilia M. Irrigation with Treated Wastewater: Potential Impacts on Microbial Function and Diversity in Agricultural Soils. *Wastewater Reuse and Current Challenges. The Handbook of Environmental Chemistry*. 2015. Vol. 44. P. 105–128.
19. Westhoff V, Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. *Handbook of Vegetation Science*. /Ed. By R.H. Whittaker. The Hague, 1973. P. 619–726.
20. Zhang S. X. Babovic V. A real options approach to the design and architecture of water supply systems using innovative water technologies under uncertainty". *Journal of Hydroinformatics*. 2012. № 14. P. 13–29.

## ГІДРОХІМІЧНИЙ СТАТУС ПОСТ-МІЛІТАРНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ С. МОЩУН, КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Циганенко-Дзюбенко І.Ю.<sup>1</sup>, Гандзюра В.П.<sup>2</sup>, Алпатова О.М.<sup>1</sup>,  
Демчук Л.І.<sup>1</sup>, Хом'як І.В.<sup>3</sup>, Вовк В.М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
вул. Володимирська, 64/13, 01601, м. Київ

<sup>3</sup>Житомирський державний університет імені Івана Франка  
вул. Пушкінська, 42, 10002, Житомир

<sup>4</sup>Громадська організація «Фонд сталого розвитку України»  
вул. Мукачівська, 6, 04074, м. Київ

ke\_miyu@ztu.edu.ua, gandzyura@gmail.com, alpatova-o@ukr.net,  
ke\_dlm@ztu.edu.ua, ecosystem\_lab@ukr.net, vovkvadim1983@gmail.com

Стаття присвячена дослідженню гідрохімічного статусу пост-мілітарних водних екосистем с. Мощун Київської області. Встановлено, що потенційними джерелами забруднення водойм внаслідок воєнних дій є скид токсичних речовин через аварії на різномісних підприємствах, потрапляння у воду трупів людей і тварин, пошкодження міських очисних споруд, забруднення вірусами, іншими мікроорганізмами в результаті терористичних актів. Проведено гідрохімічний аналіз води досліджуваних водойм і хімічний аналіз донних відкладів. За результатами аналізу розподілу хімічних елементів виявлено забруднення як водного середовища, так і донних відкладів важкими металами. У водному середовищі рибогосподарської та рекреаційної водойм виявлено есенціальні важкі метали Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>. Встановлено, що за усіма позиціями є значні перевищення. Виявлено 10 важких металів у складі донних відкладів, зокрема Al<sup>3+</sup> (на рибогосподарській водоймі 237±1,896 мг/кг, на рекреаційній – 298±2,380 мг/кг) та Fe<sup>2+</sup> (на рибогосподарській водоймі 360,5±4,326 мг/кг, на рекреаційній – 466,5±5,6 мг/кг). Більш забрудненим виявилось рибогосподарське озеро. З'ясовано, що серед усього катіонного складу в донних відкладах є не просто сполуки важких металів, а неесенціальні та трасові, які мають яскраво виражений токсичний ефект та порушують гомеостаз та енантіостаз екосистем. Вивчення гідрохімічної специфіки малих водних масивів, дозволило оцінити особливості впливу геохімічних умов на стан вод і ступінь антропогенного навантаження на водойми. Результати дослідження дозволяють кількісно оцінити наслідки впливу воєнних дій на екосистеми та розробити відновлювальні заходи щодо екосистем, які різною мірою зазнали потужного впливу воєнних дій, а також забезпечити визначення рівня якості води для збереження здоров'я місцевого населення. *Ключові слова:* водойми, водні екосистеми, воєнні дії, важкі метали, токсичність, хімічний аналіз води.

**Hydrochemical status of post-military water ecosystems of the village Moshchun, Kyiv region. Tsyganenko-Dzyubenko I. Yu., Ghandzyura V., Alpatova O., Demchuk L., Khomyak I., Vovk V.**

The article is devoted to the study of the hydrochemical status of the post-military water ecosystems of the village Moshchun, Kyiv region. It has been established that potential sources of water pollution as a result of military operations are the release of toxic substances due to accidents at various enterprises, human and animal corpses entering the water, damage to city sewage treatment plants, contamination by viruses and other microorganisms as a result of terrorist acts. A hydrochemical analysis of the water of the investigated reservoirs and a chemical analysis of bottom sediments were carried out. According to the results of the analysis of the distribution of chemical elements, contamination of both the water environment and bottom sediments with heavy metals was revealed. Essential heavy metals Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> were found in the aquatic environment of fishing and recreational reservoirs. It was established that there are significant excesses for all positions. 10 heavy metals were detected in bottom sediments, in particular Al<sup>3+</sup> (in a fish-farming pond 237±1.896 mg/kg, in a recreational pond – 298±2.380 mg/kg) and Fe<sup>2+</sup> (in a fish-farming pond 360.5±4.326 mg/kg, in a recreational pond – 466.5±5.6 mg/kg). The fishing lake turned out to be more polluted. It was found that among the entire cation composition in the bottom sediments there are not just compounds of heavy metals, but also non-essential and trace metals, which have a pronounced toxic effect and disrupt the homeostasis and enantiostasis of ecosystems. The study of the hydrochemical specificity of small water bodies made it possible to assess the peculiarities of the influence of geochemical conditions on the state of water and the degree of anthropogenic load on reservoirs. The results of the research will make it possible to quantify the consequences of the impact of hostilities on ecosystems and to develop restorative measures for ecosystems that have been strongly affected by hostilities to varying degrees, as well as to determine the level of water quality to preserve the health of the local population, to form monitoring and water use programs. *Key words:* reservoirs, water ecosystems, military actions, heavy metals, toxicity, chemical analysis of water.

**Постановка проблеми.** Масштаби воєнних дій в Україні не мають аналогів з часів другої світової війни. Вони відбуваються на фоні загострення кліматичної кризи та системно взаємодіють із пов'язаними

з нею факторами. Воєнні дії – це комплекс антропогенних факторів прямої та опосередкованої дії на довкілля. Це масштабні переміщення транспортних засобів та постійні вибухи, бомбардування, що при-

зводять до широкого фізичного пошкодження чутливих ландшафтів і біорізноманіття. Використання вибухової зброї спричиняє викиди в атмосферу, забруднення води, повітря, землі, утворення пожеж, підпалів тощо. Шкодочинність від використання вибухівки, активних обстрілів, які докільля України переживає щодня, применшити неможливо. Такі дії, окрім яскраво вираженого пірогенного ефекту мають і токсичний ефект. Є всі підстави стверджувати про необхідність системного аналізу наслідків для антропогенно трансформованих екосистем внаслідок воєнних дій [1].

Потенційними джерелами забруднення водойм внаслідок воєнних дій є скид токсичних речовин у результаті аварій на різноманітних підприємствах, потрапляння у воду трупів людей чи тварин, пошкодження міських очисних споруд, забруднення вірусами, іншими мікроорганізмами в результаті терористичних актів тощо. Будь яка з цих подій може призвести до того, що вода становитиме небезпеку для здоров'я людей і тварин, а, оскільки річка є основним джерелом прісної води, санітарно-гігієнічна ситуація в містах може досягти критичного стану.

Критичної уваги потребує використання речовин, які де факто є елементами хімічної зброї (токсичні та радіоактивні компоненти), що часто використовуються військом ворога або залишаються на полі бою.

**Актуальність дослідження.** Дослідження впливу воєнних дій на довкілля є актуальним науковим та соціально-політичним завданням, вирішення якого необхідне для моделювання та прогнозування майбутніх змін у навколишньому середовищі, виставлення об'єктивних судових претензій до країни-агресора, розробки заходів, пов'язаних із відновленням порушених воєнними діями екосистем та забезпечення здоров'я населення.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Оскільки світ ще не стикався з такими масштабами бойових дій в умовах розвитку біосфери, то важливим є розробка нових алгоритмів моделювання змін в екосистемах в умовах війни, прогнозування наслідків змін у них й оцінки завданої шкоди природним екосистемам та спільнотам, що з ними пов'язані. Для цього має застосуватись системний аналіз екологічного стану водойми. Екологічний стан – поняття, що не має однозначного тлумачення. Утім не можна обійти увагою Водну рамкову директиву 200/60/ЄС, підписану урядом України, і покликану наблизити вітчизняні нормативні документи до західноєвропейських.

За Водною рамковою директивою, екологічний стан водойм – це сукупність біотичної, гідроморфологічної та хімічної (ширше – фізико-хімічної) складових. Згідно з Директивою екологічний стан визначають за низкою показників: відмінний, добрий, помірний, посередній, поганий. Відповідне оцінювання здійснюється за даними моніторингу, який має стосуватись трьох вище перелічених складових [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблему забруднення солями важких металів, як важливий фактор токсичності водного середовища, досліджували вітчизняні і зарубіжні вчені.

М. Ю. Євтушенко та С. В. Дудник трактують водну токсикологію як науку про токсичні властивості водного середовища по відношенню до представників біоти водойм, яка вивчає джерела і шляхи надходження токсичних речовин у водойми, їхню міграцію, трансформацію і акумуляцію у водних екосистемах, вплив токсикантів на життєдіяльність гідробіонтів на організменному, популяційному, біоценотичному і екосистемному рівнях [3].

В. І. Вишневський у своїй науковій праці «Водойми Києва» [2] дослідив вплив міста на водні об'єкти. О. М. Арсан [4] вивчав особливості формування сучасного еколого-токсикологічного стану водойм урбанізованих територій та його можливі зміни. В. Д. Романенко [5] розглядав склад, закономірності формування і особливості функціонування водних екосистем, а також фізико-хімічні фактори, які визначають якість води та біопродуктивність водойм різного типу.

В. А. Алексєєв [6] запропонував малакотоксикологічні методи досліджень, що сприяло становленню та розвитку нового напрямку водної токсикології. Шкодочинність в екології, як здатність певного чинника знижувати стан благополуччя системи, досліджували В. П. Гандзюра та В. В. Грубінко [1].

Певний інтерес мають дослідження Д. А. Вискушенка [7] про вплив солей міді та цинку на озерного прудовика, одного з найбільш поширених у водоймах України червоногих моллюсків. Д. О. Янович та Т. М. Швець [8] дослідили шляхи надходження хрому та його сполук до водних об'єктів, обґрунтували необхідність здійснення контролю вмісту Cr (VI) в гідроєкосистемах з огляду на його токсичність.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття.** Незважаючи на наявність наукових розробок за досліджуваною проблематикою, більш глибокого вивчення вимагає проблема забруднення водного середовища внаслідок воєнних дій і визначення гідрохімічного статусу пост-мілітарних водних екосистем.

**Новизна.** На основі проведеного гідрохімічного аналізу води і хімічного аналізу донних відкладів водних екосистем с. Мощун Київської області виявлено негативний вплив на них воєнних дій, зокрема забруднення солями важких металів, а також визначено гідрохімічний статус цих пост-мілітарних водних екосистем.

**Виклад основного матеріалу.** За даними Генерального Штабу ЗСУ від 18.07.2022 р. 23 березня 2022 р. російські війська застосували над північно-західною околицею Києва заборонені фосфорні боеприпаси. Орієнтовна зона ураження – Гостомель-Ірпінь Київська область (рис. 1).

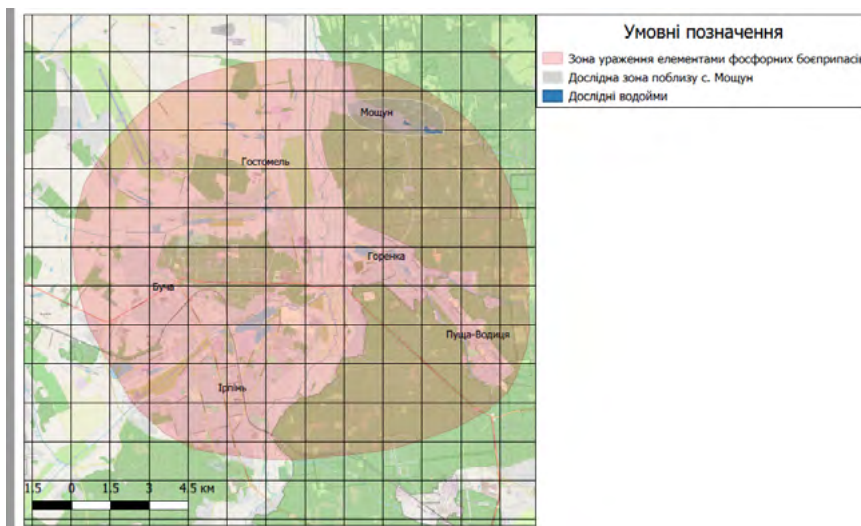


Рис. 1. Зона ураження елементами фосфорних боєприпасів Київської області 23.03.2022 р. за даними Генерального Штабу ЗСУ від 18.07.22 р.

Використання таких видів зброї проти мирного населення є злочином проти людяності та порушенням Женевських конвенцій. Використання агресивних хімічних компонентів, а саме фосфорних боєприпасів має дуже негативний вплив як на навколишнє середовище, так і на людей. Вони спричиняють пожежі та хімічні опіки. Горіння фосфору також може призвести до загибелі тварин, рослин і всього навколо, оскільки фосфор у реакції з киснем дуже швидко загоряється, у поєднанні із водою утворює кислоти та високотоксичний фосфін, а при взаємодії із вуглецевими сполуками – органофосфати.

Військова техніка впливає на навколишнє середовище як і уламки снарядів, тобто домішки металів можуть забруднювати ґрунтові та підземні води. Залишки боєприпасів забруднюють як едафотоп, так і гідротоп неесенціальними (слідовими) важкими металами. На токсичність речовин для гідро-

біонтів впливає присутність інших сполук, форми досліджуваної речовини, жорсткість води, світловий і температурний режими, концентрація кисню, рН, швидкість течії, освітлення, наявність комплексотворювачів, синергізм та стан біологічних об'єктів. Токсичність може визначатися здатністю металів до концентрування [1; 6; 7; 8; 9].

Метали в організмі тварин впливають на багато життєво важливих органів, тканин, структур, у тому числі і зябра. Ці токсиканти змінюють функцію крові, серця водних тварин, пошкоджують вплив на зябра, порушують біохімічні процеси. Все це відображається на загальному функціональному стані гідробіонтів і їх диханні [5].

До групи неесенціальних хімічних елементів віднесені такі важкі метали (ВМ) як  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{As}^{2+}$ . Вони відомі як високотоксичні, тобто такі, що викликають негативні зміни у життєдіяльності

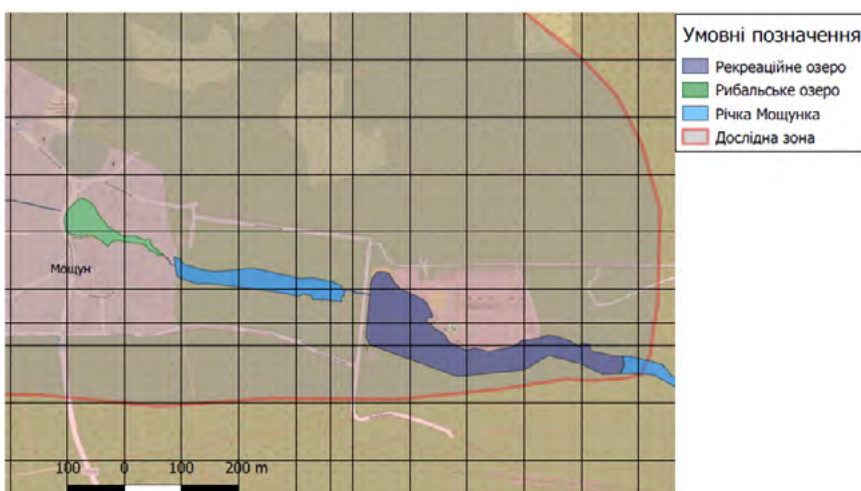


Рис. 2. Водні об'єкти в межах дослідної зони поблизу с. Мощун Київської області

організмів на продукційному, енергетичному та речовинному рівнях за дуже низьких концентрацій, а їхня біологічна роль не визначена [10].

Важкі метали є протоплазматичними отрутами, токсичність яких зростає із збільшенням атомної маси. Механізм токсичної дії катіонів металів на флору різний і зумовлює: зниження активності ферментів; утворення хелатів зі звичайними метаболітами та порушення обміну речовин; взаємодію з клітинними мембранами і зміну їх проникності та інших властивостей; конкуренцію з хімічними елементами, необхідними для живлення рослин; порушення функціонування ферментних систем та загибель рослин.

У військовій техніці є багато пального, що призводить до горіння, забруднення повітря, ґрунтів і водних ресурсів. Небезпечним є потрапляння техніки в річки й озера, бо окислення металу може призвести до забруднення води.

У липні 2022 року відповідно до чинних методичних рекомендацій проведено відбір проб річкових вод та донних відкладів з водойм рибальського та рекреаційного озер с. Мощун Київської області (рис. 2).

Ще більшого наукового інтересу додає той факт, що дві водойми походять із одного каскаду штучно створених озер та мають різнотипне значення для дослідженої території, а саме одне озеро є виключно рибогосподарським, а інше – окреслене як рекреаційне через наявність рекреаційно-реабілітаційної бази «Пуца Водиця», яка під час окупації використовувалась як сховище від обстрілів та опорний штаб захисників ТРО.

Хімічний аналіз проведено за встановленими стандартними гідрохімічними та аналітико-хімічними методиками. Кількісне та якісне визначення вмісту сполук важких металів здійснено за допомогою Атомно-емісійної спектроскопії (АЕС). Це багатокомпонентний метод, придатний для одночасного визначення кількох елементів, у той час як за допомогою атомно-абсорбційної спектроскопії можна визначати лише окремі елементи. Це перспективний метод для скринінгових екологічних досліджень. Переваги даного методу: відносно малі матричні ефекти, широкий діапазон вимірювань (1:10000), висока продуктивність (значно вища, ніж при використанні ААС). Недоліки: можливість появи спектральних перешкод, перекривання емісійних ліній деяких елементів [11].

*Вміст сульфатів* у поверхневих водах зумовлений процесами вивітрювання гірських порід, підземним стоком, окисненням речовин рослинного та тваринного походження, окисно-відновними процесами та господарською діяльністю людини. Значення середньорічного вмісту сульфатів у пробах води коливається від 11 мг/дм<sup>3</sup> до 14 мг/дм<sup>3</sup> в межах норми.

*Розчинений кисень та рН води.* Хіміко-біологічний стан водотоків значною мірою зумовлює розчинений кисень, що абсорбується з атмосфери або утворюється у процесі фотосинтезу. Витрати кисню пов'язані з хімічними та біологічними процесами, диханням гідробіонтів, а тому рівноважний вміст може відображати екологічний стан води. У досліджуваних водоймах вміст розчиненого кисню спостерігався у межах норми і становив 5,61 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у рекреаційній водоймі та 5,17 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у Рибальському озері відповідно. Щодо водного показника (рН), то він може змінюватися внаслідок втрати вуглекислоти та біохімічних процесів, але в період забору значення не виходили за нормативні межі 7,26 – 7,28.

Хімічне споживання кисню (ХСК) – показник, що характеризує ступінь та динаміку самоочищення річкових вод. Коливання вмісту у двох водоймах ХСК відбувається у межах нормативних значень (9,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у Рибальському озері та 9,3 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у рекреаційній водоймі відповідно).

Важливим комплексом показників якості поверхневих вод є біогенні речовини, основними з яких є сполуки азоту та фосфору – чинники процесів як природного, так і антропогенного евтрофування. Азотовмісні сполуки утворюються у воді, внаслідок потрапляння в них гумусових та інших речовин. Згідно з даними дослідження вміст мінеральних сполук азоту у воді за період спостережень не перевищував нормативне значення.

У пробах води з рекреаційної водойми наявні поліфосфати 1,21 мг/дм<sup>3</sup>, з рибальського озера – 0,86 мг/дм<sup>3</sup>.

На відміну від природного евтрофування, що є звичним розвитком цілого ряду сукцесійних процесів, антропогенна евтрофікація – різке посилення первинного продукування у водоймах через надлишкове потрапляння біогенів внаслідок діяльності людини – супроводжується появою комплексу порушень у стані екосистеми. Останнє спричиняє ряд серйозних негативних явищ, наприклад, зниження прозорості води та дефіцит кисню в придонних шарах, як результат – появу явища «цвітіння» водо-

Таблиця 1

Катіонний склад ВМ у гідротопах досліджених водойм с. Мощун

Водойма	Середній вміст ВМ, мг/кг				
	<i>Fe</i> <sup>2+</sup>	<i>Mn</i> <sup>2+</sup>	<i>Cu</i> <sup>2+</sup>	<i>Al</i> <sup>3+</sup>	
	ГДК*	≤0,1	≤0,01	≤0,001	≤0,04
Рибогосподарська	0,2±0,002400	0,015±0,000084	0,05±0,000190	0,06±0,000480	
Рекреаційна	0,15±0,001800	0,001±0,000006	0,04±0,000152	0,02±0,000160	



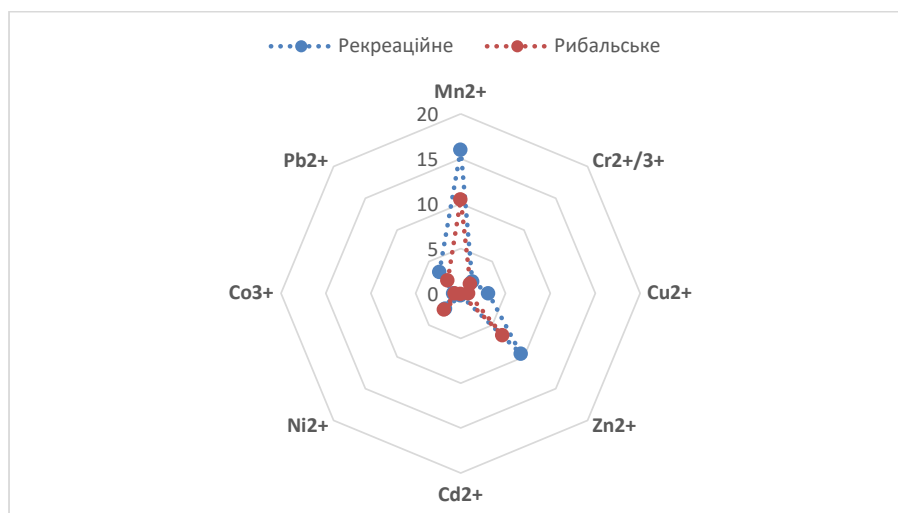


Рис. 3. Розподіл ВМ (мг/кг) у донних відкладах досліджених водних об'єктах с. Мошун (окрім  $Al^{3+}$  та  $Fe^{2+}$ )

ростей, інтенсивний розвиток деяких макрофітів (нитчастих водоростей чи повітряно-водних рослин) та значне погіршення якості води.

Вміст натрію, калію, фторидів, марганцю, кальцію, магнію у пробах води у період досліджень не перевищував нормативні значення цих показників. Вміст заліза, алюмінію відрізняється від нормативного значення. Найбільше перевищення сполук міді спостерігається на рибальській водоймі (у 50 разів) та на рекреаційній водоймі (у 40 разів) (табл. 1). Нормативні значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) приведені згідно з НД: СанПіН 4630-88 та «Узагальненим переліком гранично допустимих концентрацій та орієнтовно-безпечних рівнів впливу (ВЗУВ) шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм».

Одним з найбільш об'єктивних і надійних показників стану забруднення водного середовища та загального рівня техногенного навантаження на нього є вміст забруднюючих речовин у донних відкладах. Вони формуються в результаті седиментації завислого у воді матеріалу і його взаємодії з водною фазою й акумулюють в собі солі винесених поверхневими водами забруднюючих речовин, продуктів вітрової ерозії ґрунтів, важких сполук, що утворюються в приземній атмосфері, а також тверду фазу промислових та побутових стоків.

Тому, будь-які зміни антропогенного навантаження в межах водозборів, що тягнуть трансформацію екосистемних зв'язків і викликають незворотні зміни в будові і складі донних відкладень є важливою складовою в системі екологічної безпеки регіону та індикатором динаміки антропогенезу.

З одного боку, це сприяє самоочищенню водного середовища, оскільки акумулюються різні екоотоксиканти, в тому числі сукупності мікроелементів, з іншого – є джерелом вторинного забруднення водойм і індикатором динаміки антропогенезу та рівня екологічної безпеки регіону, оскільки саме донні відклади відображають зміни в багаторічному надходженні мікроелементів до водних екосистем [4].

На рис. 3 показано розподіл ВМ у донних відкладах досліджених водних об'єктах с. Мошун (окрім  $Al^{3+}$  та  $Fe^{2+}$ ). Вміст кадмію, марганцю та свинцю не перевищує встановлених нормативів гранично допустимих концентрацій:  $Cd^{2+}$  0,23 мг/кг у рекреаційній водоймі та 0,063 мг/кг у Рибальському озері,  $Mn^{2+}$  15,99 мг/кг та 10,46 мг/кг,  $Pb^{2+}$  3,34 мг/кг та 2,03 мг/кг відповідно.

За даними Держекоінспекції та ГО «Українська природоохоронна група» після детонації боєприпасів, ракет та іншої вибухівки до всіх елементів довкілля найбільше потрапляє сполук сірки, алюмінію, цинку. Після найтяжчого періоду окупації, аві-

Таблиця 2

Катіонний склад ВМ у донних відкладах досліджених водойм с. Мошун

Водойма	$Fe^{2+}$	$Mn^{2+}$	$Cr^{2+/3+}$	$Cu^{2+}$	$Zn^{2+}$	$Cd^{2+}$	$Ni^{2+}$	$Al^{3+}$	$Co^{3+}$	$Pb^{2+}$
	Середній вміст ВМ, мг/кг									
Рибальська	360,5	10,46	1,513	0,86	6,6	0,063	2,58	237	0,625	2,03
	± 4,326	± 0,059	± 0,004	± 0,001	± 0,079	± 0,001	± 0,031	± 1,896	± 0,016	± 0,037
Рекреаційна	466,5	15,99	1,864	3,1	9,5	0,23	2,41	298	0,789	3,34
	± 5,600	± 0,090	± 0,005	± 0,040	± 0,100	± 0,005	± 0,030	± 2,380	± 0,019	± 0,060

абомбардувань та активних артилерійських обстрілів Київщини та с. Мощун у тому ж числі пройшло близько півроку. Як наслідок забруднюючі речовини частково або повністю мігрували з аеро-, гідро- та едафотопів у донні відклади до водойм, які знаходились безпосередньо в межах зони бойових дій, а також територій, які суміжні з нею. Також потрібно зауважити, що в межах Ірпінської, Гостомельської та Бучанської об'єднаних територіальних громад знаходиться досить широка гідромеліоративна система, річка Ірпінь, а також інші різнотипні водні об'єкти.

За результатами дослідження у донних відкладах виявлено залізо (загальне) 466,5 мг/кг у рекреаційній водоймі та 360,5 мг/кг у рибальському озері, хром, мідь, цинк, нікель, алюміній та кобальт. У порівнянні з кількістю інших сполук ВМ, кількість алюмінію у обидвох випадках є великою, а саме в рекреаційному озері 298,0 мг/кг, рибогосподарському – 237,00 мг/кг (табл. 2). Однак навіть через значну кількість алюмінію та цинку вміст цих показників у донних відкладах не нормується.

#### Головні висновки:

1. Аналіз розподілу хімічних елементів показує забруднення як водного середовища, так і донних відкладів важкими металами.

2. У водному середовищі рибогосподарської та рекреаційної водойм були виявлені есенціальні важкі метали  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ . За усіма позиціями є значні перевищення ГДК<sub>риб./госп.</sub>. Більш забрудненим виявилось рибогосподарське озеро.

3. Попри відсутнє нормування вмісту сполук важких металів у складі донних відкладів виявлено значний якісний катіонний склад, а саме 10 важких металів. Серед них найбільшою кількістю характеризуються  $Al^{3+}$  (на рибогосподарській 237±1,896 мг/кг, та на рекреаційній – 298±2,380 мг/кг) та  $Fe^{2+}$  (на рибогосподарській 360,5±4,326 мг/кг, та на рекреаційній – 466,5±5,6 мг/кг). Варто зазначити, що серед всього катіонного складу в донних відкладах є не просто сполуки важких металів, а неесенціальні та трасові, які мають яскраво виражений токсичний ефект та порушують гомеостаз та енантіостаз екосистем.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Гідрохімічна специфіка малих водних масивів, які визначають характер та особливості режимів середніх і великих річок, дозволить оцінити як особливості впливу геохімічних умов на стан вод, так і ступінь антропогенного навантаження на водойми, що, в свою чергу, дасть можливість сформувати програми моніторингу та водокористування.

#### Література

1. Гандзюра В. П., Грубінко В. В. Концепція шкодочинності в екології. Київ-Тернопіль : Вид-во ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2008. 144 с.
2. Вишневецький В. І. Водойми Києва. К. : Ніка-Центр, 2021. 280 с.
3. Євтушенко М. Ю., Дудник С. В. Водна токсикологія: підручник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 606 с.
4. Арсан О. М. Особливості формування сучасного еколого-токсикологічного стану водойм урбанізованих територій та його можливі зміни. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія Біологія*. 2010. № 2 (43). С. 14–17.
5. Романенко В. Д. Основи гідроекології: підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.
6. Алексеев В. А. Основні принципи порівняльно-токсикологічного експерименту. *Гідробіологічний журнал*. 1981. Т. 17. № 3. С. 92–100.
7. Вискушенко Д. А. Реагування ставковика озерного на вплив сульфату міді та хлориду цинку. *Гідробіологічний журнал*. 2002. Т. 38. № 4. С. 86–92.
8. Янович Д. О., Швець Т. М. Хром у гідроекосистемах та його вплив на біоту водойм (огляд). *Гідробіологічний журнал*. 2017. Т. 53, № 2. С. 70–87.
9. Malacea I. A. Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol.* 2003. № 1 (65), pp. 79–92.
10. Євтушенко М. Ю., Дудник С. В. Водна токсикологія: підручник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 606 с.
11. I.G. Kotsiuba, G.V. Skyba, I.A. Skuratovskaya, S.M. Lyko. Ecological Monitoring of Small Water Systems: Algorithm, Software Package, the Results of Application to the Uzh River Basin (Ukraine). *Methods and objects of chemical analysis*, Volume 14, No. 4, 2019. P. 200–207.

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ КАПТАЖІВ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В СУЧАСНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Яковлев В.В.<sup>1</sup>, Цифра Ю.М.<sup>2</sup>, Дмитренко Т.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків

<sup>2</sup>Незалежний дослідник

yakovlev030157@gmail.com, ubk\_tsifra@ukr.net, Tetyana.Dmytrenko@kname.edu.ua

З огляду на швидку аридизацію клімату, загрозу тероризму і воєнних дій, обґрунтовано актуальність удосконалення каптажних споруд (КС) децентралізованого водопостачання. У звичайних умовах навіть зменшені ресурси поверхневих вод у купі з захищеними запасами підземних вод можуть вирішувати задачу водопостачання. Останні події військової агресії проти України показали, що наразі централізовані системи водопостачання дуже вразливі. Це стосується пошкодження водозабірних станцій і водоводів, враження систем генерації й передачі електричної енергії, без яких стало функціонування системи централізованого водопостачання припиняється.

У роботі запропоновано оригінальну конструкцію каптажної споруди, яка має переваги у порівнянні з колодязями й свердловинами, та позбавлена їх недоліків. Розглянуто переваги запропонованої конструкції КС у порівнянні з традиційними колодязями й неглибокими свердловинами. Надаються пояснення щодо способу і порядку її будівництва – буріння та облаштування. Нова конструкція є безпечною при її спорудженні, забезпечує накопичення достатньої кількості води та герметизацію устя, що дозволяє зменшити нітратне забруднення води, яке у відкритих колодязях спричиняється накопиченням насиченого біотою мулу. Експлуатаційними перевагами у порівнянні з колодязями є більша глибина, що дозволяє уникнути зневоднення каптажу при зниженні рівня ґрунтових вод, яке пов'язане з аридизацією клімату. Робочими є два експлуатаційних стовбури, один з яких призначений для видобування води насосом, а другий – для ручного підйому. Екологічною і санітарною перевагою у порівнянні з колодязною конструкцією є ізоляваність джерела підземної води від атмосфери та забруднень, які можуть надходити з поверхні. *Ключові слова:* колодязь, свердловина, каптажна споруда, питна вода, децентралізоване водопостачання.

**Improvement of groundwater tapping facilities of the decentralised water supply under current environmental conditions. Yakovlev V., Tsyfra Yu., Dmytrenko T.**

In the context of the rapid aridisation of the climate, the threats of terrorism and hostilities, the topicality of improving the ground water tapping facilities (GWTF) of decentralized water supply is substantiated. Under normal conditions, even reduced surface water resources, together with protected groundwater resources, can solve the problem of water supply. Recent events of military aggression against Ukraine have shown that centralized water supply systems are currently very vulnerable. This applies to damage to water intake stations and water conduits, damage to systems for generating and transmitting electrical power, without which the permanent functioning of the centralised water supply system is terminated.

The authors propose an original design of a ground water tapping facility which has advantages over wells and drillholes and is devoid of their faults. The advantages of the proposed GWTF design in comparison with traditional wells and shallow drillholes are considered. Explanations about the method and procedure for its construction – drilling and outfitting – are given. The new design is safe to construct and ensures the accumulation of sufficient water and wellhead sealing, which reduces the nitrate contamination of water, associated with the accumulation of biota-saturated sludge in open drillholes. In comparison with common wells, the operational advantage of the proposed design is a greater depth allowing to avoid dehydration of ground water tapping facility when the groundwater table drops by the impact of climate aridisation. There are two operational holeshafes, one of which is designed for water extraction by an electrically driven pump, and the second one for manually operated pump. The environmental and sanitary advantages compared to the common well design is the isolation of the groundwater source from the atmosphere and pollution that may come from the ground surface. *Key words:* well, drillhole, groundwater tapping structure, potable water, decentralised water supply.

**Постановка проблеми.** Забруднення поверхневих водних об'єктів та погіршення якості води в системах централізованого водопостачання привело до пошуку додаткових джерел водопостачання населення. За останні роки у великих містах України, наприклад, Києві, Харкові, Одесі та ін., введено в експлуатацію артезіанські свердловини, які забезпечують населення водою більш високої якості. Вода забирається з підземних горизонтів, захищених від антропогенного впливу. Наявність додаткового джерела водопостачання дозволяє забезпечити надійність водопостачання. Це особливо важливо

у разі виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із можливими техногенними катастрофами, воєнними діями, небезпекою терористичних актів та ін. Роботу присвячено проблемі удосконалення каптажних споруд децентралізованого водопостачання, які використовуються населенням для господарсько-побутових і питних цілей.

**Актуальність дослідження.** Події військової агресії Росії проти України показали, що централізовані системи водопостачання дуже вразливі. Це стосується не тільки пошкодження водозабірних станцій та водоводів, а й порушення систем генерації

ції і передачі електричної енергії, без яких централизоване водопостачання припиняється. У свій час автор робив застереження щодо такого характеру ураження систем водопостачання [1], але вони залишилися без необхідної уваги.

Державними програмами покращення сфери водопостачання [2; 3] передбачається шлях удосконалення систем централізованого водопостачання. З огляду на швидку зміну клімату та, особливо, критичні ситуації, такі як воєнні дії й тероризм, доцільним є дублювання систем водопостачання запасними й альтернативними системами. Стосовно населених пунктів у сільській місцевості й, взагалі, приватних садиб, незалежно від їх місцезнаходження, актуальним є новий погляд на конструкцію каптажних споруд децентралізованого водопостачання, що удосконалює традиційні колодязі та неглибокі свердловини.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема роботи відповідає основним принципам і напрямкам державної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення водних ресурсів України, зокрема, Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р.).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні десятиліття в Україні, у зв'язку з аридизацією клімату, загострюється проблема водопостачання. У звичайних умовах навіть зменшені ресурси поверхневих вод у купі з захищеними запасами підземних вод, за великим рахунком, можуть вирішувати задачу водопостачання. Але поверхневі води як джерело питного водопостачання дуже вразливі. Вони не захищені від техногенного впливу через токсичні атмосферні опади на глобальному рівні, про що свідчить забруднення навіть антарктичного льоду [4]. Повсюдно зі стічними водами з селітебних територій до поверхневих вод надходять поверхнево-активні речовини [5], фармацевтичні препарати [6–11]. Дуже поширеним є забруднення ґрунтів і елементів поверхневої гідросфери нафтопродуктами [12–14]. Існує постійна загроза терористичних актів отруєння джерел водопостачання [1; 15; 16] і глобального впливу на гідросферу аж до рівня «ядерної зими», що передбачає довгострокове забруднення і замерзання поверхневих джерел прісної води [17; 18].

Ґрунтові води на території України, як і повсюдно у Світі, також схильні до забруднення [19–22], але відносно поверхневих вод, при належних заходах охорони вони мають перевагу. Тому, в умовах вразливості централізованих систем водопостачання, актуальним є питання, перш за все, екологічного удосконалення каптажів децентралізованого водопостачання, які у своїй сукупності є більш розосередженою і стійкою системою життєзабезпечення.

**Викладення основного матеріалу.** Характерною особливістю колодязів є можливість накопичення

в них певного об'єму води, який звичайно є достатнім для покриття добової потреби у приватному господарстві. У період відстою, навіть при слабо фільтруючих водовмісних ґрунтах, відбувається відновлення статичного рівня та об'єму води, і таким чином забезпечується стабільність умов водокористування. В цьому є перевага перед свердловинами, де такого об'єму води немає і тому їх звичайно облаштовують на більш проникні та водорясні шари ґрунтів, які, як правило, залягають глибше. Окрім того, у свердловинах видобуток води відбувається за допомогою електричних насосів, що з точки зору надійності дає перевагу колодязям, де підйом води можливий ручним способом. Суттєвими перевагами використання колодязів є те, що за допомогою них використовується найбільш доступний ресурс води першого від поверхні водоносного горизонту, їх будівництво не потребує спеціального бурового устаткування, і, як правило, облаштування колодязя дешевше за буріння та облаштування свердловин.

З іншої сторони, перевагою свердловин є те, що вони у більшості випадків можуть забезпечувати більш яскравий водоприплив внаслідок їх облаштування на водоносні шари з кращими фільтраційними властивостями та більшого зниження динамічного рівня. Також перевагою свердловин є більша захищеність джерела водопостачання від забруднення з поверхні. Однак практика показала, що при спорудженні свердловин на другий від поверхні, більш захищений водоносний горизонт, діючі бурові фірми з економічних причин обмежуються встановленням «прямої» колони труб, яка одночасно є й експлуатаційною, і фільтровою. Це призводить до проникнення забруднених ґрунтових вод до експлуатаційного горизонту уздовж затрубного простору між стінкою свердловини та обсадною трубою. Водокористувачі не беруть до уваги цей аспект конструкції, оскільки не мають знань у цій області, і при виборі виконавця будівництва свердловини переважно керуються економічними міркуваннями, що передбачає реалізацію якомога простої конструкції. Очевидним стає факт, що страждає не тільки сам водокористувач – одночасно пробурена свердловина стає постійним джерелом забруднення більш глибоких, ніж ґрунтовий, водоносних горизонтів, вода з яких використовується і сусідніми водозабірними спорудами.

Автори спробували вирішити актуальну проблему технічного удосконалення каптажних споруд (КС) децентралізованого водопостачання шляхом усунення вищевказаних недоліків і поєднання переваг колодязного і свердловинного способів конструктивного облаштування.

Типовими гідрогеологічними умовами в Україні є двошарова будова – слабо фільтруючий суглинстий шар підстеляється відносно більш проникним шаром піщаних або інших ґрунтів. При значній потужності верхнього шару глибина споруди для видобутку води може не досягати його підшви, і для

колодязів в таких умовах характерним є малий приплив води. Окрім того, за рахунок малої величини активної пористості водовмісних ґрунтів, характерною є значна амплітуда сезонних коливань рівнів ґрунтових вод, що подекуди перевищує 3 м [23].

Враховуючи вищесказане, питання удосконалення конструкції КС розглянемо для найбільш несприятливого для видобутку випадку, коли шар відносно малопроникних суглинків підстеляється більш щільними й більш водотривкими суглинками та глинами. При цьому необхідно зазначити, що з деякими відмінностями пропонується технологія спорудження КС може бути використана і в умовах іншого геологічного розрізу, зокрема з відкриттям в нижній частині більш проникних ґрунтів, наприклад, піщаних.

На рис. 1 наведена принципова конструкція пропонуваної КС, а нижче надаються пояснення

щодо способу і порядку її будівництва – буріння та облаштування.

КС необхідно розташовувати з урахуванням санітарних вимог на віддалені від джерел забруднення [24], а спосіб буріння визначається гідрогеологічними умовами, головними з яких є склад ґрунтів (проектного геологічного розрізу) і глибина рівня ґрунтових вод на вибраній ділянці. Для коректного обґрунтування зони санітарної охорони та способу буріння КС доцільно залучити спеціаліста – гідрогеолога, завданням якого є обґрунтування зони захвату підземних вод, виходячи з проектного об'єму забору води та конкретних гідрогеологічних умов. Також, на основі даних про характер водовмісних порід гідрогеологом визначається глибина і спосіб буріння КС. Для зв'язних порід (суглинки, глини) буріння виконується шнековим способом без кріплення стінок діаметром 500–600 мм.

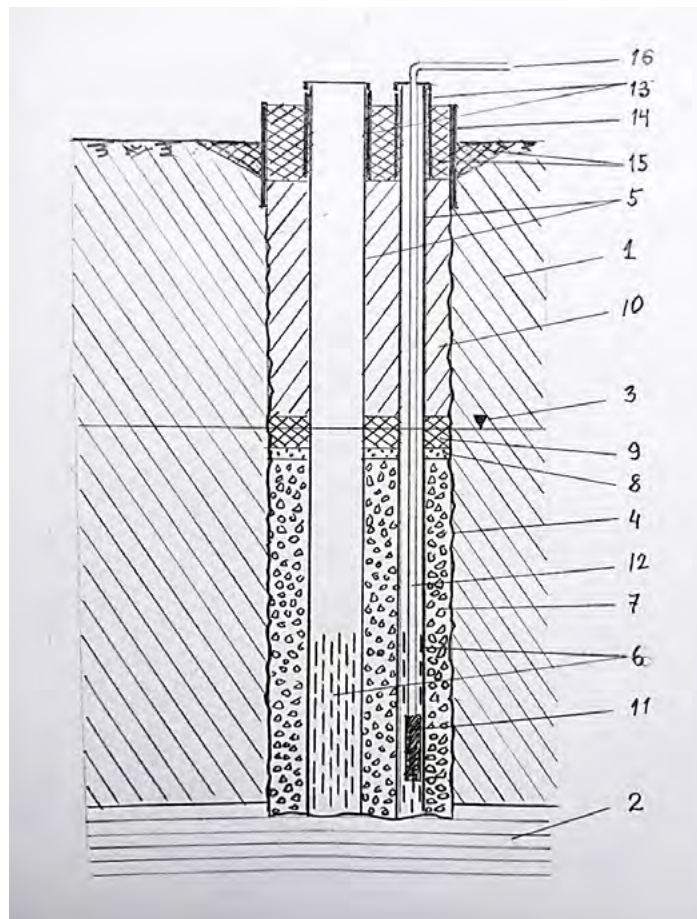


Рис. 1. Принципова конструкція удосконаленої каптажної споруди у слабопроникних відкладах, призначена для децентралізованого водопостачання

- 1 – суглинок; 2 – глина; 3 – рівень ґрунтових вод; 4 – стінки свердловини діаметром 500–600 мм; 5 – пластикові труби діаметром 100–140 мм (для встановлення насоса) і труби діаметром 140–250 мм (для ручного підйому води); 6 – щелева перфорація; 7 – гравійна засипка; 8 – піщана подушка; 9 – цементна пробка; 10 – зворотна засипка вибуреним суглинком; 11 – електричний погрузний насос; 12 – водопідйомна труба; 13 – металеві патрубки й кришки на устях експлуатаційних колон; 14 – короткий патрубок на усті каптажної споруди діаметром 350–600 мм; 15 – цементация на усті й відмостка; 16 – подача води на використання

Слід зазначити, що при наявності нестійких порід (наприклад, піщаних) застосовується буріння з промивкою, або з тимчасовим кріпленням стінок технічною обсадною колоною.

В пробурену свердловину великого діаметра встановлюються дві фільтрові (вони ж експлуатаційні) пластикові колони труб, перфоровані у нижній частині, як показано на рис. 1. Перфорація робиться не на всю потужність обводнених ґрунтів, а тільки на нижню частину для запобігання потрапляння атмосферного повітря у водоносний горизонт, що зменшує вірогідність розвитку бактеріального забруднення води у джерелі. Після встановлення фільтрових труб їх обсапають гравійним або грубopіщаним матеріалом – кварцового, вапнякового, доломітового або іншого складу (застосовуються хімічно інертні породи). Оскільки активна пористість і коефіцієнт фільтрації такого насипного матеріалу (експертно – 0,25–0,35 і 50–300 м/добу, відповідно) значно перевищують такі у суглинистому ґрунті (0,05–0,07 і 0,01–0,5 м/добу), це дозволить накопичувати у період відстою КС і відбирати певний об'єм гравітаційної води за один прийом.

Завантаження гравійно-піщаного матеріалу доцільно робити при доливі води через фільтрові колони з метою більш щільної укладки насипного матеріалу. Контроль рівня засипки виконується за допомогою металевого щупа або рулетки. Після заповнення виробки до рівня, на 0,15–0,20 м нижче природного рівня ґрунтових вод (який встановлюється при бурінні), поверх гравійно-піщаного матеріалу засипають 0,10–0,15 м шар дрібного кварцового піску. Цей шар є спеціальною подушкою для наступного цементного шару товщиною 0,30–0,50 см, який призначений для ізоляції від забруднення ґрунтових вод з поверхні уздовж каналу буріння.

На цій стадії доцільно виконати промивку позафільтрової обсапки для видалення мулу шляхом почергового прокачування води у фільтрових колонах з доливом її у сусідню. Закінчують прокачування після повного освітлення води.

Після затвердіння цементної пробки верхня частина виробки заповнюється вибуреним суглинком, який попередньо замочується до текуче-пластичного стану. Такий стан ґрунту потрібен для ефективного заповнення всього об'єму при умові, що ущільнення стовбура трамбуванням небажане з причини можливого порушення вертикальності пластикових експлуатаційних колон.

На усті КС встановлюється короткий патрубок, який бетонується зсередини. Верхні частини свердловин армуються сталевими патрубками необхідного діаметру, які закріплюються у бетонній тумбі. Також навколо устя облаштовується цементна відмостка, як це показано на рис. 1.

При заборі води за допомогою занурювального насоса необхідно встановити датчик сухого ходу для автоматичного відключення насоса при зниженні рівня води до критичної глибини.

При відсутності електроенергії для відбору води ручним способом не потрібно підіймати насос, а відбір відбувається ручним способом у іншій експлуатаційній колоні більшого діаметра. Воду підіймають відром об'ємом 5–10 л з нижнім клапаном. Для цього на усті КС встановлюється вороток, подібний колодязному. Для запобігання пошкодженню пластикових труб фільтрової колони, ширина барабана, на який намотується підйомний трос, не повинна перевищувати діаметр експлуатаційної труби.

Зрозуміло, що якість ґрунтових вод далеко не завжди відповідає нормативам для питної води. Проте, відносно варіанта звичайного колодязя, якість води у спорудженій КС буде вищою за рахунок більшої глибини підземних вод і захищеності від забруднення з атмосфери. Опис деяких способів кондиціювання колодязних вод і збереження їх свіжості у побутових умовах надані автором окремо [14].

**Головні висновки.** Як висновки перелічимо переваги запропонованої конструкції КС у порівнянні з традиційними колодязями й неглибокими свердловинами.

Експлуатаційними перевагами у порівнянні з колодязями є більша глибина, що дозволяє уникнути зневоднення каптажу при зниженні рівня ґрунтових вод, пов'язаним з аридизацією клімату. У порівнянні зі свердловинами відповідної глибини, запропонована конструкція КС дозволяє користуватися запасеним об'ємом води, що накопичується в інтервалі гравійно-піщаної засипки. Перевагою є можливість дублювання механічного забору води ручним відбором зі спеціальної фільтрової колони. Наявність двох каналів забору води збільшує функціональну стійкість КС, адже з виходом зі строю одного з фільтрів, експлуатацію можливо повноцінно продовжувати механічним і ручним способами в другій фільтровій колоні в перемінному режимі.

Екологічною і санітарною перевагою, у порівнянні з колодязною конструкцією, є ізолюваність джерела підземної води від атмосфери та забруднень, які можуть надходити з поверхні. Це дозволяє підтримати бактерицидність води та захистити її від аномального забруднення нітратами, яке у колодязях пов'язане з накопиченням у донних відкладах залишків біоти.

**Перспективи використання результатів досліджень.** Результати досліджень можуть бути використані органами виконавчої влади, об'єднаних територіальних громад при облаштуванні колективних джерел децентралізованого водопостачання, а також фермерами, окремими господарями з метою покращення якості та захищеності колодязних вод.

## Література

1. Яковлев В.В. Угрозы бесперебойному функционированию городских водопроводов Украины и меры по защите населения. *Научный вестник строительства*. 2010. Вып. 56. С. 147–152.
2. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.04.2021 р. № 388-р. *Офіційний вісник України*. 2021. № 37. Ст. 2250.
3. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну ріки Дніпро на період до 2021 року. *Відомості Верховної Ради України*. 2013. № 17. Ст. 146.
4. Environmental contamination in Antarctica / Ed. by S. Caroli, P. Cescon, D.W.H. Walton. Amsterdam: Elsevier (2001). 420 p.
5. Яцик А. В. Екологічна ситуація в Україні і шляхи її поліпшення. Київ : Оріяни, 2003. 84 с.
6. Виставна Ю.Ю., Руско Ю.О. Фармацевтичні речовини у природних водах: моніторинг та екологічний ризик. *Комунальне господарство міст, серія «Технічні науки та архітектура»*. 2011. Вып. 97. С. 134–140.
7. Bartelt-Hunt, Snow, S.L., Damon, D. D. [et al.]. (2009). The occurrence of illicit and therapeutic pharmaceuticals in wastewater effluent and surface waters in Nebraska. *Environmental Pollution*. № 157 (3). P. 786–791.
8. Clara M., Strenn, B., Kreuzinger, N. (2004). Carbamazepine as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations on the behavior of carbamazepine in wastewater treatment and during groundwater infiltration. *Water Research*. № 38 (4). P. 947–954.
9. Cleuvers, M. (2003). Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology Letters*. 142 (3). P. 185–194.
10. MacLeod, S.L., McClure E. L., Wong, C. S. (2007). Laboratory calibration and field deployment of the polar organic chemical integrative sampler for pharmaceuticals and personal care products in wastewater and surface water. *Environmental Toxicology and Chemistry*. № 26. P. 2517–2529.
11. Vystavna Y., Frkova Z., Celle-Jeanton H., Diadin D., Huneau F., Steinmann M., Crini N., Loup C. (2018). Priority substances and emerging pollutants in urban rivers in Ukraine: Occurrence, fluxes and loading to transboundary European Union watersheds. *Science of the Total Environment*. Vol. 637–638. P. 1358–1362.
12. Суярко В.Г., Сердюкова О.О. Особливості забруднення підземних вод у зонах впливу нафтогазопромислів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія – Географія – Екологія»*. 2010. № 924. С. 222–225.
13. Огняник Н.С., Парамонова Н.К., Брик А.Л. і др. Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев : LAT&K, 2013. 254 с.
14. Osborn, S.G., Vengosh A., Warner N.R., Jackson R.B. (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *PNAS*. Vol. 108. P. 8172–8176.
15. Яковлев В.В. Інженерні заходи впливу на гідрохімічний склад ґрунтових вод. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2012. Вып. 5. С. 98–102.
16. Яковлев В.В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. ... д-ра геол. наук: 21.06.01 / Харків. нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна. Харків, 2017. 351 с.
17. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях / Шестопапов В.М., Огняник Н.С., Дробноход Н.И. и др.; отв. ред. В.М. Шестопапов. Киев: Наукова думка, 1991. 528 с.
18. Crutzen, P.L., Bircs, J.W. (1982). The Atmosphere after a Nuclear War: Twilight at Noon. *Ambio*. V. 11. № 2/3. P. 114–125.
19. Яковлев С.О. Регіональна оцінка територіального розподілу та екологічного стану підземних вод України (зона активного водообміну). *Водопостачання та водовідведення*. 2008. С. 46–51.
20. Злобина В.Л., Джамалов Р.Г. Тенденции изменения качества подземных вод при загрязнении атмосферных осадков. *Геоэкология*. 1998. № 3. С. 17–23.
21. Дмитренко Т.В., Яковлев В.В., Костенко Н.В. Экологические аспекты использования родниковых вод урбанизированных территорий для питьевого водоснабжения (на примере г. Харькова). *Научный вестник строительства*. 2003. Вып. 21. С. 209–224.
22. Дмитренко Т.В., Яковлев В.В. Техногенез ґрунтових вод на підтоплених територіях на прикладі Харькова. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2014. Вып. 7. С. 46–52.
23. Стан підземних вод України: щорічник / під ред. С.І Примушко, Т.Д. Білошаської, В.Ф. Величко. Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2011. 120 с.
24. Постанова Кабінету Міністрів України «Про правовий режим зон санітарної охорони водних об'єктів» від 18.12.1998 р. № 2024. *Офіційний вісник України*. 1998. № 51. Ст. 1890.

## ECOLOGICAL ASPECTS OF THE ANALYSIS OF THE ACTIVITY OF THE ORGANIC FORM ENTERPRISE OF THE EASTERN OPILLIA

Glovyn N.M.<sup>1</sup>, Pavliv O.V.<sup>1</sup><sup>1</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

“Berezhany Agrotechnical Institute”

Academichna Str, 20, 47501, Berezhany

nadiaglovin@gmail.com, Pavliv-1978@ukr.net

It is considered the importance of the process of greening as a direction of agricultural development, which is based on the mastering of ecological management methods, provides expanded reproduction of natural and anthropogenic resources due to the formation of sustainable ecological and economic systems, aimed at increasing the volume of production of competitive products through the creation of a sustainable agricultural landscape using ecological management methods on the basis of the introduction of adaptive landscape farming systems, rational involvement in the economic turnover and increasing the efficiency of the use of natural, material and labor resources of the countryside. In addition, quite often the completely careless use of natural resources, the use of extensive resource-intensive technologies, the low level of environmental awareness of society cause irrational use of nature and, ultimately, lead to significant environmental degradation and a decrease in the production of high-quality and environmentally safe products at domestic agro-industrial enterprises. The article researches ecological farming farms that are based on the use of purely organic fertilizers, methods of non-chemical control of the spread of weeds, pests, diseases, storage of food and feed without synthetic additives; rely on advanced technologies, guarantee the high quality of food products, economically and efficiently use land resources, maintain the natural balance in agricultural land use. Theoretical justifications were considered and practical recommendations aimed at improving the formation of the system of environmentally safe agricultural land use were proposed. In order to ensure the balanced development of agroecosystems and rational nature management, the transition of the agricultural sector to alternative farming methods is of great importance. The organisation of the agricultural territory is the first stage on the way of the transformation of the natural ecosystem into an agroecosystem, and the boundaries of the types of organisation of the agricultural territory form the natural borders of agroecosystems.

The study of the ecological state of natural resources was bases of agricultural organic forms enterprises of the eastern Opillia region, namely the agro-ecosystem of farms of the bioorganic method of management and the impact on ecosystems in the territory of the Berezhany region (Research of agro-ecosystems in the LLC "Zhyva Zemliah Potutory" (organic method of farming) village Potutory, Ternopil region. The goal is to substantiate ecological approaches and analyze practical recommendations for the formation of a mechanism for the development of environmentally safe agriculture and the provision of an ecological assessment of agricultural landscapes for the possibility of organic cultivation of agricultural crops. Materials and methods of determination were carried out in accordance with the methodology of continuous soil and agrochemical monitoring of agricultural lands of Ukraine.

Farmers of alternative farms, in most cases, cannot compete with farmers of traditional farms in terms of the amount of harvest. Satisfactory yield is entirely dependent on the amount of manure and compost used, as well as the area that farmers can devote to leguminous crops. *Key words*: agroecosystem, biologization, agrochemicals, assimilation nitrogen, organic fertilizers, green manures, biological products.

**Екологічні аспекти аналізу діяльності підприємства органічної форми господарювання східного регіону Опілля.  
Гловин Н.М., Павлів О.В.**

Розглянуто важливість процесу екологізації як напрямку розвитку сільського господарства, що базується на освоєні екологічних методів господарювання, забезпечує розширене відтворення природних і антропогенних ресурсів за рахунок формування стійких еколого-економічних систем, спрямованих на збільшення обсягів виробництва конкурентоспроможної продукції через створення стійкого агроландшафту за використання екологічних методів господарювання на основі впровадження адаптивно-ландшафтних систем землеробства, раціонального залучення до господарського обороту і підвищення ефективності використання природних, матеріальних і трудових ресурсів сільської місцевості. Крім того, досить часто абсолютно неконтрольоване використання природних ресурсів, застосування екстенсивних ресурсомістких технологій, низький рівень екологічної свідомості суспільства причиняють нераціональне природокористування і, зрештою, призводять до значної деградації довкілля та зниження обсягів виробництва високоякісної і екологічно безпечної продукції на вітчизняних агропромислових підприємствах. У статті проведено дослідження фермерських господарств екологічного землеробства, які базуються на використанні суто органічних добрив, методах нехімічного контролю за поширенням бур'янів, шкідників, хвороб, зберіганні продуктів харчування і кормів без синтетичних добавок; спираються на передові технології, гарантують високу якість продуктів харчування, економно та ефективно використовують ресурси землі, підтримують природний баланс в аграрному землекористуванні. Розглянуто теоретичні обґрунтування та запропоновано практичні рекомендації, що спрямовані на удосконалення формування системи екобезпечного сільськогосподарського землекористування. З метою забезпечення збалансо-



ваного розвитку агроєкосистем та раціонального природокористування важливе значення має перехід аграрного сектора на альтернативні методи господарювання. Організація сільськогосподарської території є першим етапом на шляху перетворення природної екосистеми в агроєкосистему, а межі типів організації сільськогосподарської території формують природні кордони агроєкосистем. Базою виконання роботи вибрано дослідження екологічного стану природних ресурсів сільськогосподарських підприємств органічних форм господарювання східного регіону Опілля, а саме агроєкосистема господарств біоорганічного методу господарювання і впливу на екосистеми на території Бережанського регіону ( Дослідження агроєкосистем у ТЗОВ «Жива земля Потутори» (органічний метод землеробства) с. Потутори, Тернопільського району. Метою є обґрунтування екологічних підходів та аналіз практичних рекомендацій щодо формування механізму розвитку екобезпечного землеробства та надання екологічної оцінки агроландшафтів для можливості органічного вирощування сільськогосподарських культур. Матеріали і методи визначення проводили згідно з методикою суцільного ґрунтово– агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України. *Ключові слова:* агроєкосистема, біологізація, агрохімікати, асиміляційний азот, органічні добрива, сидерати, біопрепарати.

**Problem statement.** Organic agriculture must be based on the principles of natural ecological systems and cycles, working with, coexisting with, and supporting them. The results are achieved by greening the production environment. For example, for plants it is living soil, for animals it is a farm ecosystem, for fish and marine organisms it is an aquatic environment. The principles of organic farming, grazing, and the use of natural systems in the wild that are used to produce crops must exist in balance and in natural cycles. It is well known that the application of mineral fertilizers significantly increases the productivity of agricultural crops, but the use of organic fertilizers has a positive effect on the quality and restoration of soil fertility.

The use of leguminous crops in crop rotations allows solving the issue of providing fodder for livestock and organic fertilizers for crop production [1]. The study of agrochemical indicators of soils due to the introduction of alternative fertilizers is a necessity for conducting scientific research in this direction [2; 3]. The factors studied in the observations have a tangible impact on the formation of positive agrochemical indicators of soil quality. Producers, processors, traders, consumers of organic products must protect and protect the environment, including landscapes, climate, habitat, biological diversity, air and water. The role of organic agriculture in farming, processing, distribution, and consumption is to support and improve the health of ecosystems and organisms, from the simplest in the soil to humans. According to this principle, the use of fertilizers, pesticides, veterinary drugs for animals and food additives that can have a negative effect on health should be avoided [4].

**The relation of the authors' work with important scientific and practical tasks.** One of the directions of this research is the theoretical substantiation and development of practical recommendations aimed at improving the formation of the system of environmentally safe agricultural land use. An approach to the evaluation of the ecological efficiency of organic farming activities, which, in contrast to the existing traditional ones, provides for: a) long-term ecological stability; b) preservation and reproduction of soil fertility; c) rational use of water resources; d) conservation of biodiversity; e) refusal to use genetically modified organisms (GMOs); e) maintenance of ecological balance in the agroecosystem and its assimilation capabi-

lities [4,5,6]. Making a decision on the transition to an ecologically oriented vector of development is possible only if there is confidence in the ecological expediency and interest in the usefulness of one's business.

**Survey of recent research and publications.** The basis of the Ukrainian legislation that regulates the "organic" sphere is the law "On the production and circulation of organic agricultural products and raw materials", which supposedly prohibits the use of fertilizers and pesticides, but allows a whole list of exceptions. Without exception, only mineral nitrogen fertilizers are prohibited. Moreover, there is an organization in Ukraine that certifies fertilizers and plant protection products for organic farming. That is, not every "organic" product, which is sold 2-5 times more expensive than the usual one, was really grown without fertilizers and pesticides [5]. Studying the experience of conducting ecological agriculture in European countries, it is necessary to single out the common reasons for the interest of enterprises in the transition to alternative production.

First of all they are caused by the possibility of conducting ecological management methods, which ensures the expanding reproduction of natural and anthropogenic resources due to the formation of sustainable ecological and economic systems, aimed at increasing the volume of production of competitive products through the creation of a sustainable agricultural landscape using ecological management methods based on the introduction of adaptive landscape systems agriculture, rational involvement in economic turnover and increasing the efficiency of the use of natural, material and labor resources in rural areas [6; 7]. Researchers believe that the development of agroholdings will have negative social and environmental consequences in the future, because their export orientation, aimed at obtaining quick profits, leads to a violation of crop rotation and thus to the degradation of agricultural land, a reduction in fodder crops, and the abandonment of animal husbandry [6; 7].

The reason of a number of environmental problems caused by agriculture is the excessive use of chemicals, primarily mineral fertilizers and chemical plant protection agents. Taking into account the above, the policy of regulation in the field of chemicalization of agricultural production should be aimed not only at maximizing the volume of agricultural production, but also necessarily at encouraging the preservation and restoration of soil

fertility, the introduction of innovative technologies and techniques, developments and achievements of science in the field of ecologically safe agriculture.

The intentions of the Ukrainian state to comprehensively support ecological entrepreneurship are manifested primarily in the adopted legal acts. First of all, these are Articles 3, 16, 50 of the Constitution of Ukraine, the Law of Ukraine "Basic Principles (Strategy) of State Environmental Policy for the Period Until 2030". In particular, the specified law stipulates that within the framework of the implementation of the Central Development Strategy until 2030, it is envisaged to unite the efforts of the state, enterprises and the population in solving the following issues: overcoming military aggression by Russia and reintegration of the occupied territories; reduction of environmental pollution; decrease in the level of diseases, increase in the average life expectancy of a person; reduction of energy and resource intensity of products; formation of a developed system of renewable energy sources; increasing the efficiency of national energy and resource saving programs; creation of a positive environmental image of Ukraine for effective promotion of the country in the international space and integration into world society; production of ecological products (organic products) to ensure food security, public health and sustainable economic development [8-9].

**Highlighting previously unsolved parts of the general problem, to which the specified article is devoted.** In this article, research was conducted on the causes of a number of environmental problems caused by agriculture, including excessive use of chemicals, primarily mineral fertilizers and chemical plant protection agents. Taking into account the above, the policy of regulation in the field of chemicalization of agricultural production should be aimed not only at maximizing the volume of agricultural production, but also necessarily at encouraging the preservation and restoration of soil fertility, the introduction of innovative technologies and techniques, developments and achievements of science in the field of ecologically safe agriculture.

**Novelty.** We offered to the investigated farms alternative ways of enriching the soil with nitrogen. An analysis of the technology of accelerated compost production was carried out. Depending on the substrate, the NPK content in compost can be within 1.35; 0.57; 0.97, it has a dark color. Noteworthy is the change in the smell of the compost material – from stinky to the "smell of the earth" caused by the products of actinomycetes.

**Methodological or general scientific value.** The importance of alternative methods of restoring fertile soil layers is determined, namely, with the help of modern organic fertilizers and microbiological preparations, it is possible to build an optimal system of nitrogen nutrition during organic production, with the aim of using it as a component of organic farming. The purpose of the definition is the substantiation of ecological approaches and the analysis of practical recommendations for the formation of a mechanism for

the development of environmentally safe agriculture; the degree of violation of the ecological balance in the balance of humus and basic nutrients and the ecological and agrochemical state of the lands of intensive agricultural use in the eastern region of Opillia. The research was conducted by processing the materials of the State Statistics Service in Ukraine [10-11]. The indicators of the structure of agricultural land in non-traditional farms, the structure of sown areas, the amount of organic and mineral fertilizers, and the spread of soil degradation processes were analyzed.

**Statement of basic article.** Alternative production should be considered as a priority for the development of ecologically oriented entrepreneurship in Ukraine. First of all, we are talking about organic production of agricultural products, the experience of which confirms the formation of a positive effect for all participants in this process. Along with the production of organic food products in Ukraine, the production of the necessary technological elements is developing: organic seeds, permitted by the standards of organic production of plant protection products, biological preparations for combating pests and diseases of plants and animals, feed and feed additives [12]. Research on agroecosystems at the "Zhyva Zemlia of Potutory" LLP (organic farming method) 300 hectares of land, of which 200 are arable, 34 dairy cows, a garden with vegetables and herbs – 15 people take care of this farm, two of them are Swiss (Elias de Boer and Christina Lieberger). Besides following the principles of organic production, they also apply the system of biodynamic agriculture, which was developed by the Austrian mystic philosopher Rudolf Steiner, known in particular as the creator of Waldorf pedagogy. From a worldview, biodynamic agriculture involves perceiving the farm as a whole organism, treating the soil as living, and using natural, specially made materials for working with soil, compost, and plants. Christina Lieberger in Switzerland taught horticulture at a Waldorf school, and in Potutory she supervises the field of herb cultivation. Biodynamic agriculture in the cultivation of herbs consists in using compost and a lot of manual labor [13-14].

According to the results of the observations, an ecological assessment of the condition of the soils of the agricultural enterprises of Zhyva Zemlia Potutory LLC was carried out. Potutory, Berezhany district and LLC "Agroprodservice" Ternopil region. Judging from the data on two farms, the following can be said: the content of alkaline hydrolyzed nitrogen is at a low level, because the nitrogen of mineral fertilizers is almost completely lost in the year of its application, this element is the most important element, as the basis of all living organisms, the doses of nitrogen application in general, on farms humus content of 2.41% and 2.73%, respectively, is average. Soils with a soil solution reaction ranging from weakly acidic to neutral are widespread on the territory of the studied farms. Acidity indicator (Potutory) pH salt. – 6.3, and the hydrolytic acidity is 1.77 mg-eq/100g,

(Agroprodservice) pH salt. – 5.9, and the hydrolytic acidity is 1.92 mg–eq/100 g of soil (Table 1).

It is worth to consider the problem separately from the content of alkaline hydrolyzed nitrogen, which is mostly at a low level, because the nitrogen of mineral fertilizers is almost completely lost in the year of its application, this element is the most important element, as the basis of all living organisms.

An important condition in farms with an organic method of land use (Zhyva Zemlia Potutory LLC) is the ban on the use of synthetic mineral fertilizers. Accordingly, to ensure high yields, the producer needs to look for an alternative for them. If it is possible to use natural minerals for phosphorus and potassium, then what to do with nitrogen? This element is directly associated with obtaining maximum productivity. The primary attention of producers to nitrogen fertilizers is also confirmed by statistical data: on 1 ha of arable land, an average of 27.0 kg of nitrogen is applied, which is 4 times more than phosphorus and potash fertilizers! What is the alternative to nitrogen mineral fertilizers? First of all, we are talking about organic fertilizers. In general, in order for the production of products to be considered biological, it is necessary to apply from 14 to 34 t/ha of organic fertilizers. The main purpose of applying such fertilizers is to increase the content of organic matter and improve the nutritional regime. A wide range of macro- and microelements is applied with organic fertilizers.

**We offered the investigated farms alternative ways of enriching the soil with nitrogen.** These are, for example: **1. Compost**, technologies for its accelerated production are emerging. Thus, the technology of accelerated natural degradation of organic substances under controlled conditions has been developed and is constantly being improved. As a result of composting in 60–65 days, a valuable fertilizer is obtained, in which the content of organic substances is at least 75%, and at least 50% of nutrients in a form easily accessible to plants. It also lacks pathogenic microflora in dangerous concentrations, viable weed seeds, and the fertilizer has a weakly alkaline or neutral reaction. As a result of high-temperature biofermentation of the compost mass in aerobic conditions, the nutritional value of the finished product increases, and its environmental friendliness is ensured. Parameters of the finished product: the content of the active substance in 1 ton of compost is at least 50–70 kg, including nitrogen – 15–20 kg, phosphorus – 10–15 kg, potassium – 15–20 kg. Depending on the substrate, the NPK content in compost can be within 1.35; 0.57; 0.97, it has a dark color. Noteworthy is the change in the smell of the compost material – from stinky to the "smell of the earth" caused by the products of actinomycetes' life.

**2. "Green" organic fertilizers – siderates.** Special crops of plants, the above-ground mass of which is partially or completely incorporated into the soil, Siderats contribute to the natural reproduction of soil fertility. In the fields occupied by them, the upper layer does not dry out, the biota does not die, but only promotes photosyn-

thesis, increasing the accumulation of nutrients. As side crops, perennial leguminous grasses are used (asparagus, alfalfa), annual legumes (vetch), which are more useful for enriching the soil with nutrients, as well as buckwheat, oil radish, mustard, as well as mixtures of vetch and seed oats, oil radish and seed oats, phacelia, amaranth, rapeseed, rye grass. **3. Cultivation of leguminous crops.** Due to the nitrogen fixation of nodule bacteria, it is possible to additionally obtain 30–250 kg/ha of nitrogen. After harvesting, more than 30% of biologically fixed nitrogen remains in crop and root residues and is used by subsequent crops. In addition to symbiotic nitrogen fixation, representatives of this family accumulate a significant amount of this element in root and surface residues. Plant residues of leguminous crops with a narrower C:N ratio (20-30:1) mineralize very quickly. Thus, approximately 70% of pea residues are decomposed already in the first two weeks after they are dug into the soil.

This inevitably leads to nitrogen losses. Achieving a balance between the release of nitrogen from decomposing residues and the need for it by crops is the optimal option that ensures an increase in the overall efficiency of the farming system. This can be regulated by the timing of the cultivation of cover crops in the soil. In general, the following dependence is observed: the more mature the plants, the wider the C:N ratio and the slower the process of their decomposition. It is generally known that it is advisable to use the remains of the predecessor (straw, chaff) as a source of nitrogen. In terms of nutrition, 3–4 tons of straw = 9 tons of manure.

This is a "free" source of organic matter and nutrients (+30–40 kg of nitrogen). But in Ukraine, only 45% of straw is directly used in the field, part of which can be burned. Such inefficient use of natural resources is unacceptable, especially in the practice of organic farming. 30–50% of nitrogen is lost from the upper layer by burning the remains of the precursor. It is worth noting that the plant residues of the vast majority of crops are characterized by a wide C:N ratio (60–80:1). That is why, to accelerate mineralization, 10 kg of nitrogen must be applied to 1 ton of straw, 7 kg to 1 ton of corn residues. In this case, it is also possible to do without the use of mineral fertilizers, using the latest approaches to nitrogen nutrition of crops in the organic farming system.

**4. System of minimum tillage. 5. Application of biological preparations (as fertilizers, inoculants, biodestructors, means of protection against diseases and pests).** In conditions of abandonment of mineral nitrogen fertilizers, the need to introduce microbiological preparations, which include nitrogen fixers, is increasing. There are selective strains of nitrogen-fixing microorganisms for certain types of crops: for legumes – rhizobophyte, winter wheat – diazophyte, corn – albobacterin, barley – rhizenterin, sugar beet – polymyxobacterin. And only under the condition of the correct selection of the drug, it is possible to obtain the maximum productivity of nitrogen fixation. To ensure good

development, plants should not experience nitrogen starvation during the entire vegetation period – from the emergence of seedlings to the formation of generative organs. It is worth paying attention to reveal the soil's ability to retain and give nitrogen to plants.

For example, soil with a heavier mechanical composition, where plants are sown with increased density, can give more nitrogen to the plants. Therefore, it is possible to reduce the rate of nitrogen application in this part of the field. But at the same time, more nitrogen may be needed on lighter soils if they have a lower ability to hold and release nitrogen to the plants.

Among those that are most often used is **manure from livestock farms**. However, in terms of nitrogen nutrition, this type of fertilizer is not very effective. The nitrogen content in manure ranges from 0.5 to 0.8%, depending on the species of animals and the chemical composition of the litter. This means that from 25 tons of cattle manure (0.5% N) about 125 kg of nitrogen will be applied, of which the plant will use 40 kg in the first year. This amount is not enough to ensure a deficit-free balance of this element.

The absolute advantage of manure is the optimal C:N ratio of 20:1. Such an indicator is also typical for soils. This means that the manure does not disturb the ratio of carbon to nitrogen. In addition, this fertilizer has a positive effect on the reproduction of soil fertility and significantly increases the indicators of the nutritional regime. The cost of manure is one of the lowest among organic fertilizers. However, there are not many livestock farms left in Ukraine, and to be more precise, the livestock industry is just beginning to recover. This is evidenced by the average rate of application of organic fertilizers – 0.26 t/ha. Therefore, it is not so easy to buy manure, which means that you need to have your own farm.

In order to use manure from livestock farms, the following conditions must be observed: 1. To reduce nitrogen losses, manure must be collected in the shortest possible time. A few days of scattered but unearned fertilizer will cost the farm 30–50% of N; 2. In the conditions of organic farming, the quality of fodder will directly determine the quality of manure. That is, food for animals must be supplied from areas with organic farming to avoid problems with exceeding the MAC for heavy metals, radionuclides or pesticide residues. If the animal consumes a lot of weed seeds with its feed, problems with weeding may arise. And it is forbidden to solve such a problem by chemical means; 3. A variety of microflora "lives" in manure. On the one hand, this is a plus for the soil, on the other hand, there is an additional danger of plant diseases, and therefore, a lack of harvest and a decrease in product quality.

On acidic soils, it is advisable to use excrement – waste from sugar factories. Fertilizer helps restore soil fertility and optimize nitrogen nutrition (0.8% N). However, the stool must meet certain environmental standards. Therefore, it is necessary to carry out its chemical analysis for use.

From the possibilities of applying nitrogen-containing organic fertilizers, we will move on to the cultivation of crops that contribute to the additional accumulation of nitrogen. Therefore, with the help of modern organic fertilizers and microbiological preparations, it is possible to build an optimal system of nitrogen nutrition during organic production. When the soil recovers its functionality after a certain period (10–20 years), the need for nitrogen will decrease to a minimum.

**Conclusion.** More and more agricultural producers are beginning to understand that chemical farming does not meet either their interests or the interests of consumers and are gradually switching to organic farming. Organic agriculture has significant ecological advantages over traditional agriculture: a) Long-term ecological stability. Numerous changes and processes occurring in the natural environment are long-term in nature. Organic agriculture provides a medium- and long-term positive ecologically stabilizing effect on agroecosystems. Aiming at the production of ecologically safe food products, it prevents the depletion of soil fertility and the spread of diseases and pests. Organic agriculture is based on a philosophy that is understandable to society – it is cheaper to warn and prevent troubles than to eliminate them after they have already caused damage;

b) Preservation and reproduction of soil fertility. Such elements of agriculture as crop rotation, use of catch crops, silage, application of organic fertilizers (composts, high-quality humus, by-products of crop production and plant residues) and minimal tillage are the most affordable methods of organic agriculture. They contribute to the development of soil flora and fauna, improve the composition and structure of the soil, contribute to the formation of more stable ecosystems, and play an important role in the fight against water and wind erosion. In the combined interaction, the ability of the soil to retain moisture and nutrients increases, which compensates for the rejection of the use of mineral fertilizers and ensures the preservation and reproduction of soil fertility.

**Use of research results.** The survey data of organic farms show in perspective how to determine the need for soils, establish the most optimal doses of organic and mineral fertilizers, conduct systematic work on increasing soil fertility and the yield of agricultural crops.

#### References

1. Балаєв А.Д., Ковальчук О.П., Дорошкевич Н.Ф. Зміна вмісту та запасів гумусу в сірому лісовому ґрунті за застосування різних сидеральних культур як зеленого добрива. *Корми і кормовиробництво*. Вінниця, 2011. Вип. 70. С. 106–110.
2. Гармашов В.В., Фомічова О.В. До питання органічного сільськогосподарського виробництва в Україні. *Вісник аграрної науки*. Житомир, 2010. № 7. С. 11–16.

3. Журавель С.В., Матвійчук Б.В., Матвійчук Н.Г. Особливості органічного землеробства на Поліссі. URL: [http://zemlerobstvo.com/wpcontent/uploads/v.z.1-2.2011\\_2.pdf](http://zemlerobstvo.com/wpcontent/uploads/v.z.1-2.2011_2.pdf) (дата звернення 11.12.2022).
4. Артиш В. І. Управлінські аспекти розвитку виробництва екологічно чистої продукції в сільському господарстві України. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 2006. № 102. С. 242–247.
5. FAQ – ORGANIC UA. URL: <http://organic.ua/uk/organicworld/faq> (дата звернення 22.12.2022).
6. Агрохімія: навч. пос. / І. М. Карасюк та ін. Київ : Вища школа, 1995. 472 с.
7. Ласло О.О. Органічне землеробство – шлях до екологічно безпечної продукції. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 1. С. 137–139.
8. Патица В.П., Тараріко О.Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К. : Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
9. Голубченко В.Ф., Ямкова Н.А. Оцінка родючості ґрунтів за еколого-агрохімічними показниками. *Агроекологічний журнал*. Київ, 2010. № 4. С. 53–56.
10. Кисіль В.І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства. Харків : 13 типографія, 2005. 167 с.
11. Павлів А. В. Паспортизація сільськогосподарських підприємств Тернопільської області Бережанського району ТЗОВ «Жива земля Потутори» та ТОВ «Крона». *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. Серія : Сільськогосподарські науки*, Том 18, № 1 (65) Частина 3. 2016. С. 214–217.
12. Гололобова О. О., Василюк Я. С. Агроекологічне обґрунтування поводження з органічними відходами при виробництві гуматів. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Вип.30, 2018. С. 131–136. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-11>
13. Гловин Н. М., Павлів О. В. Дослідження причин виникнення та впливу кислотності ґрунтів на урожайність сільськогосподарських культур агрогосподарств Козівського району Тернопільської області. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2019, т 21, № 91, ст. 16–20 ISSN 2519–2698 print <https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture> doi: 10.32718/nvlvet-a9103
14. Гловин Н. М., Павлів О. В. (2021). Еколого-агрохімічна оцінка придатності ґрунтів сільськогосподарського підприємства для вирощування органічної продукції. *Сільське господарство. Екологія: Науково-виробничий фаховий журнал. Вісник Полтавської державної аграрної академії*. № 1 (100), р. 203–209. doi: 10.31210/visnyk2021.01.25

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КРИПТОАКТИВІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ БЛОКЧЕЙН НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Горобей М.С.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ  
[marina.gorobey@gmail.com](mailto:marina.gorobey@gmail.com)

Досліджено вплив блокчейн-рішень на навколишнє природне середовище в умовах зростаючого розвитку ринку криптоактивів. Blockchain наразі є технологією на ранній стадії розробки, тому багато гравців ринку вивчають її потенційні застосування. Очевидно, що криптовалюти залишаються найбільш зрілим і досить відомим застосуванням, пропонуючи потенціал для трансформаційних змін у міжнародній фінансовій системі. Криптоактиви, такі як біткойни, пов'язані зі значним викидом вуглецю, оскільки споживають величезну кількість енергії, затрати якої конкурують з зенергоспоживанням деяких майнінг криптовалютів та призводить до викидів парникових газів, що впливає на кліматичні зміни.

Потенційні катастрофічні наслідки зміни клімату надзвичайно важливі для людства, оскільки вони впливають на землекористування, підвищення рівня моря, засухи та хвилі спеки, зміни в моделях опадів, власне, на глобальне суспільство в цілому з огляду на зворотний зв'язок із такими природними явищами на Землі.

Зважаючи на глобальний характер технологій блокчейн та швидко зростаючі обсяги майнінгу криптовалют, дослідження щодо їх негативного впливу на довкілля та потенційного внеску у глобальні зміни клімату є важливою темою для досліджень світової наукової спільноти.

Зазначено, що технології блокчейну, у тому числі й криптоактиви, потребують використання електроенергії для забезпечення усіх функцій блокчейн-мережі. Операції з видобутку криптовалютів також впливають на навколишнє середовище спричиненим локальним шумом від майнінгу, а також забруднення повітря та інші фактори внаслідок будь-якого прямого використання електроенергії, що отримується за рахунок спалювання викопного палива. Загрозою для довкілля є й електронні відходи.

Для розробки нових підходів оптимального використання ресурсів необхідний ретельний моніторинг, подальші наукові дослідження галузі та оцінка стійкості на глобальному, європейському та місцевому рівнях. *Ключові слова:* технологія блокчейн; блокчейн рішення; криптоактиви; цифрові активи; криптовалюти; енергоспоживання; зміна клімату; практики сталого розвитку; вплив на довкілля.

### **Study of the impact of cryptoassets based on blockchain technology on the environment. Gorobei M.**

This paper explores the growing environmental impact of blockchain solutions due to the rapid development of the crypto-asset market.

Blockchain is currently an early stage technology and many market players are exploring its potential applications. Clearly, cryptocurrencies remain the most mature and well-known application, offering the potential for transformative change in the international financial system.

Crypto-assets such as Bitcoin are associated with a significant carbon footprint as they consume huge amounts of energy, rivaling the energy consumption of some countries. Crypto asset mining leads to greenhouse gas emissions and affects climate change.

The potentially catastrophic effects of climate change are of great interest to humanity because they affect land use, sea level rise, droughts and heat waves, changes in precipitation patterns, and global society in general through feedback from these natural Earth cycles.

Given the global nature of blockchain technologies and the rapidly growing mining volumes of cryptocurrencies, concerns about their potential contribution to global climate change are an important topic for research in the global scientific community.

Based on the theoretical analysis, it is proposed to consider the definition of negative impacts on the environment of blockchain technologies and cryptocurrency mining.

It has been established that blockchain technologies, including cryptoassets, require electricity to support all functions of the blockchain network. Crypto asset mining operations also affect the environment through local mining noise, as well as air pollution and other factors from any direct use of fossil fuel-fired electricity. Electronic waste is also a growing threat to the environment.

The development of new approaches to the optimal use of resources requires careful monitoring, further scientific research of the sector and assessment of sustainability at the global, European and local levels. *Key words:* blockchain technology; blockchain solutions; crypto assets; digital assets; cryptocurrencies; energy consumption; climate change; sustainable development practices; impact on the environment.

**Актуальність дослідження.** Використання блокчейн-технологій має серйозні перспективи як для бізнесу, так і для світу загалом. Найбільші корпорації: Microsoft, IBM, Visa тощо, активно вивчають та розвивають такі технології. Ринки криптовалютів швидко розвиваються і наприкінці 2022 року досягли

850 мільярдів доларів США, але інфраструктура, що підтримує основні криптоактиви, такі як біткойни, споживає величезну кількість енергії. Стрімке зростання навантажує енергетичні мережі, підвищує роздрібні тарифи на електроенергію, збільшуючи загальні викиди вуглецю та місцеве забруднення повітря.

Важливість дискусії зростає, оскільки спостерігається інституціоналізація криптоактивів, таких як біткойни, що стає «мейнстрімом». Інституційні інвестори дедалі активніше беруть участь у ринках таких криптоактивів, а їхні ризики сприяють пов'язаним ризикам змін клімату. З огляду на те, що майнінг криптоактивів є енергоємним процесом і швидко зростає в обсягах, його потенційний внесок у глобальну зміну клімату є важливою темою для досліджень світовою науковою спільнотою.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Рівні CO<sub>2</sub> неухильно зростають, і хоча країни в усьому світі активно рухаються до цілей сталого розвитку, запропонованих під час Паризької угоди в 2015 році, ще далеко до досягнення сталого режиму глобальної роботи. Зростання популярності криптовалют після появи біткойнів у 2009 році супроводжувалося зростанням викидів парникових газів та високим споживанням електроенергії.

**Новизна.** Наукова новизна отриманих результатів полягає у виокремленні та групуванні даних та аналізі, подальшому розвитку теоретичних положень щодо розуміння негативних екологічних впливів технологій блокчейн та криптоактивів, що має важливе значення для оцінки наслідків, які потенційно суттєві та трансформаційні для суспільства, економіки та довкілля.

**Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується озна-**

**чена стаття.** Технологія Blockchain є відносно новою концепцією з високим потенціалом. Станом на сьогодні недостатньо розроблені теоретичні засади блокчейну. Зокрема, немає чіткого трактування його екологічних впливів, лише часткового висвітлені еволюційні напрямки його економічної сутності, становлення та розвитку, не повною мірою досліджені різноманітні механізми консенсусу, алгоритми роботи криптоактивів, не окреслені можливі ризики і переваги впровадження таких технологій тощо. Крім того, вчені здебільшого зосереджені розглядом зазначеної технології щодо фінансової та правової сфери, що значно звужує сегмент дослідження. Зважаючи на це, виникає потреба у проведенні додаткових, поглиблених досліджень щодо імплементації таких технологій, оцінки можливих впливів на навколишнє середовище та ризики зміни клімату у поєднанні з негативними зовнішніми ефектами, що поширюються.

**Викладення основного матеріалу.** Оскільки світ дедалі більше рухається в онлайн середовище, час паперових документів потроху спливає. Технології блокчейн зацікавили європейські державні установи. Наприклад, Європейська комісія вважає блокчейн «трансформатором на наступні десятиліття», і тому «прагне позиціонувати Європу в авангарді блокчейн-інновацій та поглинання» [1]. Європейська комісія нещодавно виступила співініціатором кількох ініціатив для підтримки розробки, моніторингу та стандартизації технологій блокчейн,



Рис. 1. Основні типи механізмів консенсусу

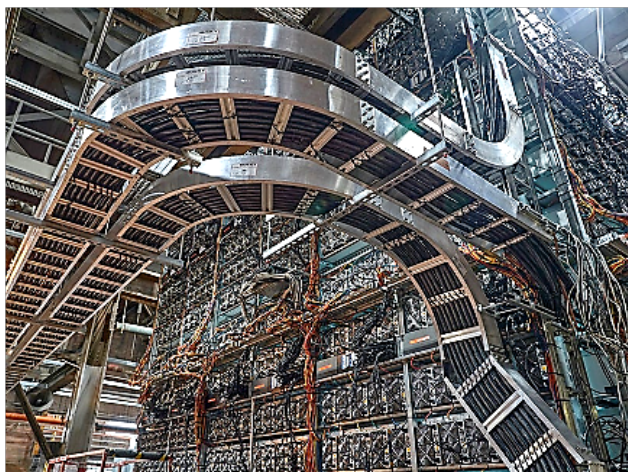


Рис. 2. Центр майнінгу криптовалюти біля озера Сенека, Нью-Йорк

а саме: Європейське партнерство блокчейнів [2] та Європейська обсерваторія та форум блокчейнів [3].

Технології блокчейну, включаючи криптоактиви, потребують електроенергії для всіх етапів роботи мережі. Мережі криптоактивів використовують електроенергію для виконання чотирьох основних функцій: зберігання даних, обчислення, охолодження та передачі даних. Масштаб і джерела електроенергії, що використовується обчислювальними пристроями, залежать від технології, яку криптомережа використовує для забезпечення безпеки та дійсності, або від її механізму консенсусу, які використовуються щоб визначити стан даних блокчейну та замінюють централізовані органи влади або сторону реєстраторів у централізованих системах. Зокрема, нові блоки додаються лише до ланцюга, якщо учасники мережі блокчейн досягли консенсусу щодо дійсності операції та їх послідовності.

Механізми консенсусу стимулюють і дозволяють учасникам блокчейн-мережі (вузлам) досягти спільної згоди, не дозволяючи учасникам діяти зловмисно або ставлячи власні інтереси вище інтересів мережі (рис. 1).

Ключовим компонентом протоколів блокчейну є механізм консенсусу. Proof-of-Work є найбільш наочним прикладом консенсусного алгоритму, який стимулює збільшення споживання електроенергії. Незважаючи на прогрес у альтернативних джерелах генерації криптовалюти, майнінг доказів роботи Proof-of-Work не демонструє жодних ознак уповільнення.

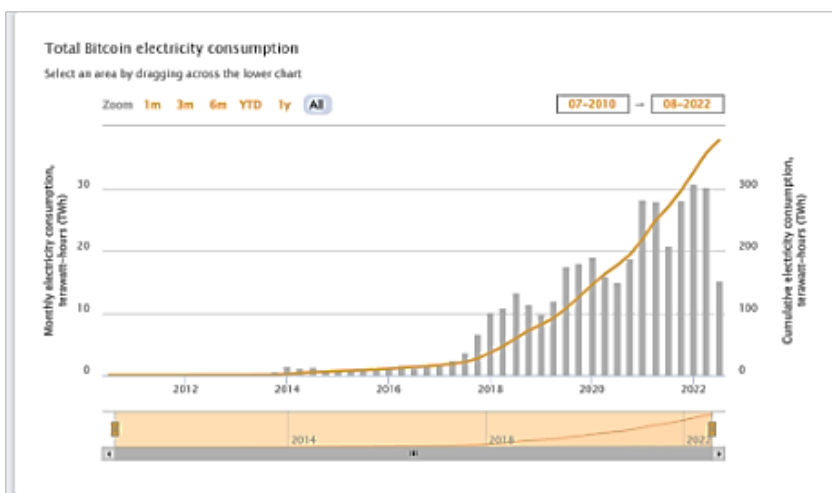


Рис. 3. Загальне споживання електроенергії Bitcoin  
Дані взято з Джерело: [4]

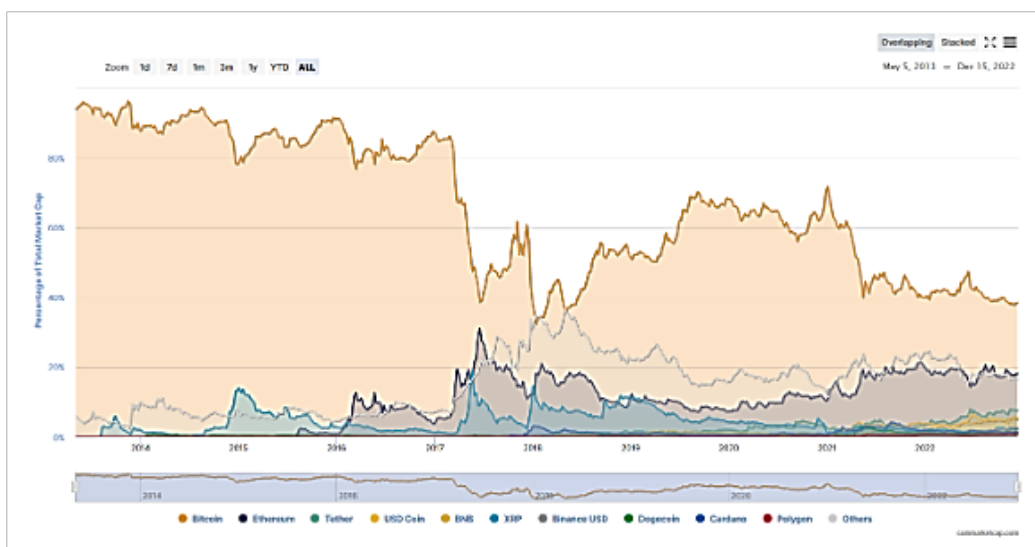


Рис. 4. Основні криптоактиви за відсотком загальної ринкової капіталізації  
Дані взято з Джерело: [5]



Процес майнінгу фактично тягне за собою мільйони обчислювальних машин, які змагаються, щоб вирішити складну задачу (рис. 2).

Наприклад, в алгоритмі біткойна комп'ютер або майнінг-машина, які успішно вирішують проблему, винагороджуються біткойнами (і функціонально перевіряють блокчейн). Поки винагорода достатньо висока (тобто ціна біткойна достатньо висока), майнери намагатимуться використовувати більше швидших машин для майнінгу, щоб підвищити свої шанси отримати таку винагороду. Оскільки більше машин для майнінгу вступають у змагання, складність обчислювальної задачі стає все більшою, а електроенергія, необхідна для перемоги, зростає (рис. 3).

Оскільки Bitcoin був першим криптоактивом, він залишився найбільшим за ринковою капіталізацією, тому він домінує на ринку (рис. 4).

Біткойн, найбільша у світі криптовалюта, наразі споживає приблизно 150 терават-годин електроенергії на рік [4] – більше, ніж уся країна Аргентина з населенням 45 млн. (рис. 5).

Зі зростанням ціни на біткойн зростає і споживання електроенергії (рис. 6)

У глобальному масштабі енергоспоживання біткойна має жахливі наслідки для зміни клімату та досягнення цілей Паризької угоди, оскільки воно перетворюється на приблизно 22–22,9 мільйона метричних тонн викидів CO<sub>2</sub> щороку, що еквівалентно викидам CO<sub>2</sub> від використання енергії від 2,6 до 2,7 мільярдів будинків протягом одного року.

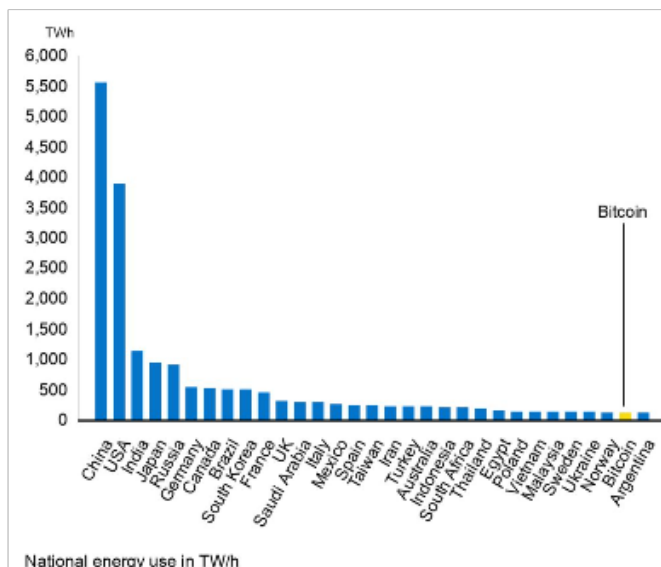


Рис. 5. Енергоспоживання біткойнів відносно різних країн  
Дані взято з Джерело: [4]

Вплив майнінгу біткойнів на зміну клімату є глобальним (рис. 7).

Майнінг і джерела викидів переважно централізовані в Китаї, а користувачі/власники переважно з розвинуеного світу.

Апаратне забезпечення теж накопичується. Технології блокчейн вимагають різних комбінацій обладнання: обчислювального, комунікаційного та для зберігання разом з іншими важливими компонентами (наприклад, блоки живлення, системи охолодження



Рис. 6. Індекс енергоспоживання біткойна

Графік побудовано автором на основі статистичних даних з джерел [4; 6]

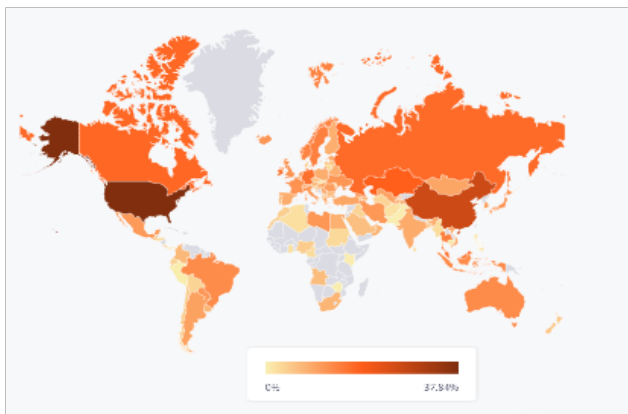


Рис. 7. Карта майнінгу Bitcoin

обчислювальних центрів), які необхідні для надання послуг системи блокчейн, що спричиняє високий оборот і нову електронну проблему відходів. Електронні відходи становлять зростаючу загрозу для довкілля, починаючи від токсичних хімікатів і важких металів, що вимиваються в ґрунт, закінчуючи забрудненням повітря та води, спричиненим неправильною переробкою. Вони є небезпечними та здебільшого утилізуються в країнах, що розвиваються.

Приблизно кожні півтора року обчислювальна потужність обладнання для майнінгу подвоюється, що робить старіші машини застарілими. За оцінками науковців, мережа біткойн генерує 11,5 кілотонн електронних відходів щороку, що посилює і без того величезну проблему електронних відходів. На початку 2021 року лише біткойн генерував більше електронних відходів, ніж багато країн середнього розміру, як, наприклад, Нідерланди [7].

Без стандартів та забезпечення належної утилізації електронні відходи можуть спричинити забруднення повітря та води, піддавати працівників впливу токсичних речовин, і завдати шкоди здоров'ю населення. Свинець і ртуть є найпоширенішими токсичними елементами в електронних відходах.

Електроенергія, вироблена електростанціями для майнінгу криптоактивів і для всіх видів використання електроенергії, може завдати шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людини через забруднення повітря від спалювання викопного палива, забору води та забруднення термальної води

від охолоджувальних електростанцій, інших забруднень води, твердих відходів.

Майнінгові комп'ютери з повітряним охолодженням містять високошвидкісні вентилятори, які можуть створювати шумове забруднення.

**Висновки.** Технології блокчейну, включаючи криптоактиви, потребують електроенергії для виробництва, володіння та обміну. Ключовим компонентом протоколів блокчейну є механізм консенсусу.

Прагнучи пом'якшити вплив енергоспоживання криптоактивів, багато творців та гравців індустрії шукають альтернативи та постійно вдосконалюють галузь. Хоча в даний час існують більш ефективні алгоритми, які використовуються в різних криптовалютних проектах, їхній вплив на навколишнє середовище у більшому масштабі, коли є набагато більш широке впровадження, не досліджувався.

Враховуючи глобальний характер цифрових активів, їх вплив на навколишнє середовище не можна знизити без зусиль, що застосовуються лише на національному рівні в деяких країнах. Потрібен певний рівень транскордонної координації. За відсутності такої транскордонної координації виникають негативні зовнішні ефекти переносяться з однієї географії в іншу.

Майнінг криптовалют, таких як біткойн, тягне за собою величезний вуглецевий слід і суперечить будь-яким екологічним цілям. На тлі зростання цін на енергоносії та дефіциту, вимога використання дефіцитної електроенергії для реальної економіки, а не для видобутку біткойнів, є виправданою. Однак, оскільки криптовалюта пропонує загальноновизнані переваги, а також соціальні переваги, можна з упевненістю припустити, що біткойн залишиться.

Керуючись такою гіпотезою, варто дослідити, як майнінг біткойнів може сприяти переходу до більш стійкої економічної моделі у майбутньому, а також які дії з іншими криптоактивами можуть дати позитивні екологічні результати. Потрібні більш надійні дані щодо поточного та майбутнього споживання енергії блокчейном, що також вимагає більш суворих методологій та альтернативних сценаріїв. Для розробки нових підходів оптимального використання ресурсів необхідний ретельний моніторинг, подальші наукові дослідження галузі та оцінка стійкості на глобальному, європейському та місцевому рівнях.

### Література

1. ЄК, 2019a ЄС, 2019a, Blockchain technologies. URL: (<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blockchain-technologies>) (дата звернення: січень 2023).
2. ЄК, 2019b ЄС, 2019b, European countries join Blockchain Partnership. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-countries-join-blockchain-partnership> (дата звернення: січень 2023)..
3. ЄК, 2018 ЄС, 2018, European Commission launches the EU Blockchain Observatory and Forum. URL: [http://europa.eu/rapid-press-release\\_IP-18-521\\_en.htm](http://europa.eu/rapid-press-release_IP-18-521_en.htm) (дата звернення: січень 2023).
4. Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI). URL: <https://ccaf.io/cbeci/index> (дата звернення: січень 2023).
5. Global Cryptocurrency Charts. URL <https://coinmarketcap.com/charts/> (дата звернення: січень 2023).
6. Crypto data transparent and accessible. URL: <https://coinmetrics.io/> (дата звернення: січень 2023).
7. Alex de Vries, Christian Stoll, Bitcoin's growing e-waste problem, Resources, Conservation and Recycling, Volume 175, 2021, 105901, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>

## ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОЛІПШЕННЯ ЯДЕРНО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Кордуба І.Б.<sup>1</sup>, Патлашенко Ж.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури

<sup>1</sup>Повітрофлотський пр., 31, 03680, м. Київ

<sup>2</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

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

uaror-korduba@ukr.net, deazh@ukr.net

Розглянута найактуальніша проблема існуючої та майбутньої ядерної енергетики щодо забезпечення ядерно-екологічної безпеки роботи ядерних енергетичних реакторних блоків (ЯЕРБ) та атомних електростанцій (АЕС). На сьогодні вона розв'язується завдяки застосуванню глибоко ешелюваного захисту та протиаварійного комплексу методів та засобів для ефективного контролю роботи активних зон реакторів (АЗР), а також реагування на відхилення їх робочих характеристик від проектних параметрів. Проте небезпека існуючих у світі ЯЕРБ час від часу проявляється у формі важких запроектованих аварій і катастроф з викиданням у навколишнє середовище значної кількості небезпечних для всього живого радіоактивних матеріалів. Сучасні покоління ЯЕРБ були створені та на сьогодні оновлюються у зв'язку з масовим виведенням з експлуатації старих ЯЕРБ, пов'язаним із закінчення їхнього проектного експлуатаційного ресурсу в основному на базі реакторів типу водо-водяного енергетичного реактора (ВВЕР), кількість яких у світовому ядерному енергетичному парку становить близько 80%. Побудова нових ЯЕРБ та АЕС на базі застарілих реакторних технологій гальмується потужним супротивом світової громадськості. А традиційні економічні підходи та фінансові схеми зведення та використання нових ЯЕРБ та АЕС на сьогодні втратили свою привабливість і тому нові будівництва об'єктів ядерної енергетики перетворюються на дуже дорогі довгобуду. Така ситуація викликає сумніви щодо доцільності інвестицій в сучасну ядерну енергетику, особливо на фоні зростання загального скептицизму в Європі щодо подальшого розвитку гірничої видобувної галузі. Сформульовані головні основоположні науково-технічні та інженерно-фізичні принципи ядерних енергетичних технологій п'ятого покоління G5 (Generation 5) з максимальним еталонним рівнем ядерно-екологічної безпеки для майбутнього розвитку ядерної енергетики в Україні та світі. Технологія ядерних реакторів покоління G5 шляхом вторинного використання відпрацьованого опроміненого ядерного палива (ВОЯП) для виробництва енергії та енергетичної сировини з одночасним його випалюванням до екологічно безпечного стану, здатна досить швидко скоротити наявні запаси та подальше виробництво небезпечного ВОЯП, гарантувати ядерно-екологічну безпеку ЯЕРБ з реакторами G5 та технологічним чином унеможливити ядерні запроектовані аварії та катастрофи на рівні фізичного закону з повним усуненням людського фактору. *Ключові слова:* ядерно-екологічна безпека, ядерний енергетичний реакторний блок, ядерний паливний цикл, ядерні технології п'ятого покоління.

**Prospects of technological enhancement nuclear environmental safety and efficiency of nuclear energy. Korduba I., Patlashenko Zh.**

The mosturgent problem of the existing and future nuclear power industry is to ensure nuclear and environmental safety of the operation of nuclear power reactor units (NPRUs) and nuclear power plants (NPPs). Today, this problem is solved by applying deeply echeloned protection and an antiaccident complex of methods and means for effective control of the operation of active reactor zones (AZR) and responding to deviations of their operating characteristics from the design parameters. However, the danger of existing NPRUs sin the world periodic allyman if ests itself in the form of severe beyond-design accidents and catastrophes with the release into the environment of a large amount of radioactive materials dangerous fo alliving things. The main fundamental scientific-technical and engineering-physical principles of nuclear energy technologies of the fifth generation G5 (Generation 5) with the maximum reference level of nuclear-environmental safety for the future development of nuclear energy of Ukraine and the world are formulated in the work. The technology of nuclear reactors of the G5 generation through the secondary use of spent irradiated nuclear fuel (SNF) for the production of energy and energy raw materials, with its simultaneous burning to an environmentally safe state, is able to quickly reduce the available stocks and further production of dangerous SNF, guarantee the nuclear and environmental safety of NPRUs with reactors G5 and to technologically make nuclear beyond design accidents and disasters impossible at the level of physical law with the complete exclusion of the human factor. *Key words:* nuclear-environmental safety, nuclea rpower reactor unit, nuclear fuel cycle, nuclear technologies of the fifth generation.

**Мета роботи.** Сформулювати головні основоположні принципи максимальної ядерно-екологічної безпеки для реакторних енергетичних технологій п'ятого покоління G5 (Geration 5).

**Постановка проблеми.** Збитки, завдані всіма екологічними аваріями та катастрофами на АЕС світу за всю історію їхньої роботи, становлять понад одного трильйона доларів. Це додає до вар-

тості кожного побудованого реактора в середньому приблизно ще два мільярди доларів. При цьому ліквідація наслідків ядерних катастроф розтягується на тисячі і сотні тисяч років. Тому на сьогодні, з урахуванням екологічних, економічних, соціальних, демографічних, медичних, радіоекологічних, політичних та інших факторів, що визначають перспективу розвитку всього комплексу підприємств

ядерного паливного циклу (ЯПЦ), сформувалася світова думка, згідно з якою вирішальним критерієм для оновлення світової ядерної енергетики має бути екологічний фактор.

В якості такого критерію можна взяти поняття максимальної еталонної безпеки з її кількісним показником, що визначається величинами відношення концентрацій будь-яких техногенних радіонуклідів та інших екологічно шкідливих субстанцій до їх гранично допустимих концентрацій, накопичуваних на промислових майданчиках АЕС та в геосферних середовищах навколо АЕС і на будь-яких відстанях від них.

**Актуальність дослідження.** Сучасні покоління ЯЕРБ були створені та оновлюються (у зв'язку з масовим виведенням з експлуатації старих ЯЕРБ зважаючи на закінчення їхнього проєктного експлуатаційного ресурсу) в основному на базі реакторів типу ВВЕР, кількість яких у світовому ядерному енергетичному парку становить близько 80% [1].

Коефіцієнт корисної дії (ККД) діючих АЕС з реакторами ВВЕР не перевищує 30-40%, а решта виробленої теплової енергії витратним чином викидається у довкілля. В той же час у світі є значний дефіцит комунального та високотемпературного промислового тепла. Низькою є також і ефективність спалювання ядерного палива [2] не зважаючи на те, що світових запасів урану-235, з огляду на сучасні темпи його споживання, вистачить лише на кілька наступних десятиліть.

За останні 10 років поточні обсяги видобування та перероблення уранової сировини достатні для забезпечення потреб в ядерному паливі у короткостроковій перспективі. Падіння світових цін на уран істотно вплинуло на його світовий видобуток у 2017–2018 роках. Але в довгостроковій перспективі у разі зростання попиту на уран обов'язково виникне потреба у значних інвестиціях для удосконалення технологій його видобування та додаткової розробки законсервованих родовищ.

Внаслідок нейтронного опромінення ядерного палива в АЗР у процесі паливної компанії утворюються високоактивні екологічно небезпечні радіоактивні відходи (РАВ) у формі відпрацьованого опроміненого ядерного палива (ВОЯП). Проблемні питання його безпечної утилізації та переробки на сьогодні залишаються не вирішеними і тому безпечно поводження з таким ВОЯП вимагає складної науково-технічної та промислової інфраструктури [3; 4].

За оцінками МАГАТЕ, за увесь час існування ядерної енергетики, в 14 країнах світу було вироблено приблизно 370000 тонн високорадіоактивного і високотоксичного ВОЯП, яке тривалий час зберігається на АЕС в басейнах витримки для його охолодження та радіоекологічної витримки. З них перероблено 120000 тонн. Щорічно світові запаси ВОЯП збільшуються на 10–20 тис. тонн, а переробляється лише 20–30% цієї кількості.

Так, під час радіохімічної переробки 1 тони ВОЯП з метою вилучення з нього урану та плутонію, утворюється 7500 тонн нових твердих і 1000–2200 тонн рідких, не менш небезпечних за ВОЯП, радіоактивних відходів, що потребують подальшого зберігання і утилізації.

Щоб переробити решту 250000 тон накопиченого ВОЯП знадобиться залучити в радіаційне виробництво і злити потім в навколишнє середовище більше 400 мільйонів тонн забрудненої радіонуклідами води та вивантажити з виробництва приблизно 250 мільйонів тонн твердих небезпечних РАВ.

Побудова нових ЯЕРБ та АЕС на базі старих реакторних технологій гальмується потужним супротивом світової громадськості. А традиційні економічні підходи та фінансові схеми побудови нових ЯЕРБ та АЕС на сьогодні втратили свою привабливість і тому нові будівництва об'єктів ядерної енергетики перетворюються на дуже дорогі довгобуду. Така ситуація викликає сумніви щодо доцільності інвестицій в сучасну ядерну енергетику, особливо на фоні зростання загального скептицизму в Європі щодо подальшого розвитку гірничої видобувної галузі. Тому викладений в роботі підхід щодо створення еталонно безпечної ядерної енергетики є на сьогодні надзвичайно актуальною проблемою.

**Викладення основного матеріалу дослідження та обґрунтування отриманих результатів.** Для оновлення та розвитку ядерної енергетики України та світу на фоні четвертого енергетичного переходу на відновлювальні джерела енергії має їх потенціал для значного зниження викидів вуглецю у навколишнє середовище. Надзвичайно важливими є дослідження ядерно-екологічної безпеки реакторів типу ВВЕР і в першу чергу їх поколінь III та III+ і в тому числі інноваційних реакторів AP-1000 та малих модульних реакторів ММР типу МР-160 [1]. Саме на базі таких реакторів планується розвиток ядерної енергетики України. Тому необхідні подальші дослідження з метою науково-технічного обґрунтування сучасних пріоритетних завдань з підвищення безпеки АЕС з ЯЕРБ на базі реакторів типу ВВЕР і, зокрема, інноваційних реакторів AP-1000 та МР-160, а також розробка концептуальних основ для створення реакторів наступного покоління G5 [5], в основу яких повинні бути покладені принципи максимальної еталонної ядерно-екологічної безпеки.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** У загальному детальний технологічний та екологічний аналіз реакторів типу ВВЕР, зважаючи на особливості їх експлуатації в умовах війни та терористичних загроз, засвідчує певні недоліки, що прямим чином можуть впливати на їхню ядерно-екологічну безпеку і які не можна усунути шляхом модернізації їх захисних та протиаварійних систем.

Внаслідок важкої запроектованої аварії на реакторах типу ВВЕР може відбутися викидання радіоактивних матеріалів, в кількості еквівалентній кільком Чорнобильським аваріям. При цьому всі відомі ядерні катастрофи на енергетичних реакторах підтверджують особливу небезпеку людського фактору [6] та нерозуміння фізичної суті таких катастроф [7].

Модернізація діючих у світі ядерних реакторів передбачає і реалізує задачі збільшення тиску в реакторі, підвищення робочої температури і збільшення відсотка вигорання палива. Наслідком такої модернізації та роботи ядерних реакторів в продовженому, надпроектному режимі їх експлуатації є додаткове прискорене старіння металу і подальше зниження надійності і безпеки АЕС. Але промислові стандарти ядерних підприємств не завжди це враховують.

Всі діючі у світі реактори не мають спеціально створених надійних методів та засобів захисту від терористичних та воєнних атак.

Існує також небезпека зовнішніх впливів екстремальних непереборних природних явищ – землетрусів і смерчів [8], змін глобального клімату [9; 13], затоплень [10], падіння астероїдів та інших геокосмічних явищ [14].

**Викладення основного матеріалу.** Сучасні процеси і технології ядерного паливного циклу як і в перспективі мінімум на 2–3 десятиліття технологічно незахищені щодо гарантованого виключення можливого неконтрольованого поширення ядерних матеріалів [11].

На сьогодні в жодній країні світу не існує екологічно прийнятної технології поводження з ВОЯП. В результаті радіохімічної переробки 1 тонни ВЯП, у перерахунку на уран, утворюється 7500 тонн твердих та 2200 тонн рідких радіоактивних відходів (РАВ), які також потребують подальшої утилізації та поховання.

Економічно це невиправдано і будувати такий переробний комплекс у країні з невеликою територією є вкрай небезпечним. Тому все більше країн схиляються до відмови від переробки ВОЯП та починають розглядати його як особливий вид РАВ.

Існує думка про те, що одним із найбільш безпечних варіантів тривалої ізоляції високоактивних відходів від навколишнього середовища та людини можуть бути глибокі геологічні сховища. Однак така думка не має достатнього екологічного обґрунтування, що має враховувати нові знання в галузі астрогеофізики про динаміку та природу енергетичної активності глибоких надр Землі. При цьому будівництво одного такого сховища, аналогічного «Юкка Моунтін» буде коштувати десятки мільярдів доларів США і триватиме кілька десятиліть. Отже, питання щодо створення нових технологій для абсолютної екологічно безпечної нейтралізації та остаточної утилізації ВОЯП залишиться невіршеним на досить тривалий період.

Глибоке поховання ВЯП має здійснюватися на горизонтах до 500 метрів. Проте і на таких глибинах може виникнути фізична ядерна небезпека нових екологічних аварій із непередбачуваними та неконтрольованими екологічними наслідками.

У продуктах розпаду немає матеріалів, що діляться, і їх поховання цілком в нормальних умовах вважається безпечним з точки зору критично масової небезпеки. Але у якийсь геологічний період можуть виникнути тектонічні процеси, здатні спресувати ВТВЗ, а в ВОЯП завжди існує певне нейтронне поле і тому згодом частина U-238 перетвориться в Pu-239 і тектонічне пресування такої маси до її критичного стану може стати небезпечним.

У списку реакторних технологій G4 – 5 проєктів, заснованих на реалізації замкнутого ядерного паливного циклу (ЗЯПЦ) і один проєкт високотемпературного реактора з газовим теплоносієм має організацію відкритого ядерного паливного циклу (ВЯПЦ).

У пост фукусімський період стало очевидним, що стратегія ЗЯПЦ на базі швидких реакторів GIV не призведе до абсолютно безпечної ядерної енергетики. Крім того на сьогодні програма GIV не вкладається до бюджету та у терміни її виконання. Тому, щоб уникнути незліченних ризиків ЗЯПЦ, фахівці наполегливо рекомендують ядерним державам продовжувати відкритий ЯПЦ.

Промислове впровадження замкнутих ядерних паливних циклів GIV вимагає скасування політики нерозповсюдження для країн, що експлуатують, а також істотної зміни існуючих програм і стратегій більшості ядерних країн. При цьому будь-яке промислове використання реакторів GIV на базі ЗЯПЦ вимагає величезних капіталовкладень у старі небезпечні технології для переробних заводів.

У висновку провідних фахівців Масачусетського технологічного інституту щодо технологій G-IV отримано висновок про те, що концепції цих технологій, їх розробники ще не представили переконливих матеріалів щодо реальності декларованих переваг ЗЯПЦ з переробкою ВОЯП та акцентують увагу на зростанні ризиків поширення [12]. Ці дослідження також засвідчили, що для ЗЯПЦ GIV вартість витрат на зберігання та поховання ВЯП у 4,5 рази більша, ніж для паливного циклу з одноразовим незамкненим використанням палива. Тому нереально те, що швидкі технології GIV із ЗЯПЦ одночасно розв'яжуть проблеми високої вартості, безпечної захоронення відходів та розповсюдження.

**Наукова новизна полягає в тому,** що в основу концепції нової ядерної енергетики та ядерних енергетичних реакторних технологій покоління G-5 [5] з максимальним еталонним рівнем їхньої ядерно-екологічної безпеки для майбутнього розвитку ядерної енергетики України та світу мають бути покладені фізичні закони, що дозволять реалізувати наступні головні основоположні науково-технічні та інженерно-фізичні принципи:

- використовувати в якості ядерного палива технічний та незбагачений природний уран, а також ВОЯП, що накопичилося в результаті роботи реакторів попередніх поколінь для отримання електроенергії та високотемпературного промислового тепла з метою заміни вуглеводневого палива, промислового виробництва екологічно безпечних енергоресурсів та енергосировини – водню, синтетичного моторного палива та мастила, прісної води, добрив та інших матеріалів;

- увесь ЯПЦ організовується безпосередньо в активній зоні реактора G5 з повним саморегулюванням процесів горіння усіх перерахованих вище видів ядерного палива для технологічного та інженерно-фізичного унеможливлення важких запроектованих аварій з руйнуванням активної зони реактора [14] і радіоекологічних катастроф, а також для розв'язання проблеми нерозповсюдження ядерних технологій та матеріалів подвійного застосування;

- на відміну від реакторних енергетичних технологій попередніх поколінь, активні зони реакторів покоління G-5 [12] не повинні мати понадкритичне завантаження ядерним паливом;

- фізичним законом унеможливити запроектовані аварії з їх катастрофічними ядерно-екологічними наслідками в результаті воєнних та терористичних атак;

- поза конкурентна висока економічність проектування, будівництва та експлуатації ЯЕРБ;

- внутрішньо реакторна ядерно-екологічна безпека та поглиблення її технологічних основ для біологічної сумісності та соціальної прийнятності технологій на всіх ланках нового ЯПЦ;

- повна відсутність людського фактору, зниження капітальних, експлуатаційних та після експлуатаційних витрат шляхом застосування серійних матеріалів та обладнання з мінімальною номенклатурою, оптимізація поведінки з РАВ та ОЯП, усунення ремонтних робіт та частих перезавантажень ядерного палива, мінімізація чисельності персоналу, оптимізація витрат на НДЕКР;

- гарантовану найвищу ядерно-екологічну безпеку, яка включає: повну радіоекологічну безпеку в будь якій нештатній ситуації роботи; нехтувано мале радіоактивне забруднення реакторного залу; радіаційне опромінення персоналу і зовнішнього навколишнього середовища.

Перспективи **використання результатів дослідження**. В подальших дослідженнях особливу увагу

слід зосередити на перспективах розвитку світової ядерної енергетики та забезпечення її ядерно-екологічною безпекою в умовах четвертого глобального енергетичного переходу та здійснити перехід на нові безпечні ядерно енергетичні технології покоління G5. Такі технології, завдяки своїм інженерно-фізичним та технічним особливостям, повинні істотно і позитивно вплинути на функціонування й розвиток національних та глобальних систем енергетичної безпеки. Крім цього досягнути головної цілі нинішнього глобального енергетичного переходу – нульового впливу на глобальне здоров'я цивілізації та на глобальну кліматичну безпеку.

**Головні висновки.** Всі реактори поколінь II, III, III+ та IV, що знаходяться на сьогодні в експлуатації, мають потенціал катастрофічних аварій, виробництва небезпечного відпрацьованого опроміненого ядерного палива (ВОЯП), можливість неконтрольованого поширення ядерних матеріалів, відсутність екологічно прийнятної технології переробки ВЯП при недостатності обґрунтувань екологічної безпеки будь-яких видів тривалого зберігання ВОЯП, у тому числі його глибоке поховання в геологічних породах. Вищевикладене стосується також і реакторів покоління IV, що розробляються вже понад 20 років.

Нові безпечні ядерні енергетичні технології покоління G5 допоможуть зняти питання дефіциту уранового палива на сотні років, що в свою чергу практично необмежено розширить сировинні ресурси для виробництва дешевої електричної енергії та високотемпературного тепла. В свою чергу, це дозволяє виключити з ядерного паливного циклу дуже складний процес збагачення природного урану і разом з тим вирішити проблему накопичення екологічно небезпечного радіоактивного ВОЯП та відходів утворених в процесі його переробки.

Технологія G5 шляхом вторинного використання ВЯП для виробництва енергії та енергетичної сировини, з одночасним його випалюванням до екологічно безпечного стану, здатна швидко скоротити наявні запаси та подальше виробництво небезпечного ВОЯП, гарантувати ядерно-екологічну безпеку ЯЕРБ з реакторами G5 та технологічним чином унеможливити ядерні запроектовані аварії і катастрофи на рівні фізичного закону з повним уникненням людського фактору.

### Література

1. В.М. Ващенко, І.Б. Кордуба, О.Г. Жукова. Технологічні та експлуатаційні особливості реакторів AP-1000 покоління III+ та малих модульних реакторів MR-160. *Екологічна безпека та природокористування*. 2021. № 4(40). С. 149–156.
2. С.В. Широков, В.В. Засц. Глибина вигорання ядерного палива ВВЕР з різними вигораючими поглиначами. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2011. № 4(52). С. 29-32. [https://doi.org/10.32918/nrs.2011.4\(52\).04](https://doi.org/10.32918/nrs.2011.4(52).04)
3. Федоренко О.О., Микитенко Л.З. Проблематика утилізації радіоактивних відходів в Україні. Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології : зб. матеріалів Нац. форуму (4–5.11.2014 р., Київ). Київ, 2014. С. 125–127.
4. V. Vashchenko, V. Skalozubov, O. Voloshkina, I.Korduba, I. Dudarev, H. Hayo, O. Zhukova, V. Hryb. Stipulating the radioecological impact of consequences of accidents at nuclear power facilities. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. №11(10). С. 24–27.
5. Rusov V.D. Tarasov V.F. Vashchenko V.M. Treveling vave nuclear reactor. *Science Technology Sustainable Development*. Kiev. 2013. 130 с.

6. П. Дряпаченко. Об'єктивізація концепції «довічного» супроводу зони відчуження, наявність та необхідність подолання людського фактору в супроводі ядерних підприємств та установок. *Проблеми безпеки атомних станцій та проблем Чорнобиля*. Вип. 3 Ч. 1. 2005. С. 102-110.
7. Б.С. Пристер, А.А. Ключников, В.М. Шестопалов, В.П. Кухарь. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля : монография. Чернобыль. 2013. 200 с.
8. Ващенко, В.М., Кордуба, І.Б., Лоза, Є.А., Патлашенко, Ж.І., Банніков, О.О., Кризька, Ю.М. Статистика смерчів на території України на основі нових даних. 2018. *Геофізичний журнал*. Vol. 40. № 3. С. 199–213.
9. В.Д. Русов, А.В. Глушков, В.Н. Ващенко. Астрофизическая модель глобального климата Земли. 2003. Київ. 214 с.
10. В. И. Скалозубов, В. Н. Ващенко, И. Л. Козлов, Т. В. Габлая, Т.В. Герасименко. Гидродинамическая модель затопления промплощадки АЭС Fukushima-Daiichi. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2014. № 2(62). С. 13–16.
11. Кондратов С.І. Тенденції та актуальні проблеми у сфері протидії незаконному обігу ядерних та інших радіоактивних матеріалів, також ядерному та радіаційному тероризму. Аналітична доповідь. Київ. 2012. 27 с.
12. Бэкфорд. Э. Будущее атомной энергетики // Междисциплинарное исследование Массачусетского технологического института. URL: <http://www.seu.ru/programs/atomsafe/books/FAE1.pdf>.
13. Vitaliy D. Rusov, Victor A. Tarasov, Volodymyr N., Vashchenko, Sergei A. Chernenko, Andrei A. Kakaev, Oksana I. Pantak. Fast traveling-wave reactor of the channel type. *Interdisciplinary Studies of Complex Systems*. 2016. No. 9. P. 36–57.
14. Ю.Д. Медведев, Ю.С. Бондаренко, Д.Е. Вавілов, В.А. Шор. Проблеми дослідження астероїдно-кометної небезпеки. *Кінематика і фізика небесних тіл*. 2016. Т. 32. № 5. С. 18–24.

## MECHANICAL SELF-CLEANING DUST COLLECTOR

Kuznietsov S., Venher O., Semenchenko O., Bezpachenko V., Ivkina E.

Kherson National Technical University  
Instytutska St., 11, 29016, Khmelnytsky, Ukraine  
ksiekol@gmail.com, super-elenavenger@ukr.net,  
Oksana.Semenchenko@gmail.com,  
bezpachenkov@ukr.net, liza\_ivkina@ukr.net

Long-term stay of a person in a dusty environment causes occupational lung diseases. The level of dustiness of industrial premises affects the health of people, labor productivity and product quality. Therefore, cleaning the air from dust in enterprises is a paramount and important task. In production workshops, the dust content of the air often exceeds the maximum permissible concentrations. The paper presents the results of research on the purification of ventilation air from dust using a self-cleaning mechanical filter. We have proposed and tested a mechanical dust collector with a self-cleaning filter. Compared to analogues, it better captures fine (aerosol) dust from the air with the help of a filter element, which is made in the form of a rotating disk. During operation of the dust collector, dusty air passes through the device and dust particles are retained on the filter surface. They form a filter layer, the thickness of which increases with time. At the same time, the aerodynamic resistance of the filter increases and its performance decreases. The optimum cleaning effect is achieved with a certain constant thickness of the dust layer on the filter disc. To adjust the thickness of this layer, a special knife is provided in the dust collector. Various parameters of the dust collector operation were studied. Such as the filter regeneration time, the absolute and specific amount of dust collected, the effect of the dust collector operation time on the thickness of the filter layer, the effect of the filter layer thickness on the filter resistance, the effect of the aerodynamic resistance of the filter on its performance. The proposed self-cleaning design of the filter contributes to the creation of a stable aerodynamic mode of operation of the air purification system. It allows you to reduce the dust content of the production area by 9-10 times, with a degree of air purification of 90%. In addition, the filter allows you to capture fine dust, which poses the greatest danger to human health. *Key words:* dust collector, air purification from dust, self-cleaning mechanical filter.

**Механічний пиловловлювач з фільтром, що самоочищується. Кузнєцов С.І., Венгер О.О., Семенченко О.О., Безпальченко В.М., Івкіна Є.С.**

Довгочасне перебування людини в запиленому середовищі викликає професійні захворювання легень. Від рівня запиленості виробничих приміщень залежить здоров'я людей, продуктивність праці, якість продукції. Тому очищення повітря від пилу на підприємствах є першорядним та важливим завданням. У виробничих цехах запиленість повітря часто перевищує гранично допустимі концентрації. В роботі викладені результати досліджень по очищенню вентиляційного повітря від пилу за допомогою механічного фільтра що самоочищується. Нами запропоновано та випробувано механічний пиловловлювач з фільтром, що самоочищується. В порівнянні з аналогами він краще вловлює дрібний (аерозольний) пил з повітря за допомогою фільтруючого елементу, який зроблений у вигляді обертового диска. При роботі пиловловлювача запилене повітря проходить через апарат і частинки пилу затримуються на поверхні фільтра. Вони утворюють шар, що фільтрує, товщина якого з часом збільшується. Разом з цим зростає аеродинамічний опір фільтра та його продуктивність знижується. Оптимальний ефект очищення досягається при певній постійній товщині шару волокнистого пилу на фільтрувальному диску. Для регулювання товщини цього шару, в пиловловлювачі передбачений спеціальний ніж. Досліджувалися різні параметри роботи пиловловлювача. Такі як час регенерації фільтра, абсолютна і питома кількість пилу, що уловлюється, вплив часу роботи пиловловлювача на товщину фільтруючого шару, вплив товщини фільтруючого шару на опір фільтра, вплив аеродинамічного опору фільтра на його продуктивність. Запропонована конструкція фільтра, що самоочищується, сприяє створенню стабільного аеродинамічного режиму роботи системи очищення повітря. Вона дозволяє знизити запиленість виробничого приміщення в 9–10 разів, за ступенем очищення повітря 90%. Крім того, фільтр дозволяє вловлювати тонкодисперсний пил, який становить найбільшу небезпеку для здоров'я людини. *Ключові слова:* пиловловлювач, очищення повітря від пилу, фільтр що самоочищується.

**Formulation of the problem.** It is known that a long stay of a person in a dusty environment causes occupational lung diseases. The level of dustiness of industrial premises depends on the productivity of labor, the quality of products and, most importantly, the health of people. Therefore, cleaning the air from dust at enterprises is a paramount and important task [1; 2].

**Analysis of recent research and publications.** At present, various dust collection systems from the air are used in production plants. One such system is the pneumatic extraction of dust, its transportation through pipelines with subsequent separation from the air [3; 4].

Such systems do not always work effectively. Therefore, the concentration of dust in the working area of production facilities often exceeds the maximum permissible standards.

**Formulation of research objectives.** The purpose of the research was to develop and test a mechanical self-cleaning filter to capture fine dust from the air. The scope of the assignment included;

- manufacture of a prototype mechanical self-cleaning filter.
- testing a mechanical self-cleaning filter when cleaning the ventilation air in the production room.



- testing a mechanical self-cleaning filter when cleaning the air from the equipment.

**Statement of the main material.** Studies on the purification of ventilation air from dust were carried out in an installation, a general view of which is shown in Fig. 1. The installation consists of a fan 2 operating from an electric motor 1. A filter 3 made of organic glass is mounted on the suction socket of the fan. The filter has the shape of a circular disc and is perforated with holes of 5 mm. On the outside of the filter is a nylon mesh. A knife 4 fixedly attached to the shaft 6 is closely adjacent to the fixed filter. The blade is closely attached to the filter surface by a spring 5. The shaft passes through the sleeve 7 and is rotated by the electric motor 9 through the reduction gear 8. The knife shaft and the fixed filter are located in the hopper 10, intended for dust collection.

When the unit is operating, dusty air enters through the open top of the hopper 10, passes through the filter 3, and then is vented to the atmosphere by means of a fan. Dust particles are retained on the surface of the filter, forming a filter layer. As the dusty air passes through the filter, the thickness of the filter layer increases, its

aerodynamic resistance increases, and productivity decreases. There comes such a moment when the resistance of the filter increases so much that the movement of air practically ceases. The layer of textile dust formed on the filter surface plays a dual role. On the one hand, it is a filtering element, which increases the degree of gas purification, on the other – increases the resistance of the filter and reduces the performance of the fan. Therefore, the optimal option would be a constant presence on the disk of a layer of fibrous dust of a certain thickness.

The procedure for carrying out the experiments consisted in the fact that dusty air was passed through the filter for a certain time [5]. The trapped layer of dust was removed from the filter element and weighed on an analytical balance. Knowing the amount of dust and the concentration of dust in it, as well as the amount of dust removed from the filter element, determined the efficiency of the apparatus (weight method).

The filter regeneration time in the experiments varied from 0 to 8 hours. Initially, the filter underwent continuous regeneration with a constantly rotating knife. After that the knife for dust removal was switched on after

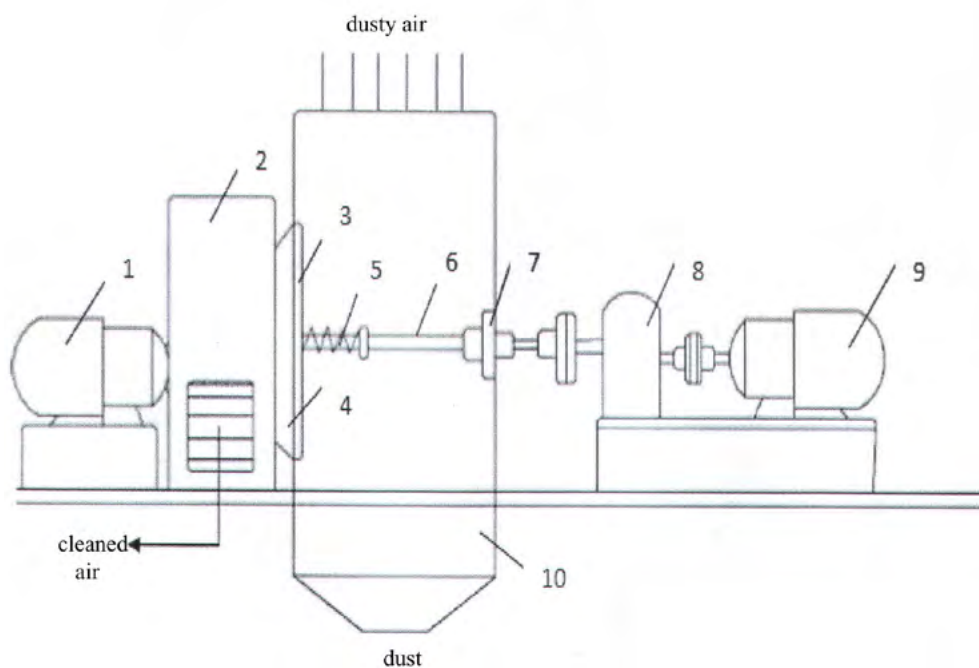


Fig. 1. General view of the experimental setup: 1 – electric motor; 2 – the fan; 3 – the filter; 4 – the knife; 5 – a spring; 6 – shaft; 7 – the bushing; 8 – reducer; 9 – the electric motor; 10 – hopper for dust collection

Table 1

**Absolute and specific amount of dust captured on the unit**

№	Indicators	Filter regeneration time, h								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	The amount of dust trapped by the installation during the test, mg	5100	7500	7000	6400	6000	5580	5600	5450	5300
2	Average amount of captured dust, per 1h, mg	630	937	875	800	750	725	700	681	662

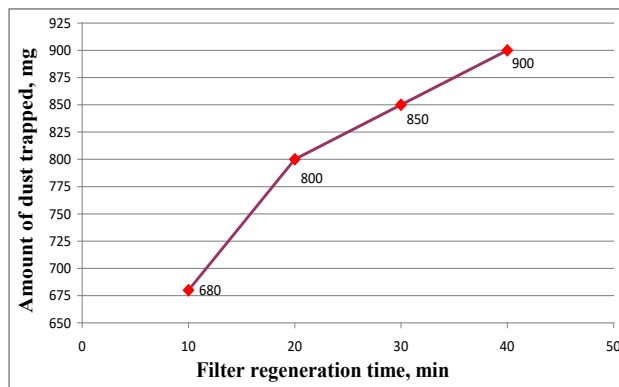
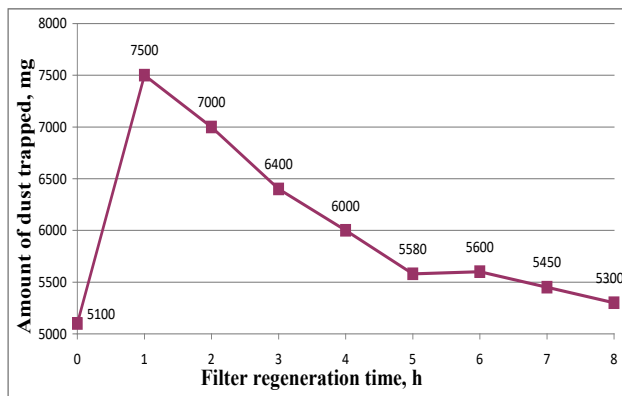


Fig. 2. Dependence of the amount of dust trapped on the filter regeneration time

Table 2

The influence of the operating time of the installation on the thickness of the filter bed

Operating time, h.	1	2	3	4	5	6	7	8
Thickness of the filtering layer, mm.	1	1,75	2,4	2,9	3,3	3,6	3,8	4,0

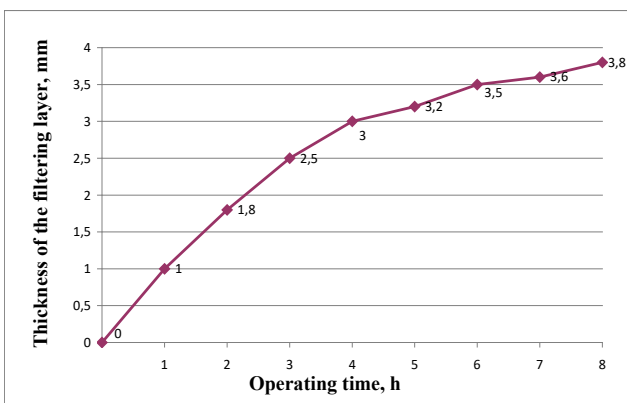


Fig. 3. Influence of the operating time of the installation on the thickness of the filter layer

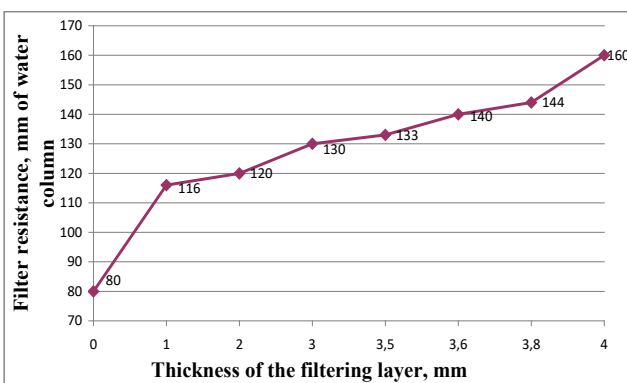


Fig.4. Effect of the thickness of the filter layer on the resistance of the filter

an hour, two, etc. In each case, the dust collected from the filter was weighed and the total amount was determined. Then the amount of dust collected in 1 hour was calculated. The operating time of the installation in all

cases was 8 hours. The results of these studies are given in Tab. 1 and in the graph of Fig.2.

It can be seen from the graph that in the first series of experiments with continuous filter regeneration, air purification was insufficient (637 mg/h). This is explained by the fact that in the absence of a layer of dust on the grid, its "slip" through the filter cells [6; 7] is observed. As the thickness of the dust layer increased, the amount of dust trapped increased and reached a maximum (0.37 mg/h) with a regeneration time of 1h. By this time a layer of 1mm thick was formed on the filter. This was enough to achieve almost complete dust collection. With a further increase in the regeneration time, the degree of gas purification increased, but at the same time the resistance increased and the productivity of the installation decreased by air, so that the total amount of dust trapped was reduced. With a regeneration time of 2 hours, the amount of dust trapped was reduced to 875 mg, after 3 hours – 800 mg/h and so on.

As the filter works, a filter layer of dust forms on its surface. Moreover, the longer the operating time, the greater the thickness of the filter material layer. However, the relationship here is not straightforward. Tab. 2 and the graph in Fig. 3 show the change in the thickness of the filter material layer on the filter disk, depending on the filter operation time.

From the data given, it can be seen that the increase in the thickness of the filtering layer is not the same in time. So for the first hour it was 1 mm; for the second 0,75; for the third – 0,65; the fourth is 0,5, and so on. Reduction in the increase in the thickness of the dust is associated with a decrease in the capacity of the filter due to the growth of its resistance.

The influence of the thickness of the filter layer on the filter resistance is shown in Tab. 3 and in the graph of Fig.4.

Table 3

**Effect of the thickness of the filter layer on the resistance of the filter**

Thickness of the filtering layer, mm	0	1	1,75	2,4	2,9	3,3	3,6	3,8	4,0
Time of formation of the filtering layer, h	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Filter resistance, mm of water column	80	120	125	130	135	140	145	150	160

Table 4

**Effect of filter resistance on its performance**

Filter operating time, h	0	1	2	3	4
Thickness of the filtering layer, mm	0	1	1,75	2,5	2,9
The resistance of the filter, mm of water column	80	120	125	130	135
Average air velocity from anemometer measurements, m/h	4,8	2,2	2,1	1,9	1,85
Plant capacity, m <sup>3</sup> /h	100	450	400	380	350

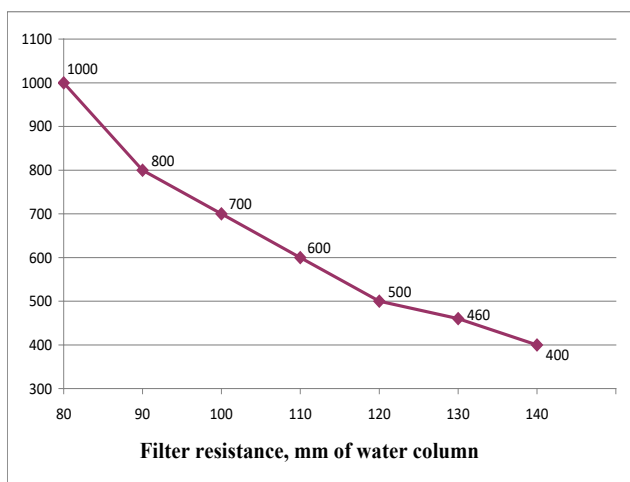


Fig. 5. Effect of filter resistance on performance

The data show that the resistance of the filter increases with time. So, if the filter without a layer of fibrous dust had a resistance of 80 mm of water column, then after one hour of its operation the resistance increased by one and a half times and amounted to 120 mm of water column, and after 8 hours of filter operation it increased to 160 mm of water column, became 2 times more than the original. This leads to a decrease in the throughput of the filter.

The technique of these experiments was that the velocity of the air emerging from the filter was measured. Knowing the air velocity and the diameter of the channel, the filter capacity was determined. The measurements were made for different thicknesses of the filtering layer (Table 4 and graph, Fig. 5).

The given data testify that with increase in resistance the filter performance sharply decreases, especially after the first hour of operation. Without a layer of dust on the filter, its resistance was 80 mm of water column, which corresponded to an average air velocity of 4,8 m/s and a capacity of 1000 m<sup>3</sup>/h. After an hour, when a 1 mm layer

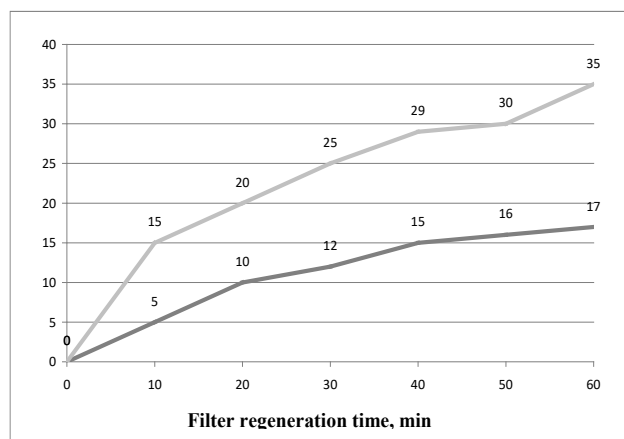


Fig. 6. Effect of filter regeneration time on performance

of dust formed on the filter, and its resistance increased to 120 mm of water column, the air velocity decreased from 4.8 to 2,2 m/s, and the productivity to 450 m<sup>3</sup>/h, respectively.

After 4 hours of operation, the thickness of the dust layer on the filter was 2.9 mm, which increased the filter resistance to 135 mm of the water column, the average air velocity decreased to 1.85 m/s, and the productivity to 350 m<sup>3</sup>/h, almost three times. From this it should be concluded that the filter should not allow the formation of a layer of dust more than 1 mm. To do this, it is necessary to regenerate the filter once per hour.

### Conclusions

1. The proposed design of a self-cleaning filter contributes to the creation of a stable aerodynamic operation of the dust collection system.
2. The device allows reducing dust content in 9–10 times.
3. With a stable aerodynamic mode, the degree of air cleaning from dust is 90%.
4. The dust collector can be used to clean air from fine dust.

### REFERENCES

1. Луцик О.Д., Иванова АЙ., Кабак К.С., Чайковский Ю.Б. Гістологія людини. Київ : «Книга плюс», 2010. С. 401–446.
2. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16 жовтня 1992 року № 2707-ХІІ / База даних «Законодавства України». URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2707-12>.

3. Обстеження систем аспірації та вентиляції ЦВО-1, ЦВО-2 та розробка рекомендацій по підвищенню ефективності їх роботи для зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу та запиленості на робочих місцях. Отчет о НИР / Криворожский технический университет: №ГР 0106U008416. Кривой Рог, 2006. 130 с.
4. Корнієнко Д.Г., Приміський В.П. Автоматична система очистки пробопідготовки газоаналізаторів димових газів. *Технологический аудит и резервы производства*. Харків. 2015. № 1/3(21). С. 29–32.
5. Левченко О.Г., Грищенко С.А., Ковтун І.М. Методи нейтралізації токсичних речовин у зварювальному виробництві. *Вісник Національного науково-дослідного інституту охорони праці*. 2003. Вип. 6. С. 19-23.
6. Перелік і коди речовин забруднюючих атмосферне повітря. 2021 р. 43 с.
7. Смирнов М.Ю., Защепкіна Н.М., Гаврилюк В.В. Розробка програми для розрахунку концентрації пилу в приміщенні. *«Погляд у майбутнє приладобудування»*: матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів (Київ, 15–16 травня 2018 року). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 320–323.

## АНАЛІЗ ДЕСТРУКТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МІКРООРГАНІЗМІВ РОДУ *BACILLUS* У КОМБІНАЦІЇ З ФУЛЬВОКИСЛОТАМИ ДЛЯ РИЗОДЕГРАДАЦІЇ НАФТОВИХ ВУГЛЕВОДНІВ

Трохименко Г.Г., Недорода В.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
пр. Героїв України, 9, 54025, м. Миколаїв  
[nedorodavlad@gmail.com](mailto:nedorodavlad@gmail.com)

У даній роботі представлені результати дослідження фітотоксичності ґрунту з високим рівнем нафтового забруднення. Зразки ґрунтосуміші були приготовлені у лабораторних умовах та містили 50% та 70% нафтошламу відносно загальної маси. Штучно забруднені ґрунти обробляли нафтодеструкторами, на основі штамів *Bacillus amyloliquefaciens* та *Bacillus subtilis* з додаванням розчину фульвокіслот. Основною метою роботи була оцінка впливу добрив на підвищення ефективності мікробіологічної деструкції. Визначення проводили за допомогою біотестування у комбінації з аналізом фракційного складу ґрунту газовою хроматографією. У якості біоіндикаторної рослини була використана Гірчиця польова (*Sinapis arvensis*).

У результаті тестування хроматографічний аналіз ґрунту показав, що без використання нафтодеструкторів, тобто у результаті самоочищення, концентрація вуглеводневого забруднення, залежно від загальної стартової концентрації, знизилася на 2,44% – 8,70% за 86 діб експерименту. При цьому у разі використання нафтодеструкторів рівень забруднення знизився на 17,47% – 26,83%. Загальний рівень зниження вмісту полутантів у забруднених зразках чітко відображає ефективність використання нафтодеструкторів на основі штаму *Bacillus*. Але при цьому, при високих рівнях забруднення нафтопродуктами ефективність деструкції значно підвищується у разі використання органічних добрив у якості каталізатору процесу ризодеградації. Так, використання добрив на основі фульвокіслот, для стимулювання росту рослин при більш високому рівні забруднення, дозволило знизити концентрацію нафтопродуктів у зразках на 27,30% – 34,52%. Хроматографічний аналіз зразків показав значне зниження концентрації легких фракцій нафти, у той час як деструкція важких фракцій ( $C_{15} - C_{24}$ ) відбувається значно повільніше. **Ключові слова:** біодеградація, біоремедіація, біотестування, нафтове забруднення, фітотоксичність, ґрунт.

### Potential analysis of *Bacillus* and fulvic acids combination for rhizodegradation of petroleum hydrocarbons. Trokhymenko G., Nedoroda V.

The research aimed to study the phytotoxicity of soil with a high level of oil pollution. Soil mixture samples were prepared in laboratory conditions and contained 50% and 70% of oil sludge relative to the total mass of a sample. Artificially polluted soil samples were exposed to oil destroyers based on strains of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus subtilis*. The addition of fulvic acids was evaluated during the experiment. The main goal of the work was to assess the effect of fertilizers on increasing the efficiency of microbiological destruction. The determination was carried out using bioassay in combination with the gas chromatography method. Field mustard (*Sinapis arvensis*) was used as a bioindicator plant. The chromatographic analysis showed that without the use of oil destroyers, that is, due to self-cleaning, the concentration of hydrocarbon pollution, depending on the total starting concentration, decreased by 2.44% – 8.70% in 86 days of the experiment. At the same time, in the case of using oil destroyers, the pollution level decreased by 17.47% – 26.83%. The overall level of pollutant reduction in contaminated samples reflects the effectiveness of using *Bacillus* strain-based oil destroyers. However, at the same time, with high pollution levels by oil products, the efficiency of destruction is significantly increased in the case of using fertilizers as a catalyst for the rhizodegradation process. Using fertilizers based on fulvic acids to stimulate plant growth at a higher level of pollution allowed us to reduce the concentration of oil products in the samples by 27.30% – 34.52%. Overall, chromatographic analysis of the samples showed a significant decrease in the concentration of light fractions of oil, while the destruction of heavy fractions ( $C_{15} - C_{24}$ ) is much slower. **Key words:** bioassay, biodegradation, bioremediation, biosurfactant, petroleum, phytotoxicity, soil.

**Постановка проблеми та актуальність дослідження.** Широкомасштабний видобуток і використання нафти та нафтопродуктів зробили їх пріоритетними забруднювачами довкілля. Потрапляючи у навколишнє середовище, нафтові вуглеводні мають виражений вплив на всі компоненти екосистеми [1]. Серед них рослини та мікроорганізми – продуценти і редуценти – заслуговують на особливу увагу, оскільки вони є базовою провідною системою синтезу та розкладання органічних сполук. Процеси акумуляції, трансформації та деградації нафтових вуглеводнів

рослинами та мікроорганізмами активно вивчаються як для оцінки ризику, так і для пошуку природних механізмів детоксикації та деградації антропогенних забруднювачів [2; 3]. Результатами цих досліджень стали, з одного боку, виведення штамів мікроорганізмів-деструкторів, опис шляхів мікробного катаболізму вуглеводнів, а з іншого – характеристика метаболізму деяких вуглеводнів в рослинах [4]. Як наслідок, мікробна деградація вуглеводнів становить основу сучасної технології біоремедіації нафтозабруднених об'єктів довкілля [5; 6].

Виявлення ефекту підвищеної біодеградації поллютантів у кореневій зоні послужило приводом для об'єднання зусиль фізіологів рослин і мікробіологів у розробці біотехнологій використання рослин та асоційованих з ними мікроорганізмів для оздоровлення ґрунту [7]. Переваги біоремедіації як економічно вигідної, екологічно безпечної та естетично привабливої біотехнології відновлення забруднень показані багатьма дослідниками [8-10]. Рослинно-мікробні асоціації та симбіози, що мають гнучкий метаболізм і унікальні ферментативні системи, також мають великі переваги при перебуванні у несприятливих умовах навколишнього середовища, обумовлені не тільки підвищеною толерантністю до ксенобіотиків, але й здатністю до активного видалення токсикантів [11; 12]. Екологічні умови росту рослин (нафтове забруднення ґрунту, біоремедіація з внесенням біопрепарату) впливають на ріст і розвиток, формують неспецифічну фізіолого-біохімічну відповідь, яка виражається у зміні морфологічних параметрів, зниженні продуктивності, накопиченні пігментів, вторинних метаболітів, мітотичного індексу меристематичних клітин коренів, деградації хромосом. Нафтове забруднення ґрунту змінює структуру мікробного комплексу ризосфери рослин, в якій домінуючими стають вуглеводні мікроорганізми. Фітотремедіація нормалізує структуру мікробного комплексу ризосфери рослин, відновлює чисельність целюлозолітиків, знижує чисельність фітопатогенних форм мікроскопічних грибів [13; 14].

До теперішнього часу вплив нафтових вуглеводнів на ґрунтову мікрофлору добре вивчений, проте еколого-функціональні рішення ризосферних мікробних співтовариств на вуглеводневе забруднення продовжують вивчатися [16]. Разом з тим, особливості ризосфери як екологічної ніші (насиченість поживними речовинами, підвищена чисельність та фізіологічна активність мікроорганізмів) припускають інший характер реакцій мікрофлори на забруднення порівняно з ґрунтом без рослин. Дослідження структури та функцій мікробного співтовариства кореневої зони рослин в умовах вуглеводневого забруднення дозволяє з'ясувати причини та наслідки підвищення деградації органічного забруднювача у ґрунті з рослинами, що лежить в основі ефекту біоремедіації [17].

Реалізація адаптаційного і деструктивного потенціалу рослин, а також асоційованих з ними мікробних комплексів в умовах вуглеводневого забруднення може призводити до посилення очищення середовища, з одного боку, і зміни рослинно-мікробних взаємодій – з іншого [18]. Взаємини рослин та мікроорганізмів у ризосфері складається з спрямованих один на одного впливів. Вплив рослин на формування мікробіоценозів у ґрунті реалізується через надання ніші для проживання мікроорганізмів (власне кореневої системи) та кореневі виділення, що регулюють розвиток ризомікрофлори. У свою чергу, метаболічна активність мікроорганізмів, їх здатність

до продукції біологічно активних речовин значною мірою забезпечують ріст та розвиток рослин [19].

Використання добрив, наприклад на основі органічних кислот, може покращити розвиток кореневої структури рослин, що в свою чергу призводить до підвищення ефективності ризодеградації. Як і гумінові кислоти, фульвокислоти є високомолекулярними азотовмісними органічними кислотами. Молекулярна маса цієї кислоти досить мала, щоб проникати крізь клітинні мембрани. Це сприяє розщепленню розчинених мінеральних і органічних речовин до іонів. Ця кислота є відмінним провідником вітамінів і завдяки цьому відсоток засвоєння добавок на клітинному рівні досягає 95-99% [20]. Дози фульвокислоти підбирають такі, що не стимулюють перехід металів із ґрунту в ґрунтові води і не сприяють вимиванню поживних речовин. При помірних концентраціях основними ефектами добрив на основі фульвокислот є регуляція енергетичних і основних біохімічних процесів рослин, підвищення роботи ферментів, нормалізація обміну речовин, звільнення клітин від продуктів розпаду та токсинів. Фульвокислота реагує з мінералами та розщеплює їх на частинки розміром іонів, створюючи фульвати, найменшу можливу форму мінералів. У цій формі мінерали легко поглинаються корінням рослин і розподіляються по всіх клітинах [21].

**Матеріали та методи досліджень.** З метою дослідження ефективності використання рослин та мікроорганізмів-нафтодеструкторів для зниження фітотоксичності забрудненого ґрунту були проведені лабораторні вегетаційні дослідження з біоремедіації ґрунтів, забруднених нафтошламом у різній концентрації. Штучно приготовлена ґрунтосуміш (зразки ретельно перемішувалися і розпушувалися до утворення однорідного розпушеного шару масою близько 70 г. кожен) містила 50% та 70% поллютанта. Дослідження проводили у приміщенні для вирощування рослин з контролюючими умовами освітлення, температури та поливу. Усі експерименти мали однакову тривалість – 86 діб.

Основним підходом у ході експерименту було внесення мікроорганізмів у комбінації з добривами на основі фульвокислот до штучно забрудненого ґрунту для прискорення розщеплення нафтових вуглеводнів. У ході представленого експерименту для визначення ефективності біоремедіації були використані нафтодеструктори на основі штаму *Bacillus*, а саме *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* та *Bacillus amyloliquefaciens subsp. plantarum*. Даний консорціум мікроорганізмів має здатність розкласти вуглеводні шляхом синтезу поверхнево-активних речовин у присутності нафтопродуктів як джерела вуглецю [22]. У попередніх дослідженнях ми порівнювали ефективність біопрепарату у різних концентраціях [23]. Виходячи з отриманих результатів, для подальшої роботи була обрана концентрація на рівні 4%. Саме в такій кількості консорціум

мікроорганізмів *Bacillus* надавав ґрунту найкращі ростостимулюючі властивості та найбільш ефективно зниження фітотоксичності відносно концентрації самого біопрепарату. Для підтримання та накопичення маси мікроорганізмів полив біопрепаратом відбувався двічі на тиждень.

Ефективність біодеградації нафтопродуктів у зразках оцінювали за допомогою газохроматографічного аналізу високої роздільної здатності. Однією з методик хроматографічного аналізу є проявний (елюаційний) метод. Він полягає в тому, що сорбенти переносяться через сорбційний шар потоком речовини (елюенту), що сорбується гірше за будь-який із сорбентів. В ході проявного аналізу розділені компоненти аналізованої суміші виходять з хроматографічної колонки в потоці елюентів окремими зонами, між якими (при досить чіткому розділенні) з колонки виходить чистий елюент. Загальний вміст компонентів визначався піками на хроматограмах максимумом реєстрованого сигналу детектора або концентрації компонента хроматографованої суміші в елюенті. У якості обладнання використовували газовий хроматографі «Цвет-500». Усі варіанти описаних експериментів та аналізів мали не менше ніж триразову повторюваність. Статистичну обробку отриманих результатів проводили при  $P < 0,05$  за допомогою програмного забезпечення.

**Виклад основного матеріалу.** Токсична дія вуглеводнів на розвиток рослин у забрудненому нафтопродуктами ґрунті супроводжувалася пожовтінням та засиханням, що могло бути пов'язане з транспірацією через рослину токсичних сполук. Але подібний ефект відмічається лише у перших тижнях проведення експерименту і залежить від періоду первинної токсичної дії при нафтовому забрудненні. Надалі, пряма дія біопрепарату (нафтодеструкція) та розгалуження коренів рослин (ризодеградація) призводять до зниження фітотоксичності ґрунту. Це важливо, насамперед, через підвищення щільності ризосферних мікробних популяцій, що в свою чергу призводить до сприятливіших і стабільніших умов ризосфери у порівнянні з ґрунтом без рослин. Таким чином, рослина в умовах забруднення є фактором, що підтримує та/або збільшує чисельність ґрунтових мікробних популяцій, надаючи їм нішу та додаткове харчування для розмноження та виконання захисних функцій від впливу поллютанта, інтенсифікуючи тим самим процеси оздоровлення ґрунту.

Окрім довжини коренів та висоти пагонів, важливим параметром, який дає оцінку фітотоксичності навколишнього середовища є урожайність (Таблиця 1). Фізіологічна структура мікробних співтовариств в ризосфері характеризується більшою стійкістю і менше схильна до змін під впливом забруднювача, ніж у ґрунті без впливу органічних добрив та, як наслідок, розгалуженої кореневої системи. Забруднення ґрунту вуглеводнями призводить до порушення балансу основних поживних елементів – вуглецю, азоту, фосфору та ін., що тягне за собою суттєві перебудови фізіологічної структури ґрунтового мікробіоценозу. Однак ці перебудови неоднозначні і залежать від присутності та активності мікроорганізмів, виділення яких можуть по-різному змінювати баланс поживних елементів у ґрунті, що у свою чергу призводить до зміни отриманої органічної речовини.

Зміна морфометричних параметрів рослин під впливом вуглеводнів пов'язана зі зміною їх біохімічних характеристик, що відображають токсичну дію поллютанта і адаптивні реакції рослини на стрес в умовах забруднення. Аналіз фітотоксичності показав (Таблиця 2), що через 3 місяці з використанням нафтодеструкторів токсичність у комбінації з фульвокислотами знизилася на 30,20–50,96%, а у варіанті без них – на 8,93–17,47%.

Таблиця 1

**Вага органічної речовини / урожайність *Sinapis arvensis* на 0,02123 дм<sup>2</sup>, г**

Концентрація фульвокислот	Концентрація нафтошляму	
	50%	70%
1%	2.118	0.892
0,2%	1.927	0.508
0%	1.255	0.371

Зміна морфометричних параметрів рослин під впливом вуглеводнів пов'язана зі зміною їх біохімічних характеристик, що відображають токсичну дію поллютанта і адаптивні реакції рослини на стрес в умовах забруднення. Аналіз фітотоксичності показав (Таблиця 2), що через 3 місяці з використанням нафтодеструкторів токсичність у комбінації з фульвокислотами знизилася на 30,20–50,96%, а у варіанті без них – на 8,93–17,47%.

Таблиця 2

**Фітотоксичний ефект нафтозабрудненого ґрунту за використання, %**

Концентрація фульвокислот	Концентрація нафтошляму	
	50%	70%
1%	49,04	78,54
0,2%	53,64	87,80
0%	69,80	91,07

У подальшому був проведений порівняльний хроматографічний аналіз ступеня деградації нафтопродуктів у зразках. Результати наведені у Таблиці 3.

Таблиця 3

**Загальна маса нафтопродуктів у зразках на кінець експерименту, мг/кг**

Тип зразків	Концентрація нафтошляму	
	50%	70%
Стартові зразки	51168	58024
Без використання біопрепарату	49920	52976
З використанням біопрепарату	37440	47904
З використанням біопрепарату та фульвокислот	37200	37992

Виходячи із результатів аналізу фракційного складу, зниження концентрації забруднення за допомогою самоочищення (без використання біопрепа-

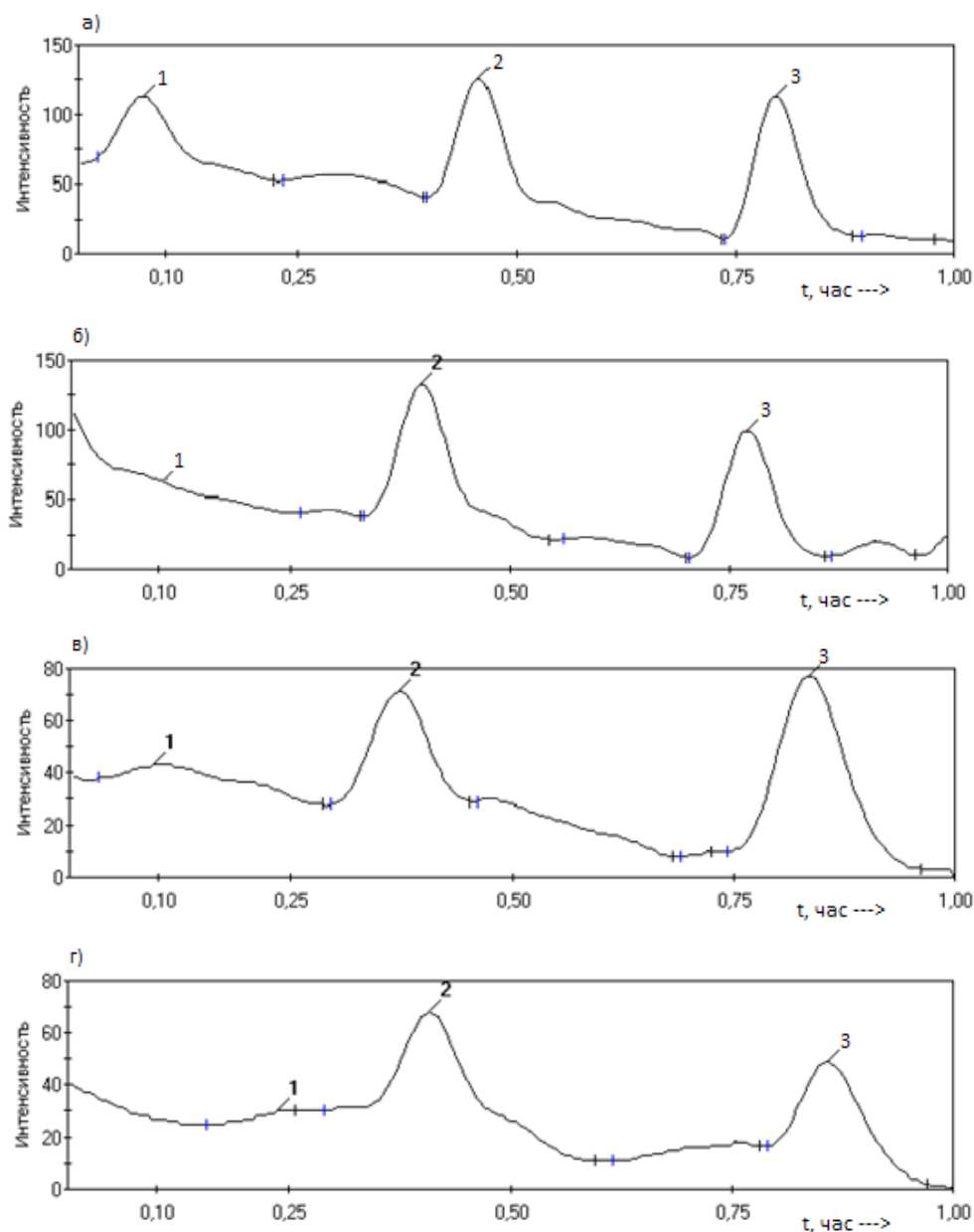


Рис. 1. Хроматографічний аналіз зразків за концентрації нафтошляму 50%:  
 а) стан ґрунту перед початком експерименту; б) контроль без використання біопрепарату; в) з використанням біопрепарату; г) з використанням біопрепарату у комбінації з фульвокислотами

рату) відбувається досить повільно, з 51168 мг/кг до 49920 мг/кг за 86 діб проведення експерименту. Порівняно з цим використання деструкторів показує загальний результат зниження до 37440 мг/кг. Подібний результат досягається завдяки повноцінному розкладанню легких  $C_{10}$ - $C_{14}$  фракцій нафти у забруднених зразках. Слід зазначити, що деструкція важких фракцій нафтошляму ( $C_{15}$ - $C_{19}$ ,  $C_{20}$ - $C_{24}$ ) відбувається значно повільніше. Так, фракція  $C_{24+}$  залишається майже незмінною у своєму кількісному складі.

Використання фульвокислот у даному випадку значно не змінює ріст та розвиток рослин у загальному вегетаційному періоді, а отже ефект поси-

лення ризодеградації є мінімальним (37440 мг/кг та 37200 мг/кг). Тобто використання добрив при 50% концентрації нафтошляму не є доцільним. У наступних зразках спостерігаємо зниження кількості нафтопродуктів по загальній масі з 58024 мг/кг до 52976 мг/кг. Так, зниження концентрації відбувається в основному за рахунок біодеструкторів, оскільки зведена статистика по зразках без проростання рослин. Проростання при значному забрудненні (70% нафтошляму) пригнічується забрудненням ґрунту. Будь-які рослини, які проросли, піддаються значному фітотоксичному ефекту та швидко засихають. Виходячи із результатів хроматографії ґрунту



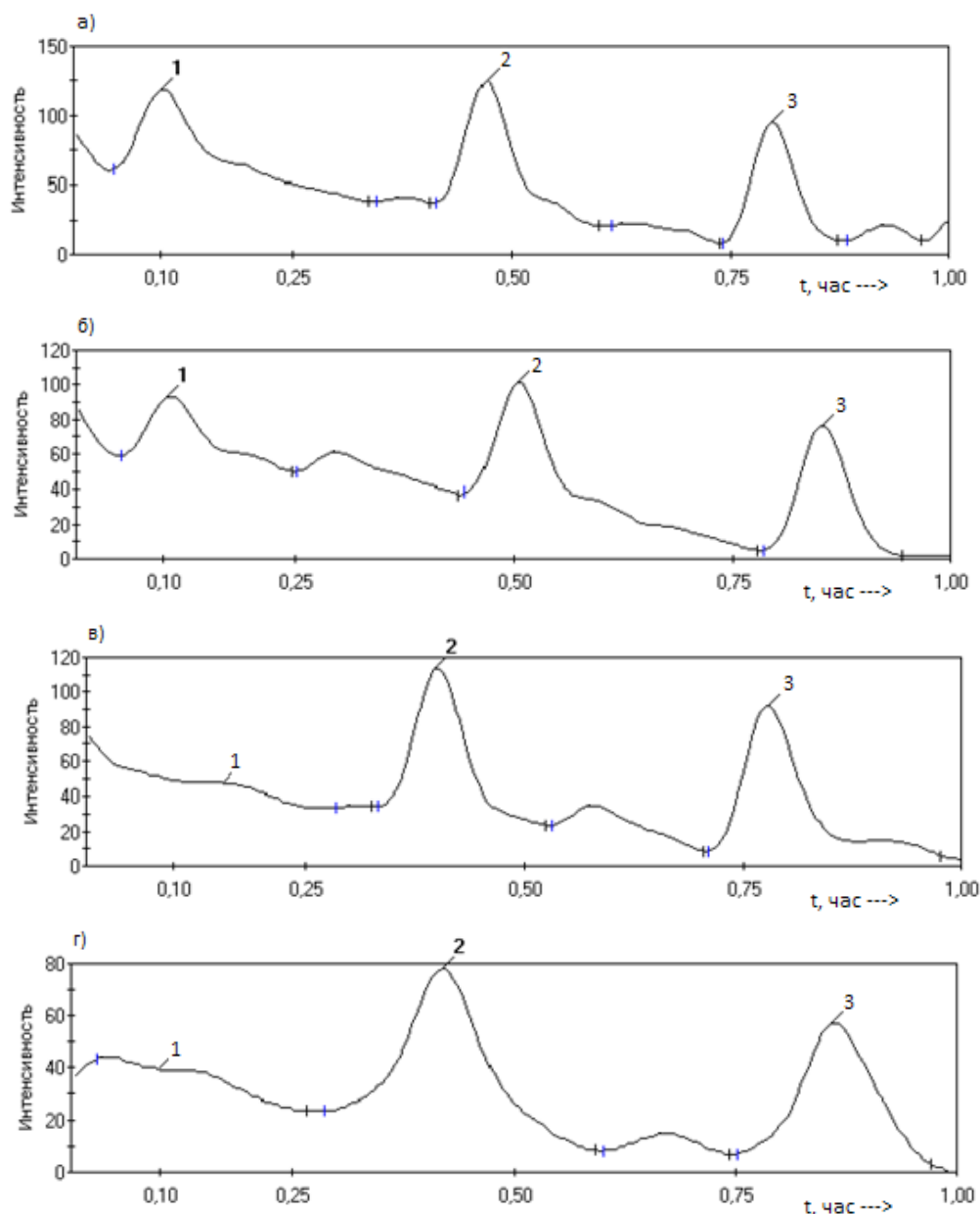


Рис. 2. Хроматографічний аналіз зразків за концентрації нафтошляму 70%:  
а) стан ґрунту перед початком експерименту; б) контроль без використання біопрепарату; в) з використанням біопрепарату; г) з використанням біопрепарату у комбінації з фульвокислотами

можна зробити висновок, що відсутність розгалуженої кореневої системи знижує загальну ефективність.

У такому випадку у зразках з 70% поліютанту концентрація забруднювача зменшувалася з 58024 мг/кг до 37992 мг/кг. У порівнянні з попереднім рівнем концентрації ефект є більш значим (13728 мг/кг та 20102 мг/кг, відповідно) при схожому кінцевому результаті. Кінцевий результат у 37200 мг/кг та 37992 мг/кг при значній різниці у стартовій концентрації можна пояснити тим, що, по-перше, в основному відбувається деструкція легких нафтопродуктів, що виходить з результатів хроматографії. Відбувається майже повне розкладання групи

$C_{10} - C_{14}$ , незважаючи на їхній різний стартовий об'єм. По-друге збільшення концентрації нафтопродуктів хоч і підвищує фітотоксичність ґрунту, також підвищує їх доступність для мікроорганізмів. В свою чергу, це призводить до підвищення ефективності розкладання вуглеводнів. Але оскільки важкі вуглеводневі групи  $C_{24+}$  є досить стійкими для впливу деструкторів, то після певного порогу концентрація знижується значно повільніше.

Результати хроматографічного аналізу показують, що при 50% концентрації нафтошляму ефект від фульвокислот є незначним. Це означає що при подібному рівні забруднення добрива не є необхід-

ними для запуску симбіотичного процесу нафтодеструкції у кореневій зоні рослин. Але уже при 70% нафтошламу у ґрунтосуміші використання добрив відіграє ключову роль, тобто приближення до гранично допустимих концентрації поллютанта потребує більш значного впливу органічних добрив для запуску тих самих процесів. При підвищенні концентрації забруднення і надалі використання добрив, біопрепарату та їх комбінації не дають достатнього ефекту для приживання рослин.

**Головні висновки.** Проведені дослідження виявили відмінності у реакціях мікрофлори на забруднення середовища вуглеводнями, кількісні та якісні переваги мікробних угруповань у розгалуженій кореневій зоні рослин, що забезпечують ефективність фітореMediaції та її переваги – стабільність та пролонгованість.

Аналіз зразків ґрунту, в умовах вегетаційного дослідження, показує, що в забрудненому вуглеводнями ґрунті ризосферний ефект був більш значний за використання комбінації біопрепарату та органічних добрив. Таким чином, використання фульвокислот у комбінації з нафтодеструкторами при вуглеводному забрудненні ґрунту важкими нафтовими фракціями (нафтошлам) справляло виражений позитивний ефект на рослинність. Найбільш чутливими

показниками фітотоксичності ґрунту були енергія проростання насіння та накопичення рослинної біомаси. Характер фітотоксичного ефекту ґрунту залежав, насамперед, від концентрації забруднення, використання біопрепарату, а також присутності та кількості добрив. Таким чином, біопрепарат на основі штаму *Bacillus* у комбінації з добривом на основі фульвокислот можуть бути використаними для комплексної біоремедіації ґрунту. Це покращує швидкість зростання рослин у забрудненому вуглеводнем ґрунті, як за рахунок стимуляції росту рослин, так і за рахунок зниження фітотоксичності шляхом біодеградації поллютанту.

Описані дослідження продемонстрували, що і рослини, і мікроорганізми, і, особливо, їх асоціації мають значний потенціал адаптації і деструктивної активності по відношенню до нафтових вуглеводнів. Спрямоване використання цього потенціалу для оздоровлення ґрунту може мати суттєвий ефект у системі технологій фітореMediaції. Максимальна реалізація можливостей рослинно-мікробних комплексів для оздоровлення ґрунту вимагає підбору і апробації різних мікроорганізмів (в залежності від родовища), врахування зонспецифічності рослин та внесенням органічних добрив при певних концентраціях поллютанта.

### Література

1. Шестопапов О. В. Охорона навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами : навч. посіб. Харків : НТУ «ХП». 2015. 116 с.
2. Bhaskar S, Supriyo R and Kaushik K. 2020. Bioremediation of oily sludge: A case base analysis to supply chain, *Resources, Environment and Sustainability*, 2, pp. 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2020.100008>
3. Домарацький Є., Базалій В., Козлова О., Домарацький О. Ефективність використання деструкторів целюлози для оптимізації факторів життя рослин сояшнику. *Техніка і технології АПК*. 2020. № 1. С. 18–21.
4. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. Москва : Изд-во Моск. ун-та. 1987. 256 с.
5. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. Экспериментальна ґрунтова мікробіологія : монографія / за ред. В.В. Волкогона. Київ : Аграрна наука. 2010. 464 с.
6. Das N and Chandran P. 2011. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview, *SAGE Hindawi access to research Biotechnology Research International*, pp. 1–13.
7. Ossai I, Ahmed A, Hassan A. 2019. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*. 17. pp. 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
8. Hinehman R, Negri M and Gatlif E. 1996. In Phyto-remediation: using green plants to clean up contaminated soil, groundwater and wastewater hi. International Topical Meeting on Nuclear and Hazardous Waste Management, Spectrum. C. 23:1-13.
9. Luo Y and Teng Y. 2006. Status of soil pollution degradation and countermeasures in China. *J. Soils*, 38, pp. 505–508.
10. Sumiahadi A and Acar R. 2018. A review of phytoremediation technology: heavy metals uptake by plants, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 142, 012023.
11. Молчатский С. Л., Казанцев И. В., Матвеева Т. Б. Применение метода фрактального анализа для биоиндикационной оценки состояния окружающей среды. *Самарский научный вестник*. 2016. № 4(17). С. 28–31.
12. Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, pp. 233–266.
13. Bardgett R, 2005. The biology soil. A community and ecosystem approach. *Oxford University Press*. p. 242.
14. Терещенко Н.Н., Акимова Е.Е., Минаева О.М. Практикум по микробиологии для оценки плодородия почвы и качества почвы : учеб.-метод. пособие для студентов биологических специальностей. Томск : ТГУ. 2011. 96 с.
15. Orooj S, Sayeda S, Kinza W and Alvina G. 2015. Phytoremediation of Soils: Prospects and Challenges. *Soil Remediation and Plants, Academic Press*. pp 1-36, ISBN 9780127999371, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799937-1.00001-2>
16. Celia F Denise M and Helen C, 2015, Biosurfactant microfoam: Application in the removal of pollutants from soil, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 3, 1 pp 89-94, ISSN 2213-3437, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.12.008>
17. Femina C Senthil K Chitra B Fetcia J and Ramamurthy R, 2021, Stimulation of Bacillus sp. by lipopeptide biosurfactant for the degradation of aromatic amine 4-Chloroaniline, *Journal of Hazardous Materials*. 415. ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125716>

18. Pao-Wen G, Tsung C, Liang-Ming W, Chun-Hsuan K, Po-Tseng P and Sheng-Shung C. 2011. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: Effects of strategies and microbial community shift. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 65, pp. 1119–1127.
19. Тарасов С.А., Шершнева О.М. Использование микробиологических препаратов для ускорения деструкции соломы. Вестник Курской ГСХА. 2014. № 6. С. 41–45.
20. Aleksandar I, Amanda M, Ladislau M, Alberto C. C et al. 2022. Comparison of Sample Preparation Techniques for the (–)ESI-FT-ICR-MS Analysis of Humic and Fulvic Acids. *Environmental Science & Technology*. 56, ISSN 12688-12701, <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01125>
21. Peijia Z, Hongjia Z, Guoqing W et. al. 2021. Dose-Dependent Application of Straw-Derived Fulvic Acid on Yield and Quality of Tomato Plants Grown in a Greenhouse. *Frontiers in Plant Science*. 12. pp. 3–6.
22. Бахоніна Є. І., Арсланова Л. М., Гамерова Л. М. Деструкція нафтозабруднень ґрунтів із застосуванням спеціального комплексу мікробних біопрепаратів. *Нафтогазова справа*. 2013. № 4. С. 415–423.
23. Nedoroda V, Trokhymenko G, Khrapko T, Koliehova A. 2021. Analysis of Petroleum Biodegradation by a Bacterial Consortium of *Bacillus amyloliquefaciens* ssp. *plantarum* and *Bacillus subtilis*. *Journal of Ecological Engineering*. 22, pp. 36–42. <https://doi.org/10.12911/22998993/143017>

## ЗАСТОСУВАННЯ ДЕТЕКТОРУ ВИТОКУ ПОБУТОВОГО ГАЗУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯ

Яремчук О.М., Яремчук Б.О.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили  
вул. 68 Десантників, 10, 54003, м. Миколаїв  
[olga.yaremchuk.77@ukr.net](mailto:olga.yaremchuk.77@ukr.net), [bogdan.yaremchuk.2001@gmail.com](mailto:bogdan.yaremchuk.2001@gmail.com)

У статті подано дослідження, яке було спрямоване на створення системи світлоіндикації присутності та рівня концентрації природного газу в навколишньому середовищі, що інформує користувача про проблему витoku природного газу в зручному для сприйняття вигляді. Програма газифікації житлового фонду країни, що проводиться нині, робить виключно актуальним завдання по забезпеченню споживачів сучасною і надійною сигналізацією, що інформує про появу газу в закритих приміщеннях. Тільки забезпечення постійного надійного моніторингу стану атмосфери в приміщеннях, у тому числі використовуваних в системі ЖКГ, дозволить запобігти руйнівним вибухам і людським жертвам. Прилади на основі напівпровідникових газових сенсорів є одним з найбільш недорогих і ефективних інструментів для діагностики стану довкілля. Датчики такого типу знайшли широке застосування при контролі газового складу повітря. Авторами розроблено програмне забезпечення, що повністю керує приладом в цілому, відповідно до поставлених задач на проектування.

У результаті виконання роботи вирішена важлива науково-прикладна проблема безперервного, надійного та економічного методу сигналізування витoku побутового газу в житлових приміщеннях.

Основні результати роботи полягають у тому, що розроблено систему світлоіндикації присутності та рівня концентрації природного газу в навколишньому середовищі, що інформує користувача про проблему витoku природного газу в зручному для сприйняття вигляді, розроблено програмне забезпечення, що повністю керує приладом в цілому, відповідно до поставлених задач на проектування. Додана функція самоперевірки, яка сповістить користувача про відсутність зв'язку з газоаналізатором, що підвищує надійність приладу, та зменшує вірогідність накопичення вибухонебезпечного рівня загазованості метаном замкненого приміщення.

Використання при розробці власного приладу нових технологій з високою швидкістю аналізу даних дозволять створювати прилади, що зменшують вірогідність накопичення вибухонебезпечного рівня загазованості метаном замкненого приміщення.

*Ключові слова:* природний газ, газоаналізатор, вибухонебезпечного рівень загазованості, блок-схема роботи приладу, Proteus.

### **Application of a domestic gas leak detector for air monitoring. Yaremchuk O., Yaremchuk B.**

The article presents research that was aimed at creating a system of light indication of the presence and level of concentration of natural gas in the environment, which informs the user about the problem of natural gas leakage in a form convenient for perception. The program of gasification of the country's housing stock, which is currently being carried out, makes the task of providing consumers with modern and reliable signaling that informs about the appearance of gas in closed rooms extremely urgent. Only ensuring constant reliable monitoring of the state of the atmosphere in premises, including those used in the housing and communal services system, will prevent destructive explosions and human casualties. Devices based on semiconductor gas sensors are one of the most inexpensive and effective tools for diagnosing the state of the environment. Sensors of this type are widely used in monitoring the gas composition of the air. The authors have developed software that fully controls the device as a whole, in accordance with the design tasks.

As a result of the work, an important scientific and applied problem of a continuous, reliable and economical method of signaling domestic gas leakage in residential premises was solved.

The main results of the work are that a system of light indication of the presence and concentration of natural gas in the environment has been developed, which informs the user about the problem of natural gas leakage in a form convenient for perception, software has been developed that fully controls the device as a whole, in accordance with the set tasks for designing. A self-test function has been added, which will notify the user of the lack of communication with the gas analyzer, which increases the reliability of the device and reduces the probability of the accumulation of an explosive level of methane gassing in a closed room.

The use of new technologies with a high speed of data analysis in the development of your own device will allow you to create devices that reduce the probability of the accumulation of an explosive level of methane gassing in a closed room. *Key words:* natural gas, gas analyzer, explosive level of gassing, block diagram of the device, Proteus.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з усе більш широким застосуванням природного газу в різних сферах промисловості і народного господарства загострюється необхідність повсюдного впровадження систем газової безпеки. Невід'ємною частиною таких систем є газові датчики, тобто пристрої, що перетворюють інформацію про зміну складу газового середовища в електричний сигнал.

**Актуальність роботи.** Програма газифікації житлового фонду країни, що проводиться нині, робить виключно актуальним завдання по забезпеченню споживачів сучасною і надійною сигналізацією, що інформує про появу газу в закритих приміщеннях. Тільки забезпечення постійного надійного моніторингу стану атмосфери в приміщеннях, у тому числі використовуваних в системі ЖКГ, дозволить

запобігти руйнівним вибухам і людським жертвам. Прилади на основі напівпровідникових газових сенсорів є одним з найбільш недорогих і ефективних інструментів для діагностики стану доквілля. Датчики такого типу знайшли широке застосування при контролі газового складу повітря.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У всьому світі спостерігається підвищений інтерес до розробки недорогих, економічних і надійних газосигналізаторів. Це обумовлено тим, що є гостра потреба в застосуванні таких пристроїв в різних галузях промисловості і народного господарства. Запобігання аварійним ситуаціям і вибухам, що призводять до знищення матеріальних цінностей і людських жертв, дає значний економічний ефект, як зазначено в ряді патентів: «Пристрій для контролю концентрації небезпечних газів» (Дикарев В. І., Шубарев В.А., Мельников В.А.), «Пристрій для пошуку витоків газу» Михєєв Е.Н., Іванніков Н.М.) [1; 2]. Аналізуючи особливості різних газоаналізаторів та приладів сигналізації витоків газу, були визначені головні задачі на проектування.

**Новизна.** Авторами розроблено комплексну систему безперервного моніторингу газової середовища і створення відповідного програмного забезпечення для управління процесом виміру і реєстрації вимірюваних значень, а також представлення цих результатів в зручному для користувача виді.

#### Методологічне або загальнонаукове значення.

Створення недорогої, економічної та надійної системи автоматичного контролю та сигналізації загазованості замкненого приміщення, а також запобігання накопичення вибухонебезпечної концентрації

природного газу, що є потенційно небезпечним для здоров'я людини і несе за собою масштабну руйнацію будівель.

#### Виклад основного матеріалу.

##### Розробка функціональної блок-схеми

Відповідно до поставленої задачі розроблена структурна схема (рис.1), яка відповідає радіальній схемі побудови мікропроцесорних приладів.

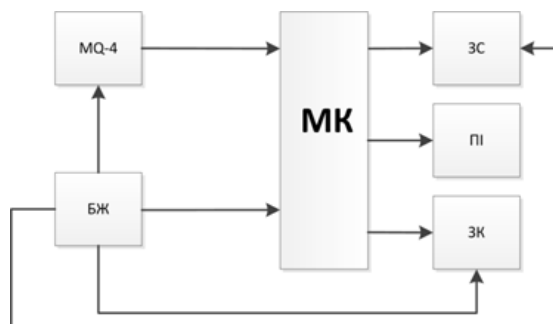


Рис. 1. Структурна схема системи керування СКВ

Система складається з наступних функціональних блоків: МК – мікроконтролер; MQ-4 – датчик газу; ПІ – пристрій індикації; ЗС – звуковий сигналізатор; ЗК – запірний клапан; БЖ – блок живлення.

**Опис блок-схеми.** Основним керуючим елементом схеми є мікроконтролер (МК). У його пам'яті записана керуюча програма, згідно з якою він через певні проміжки часу опитує датчик газу MQ-4. В залежності від отриманих даних з датчика метану, МК посилає команди до виконавчих пристроїв: пристрій індикації, звуковий сигналізатор чи запірний клапан.

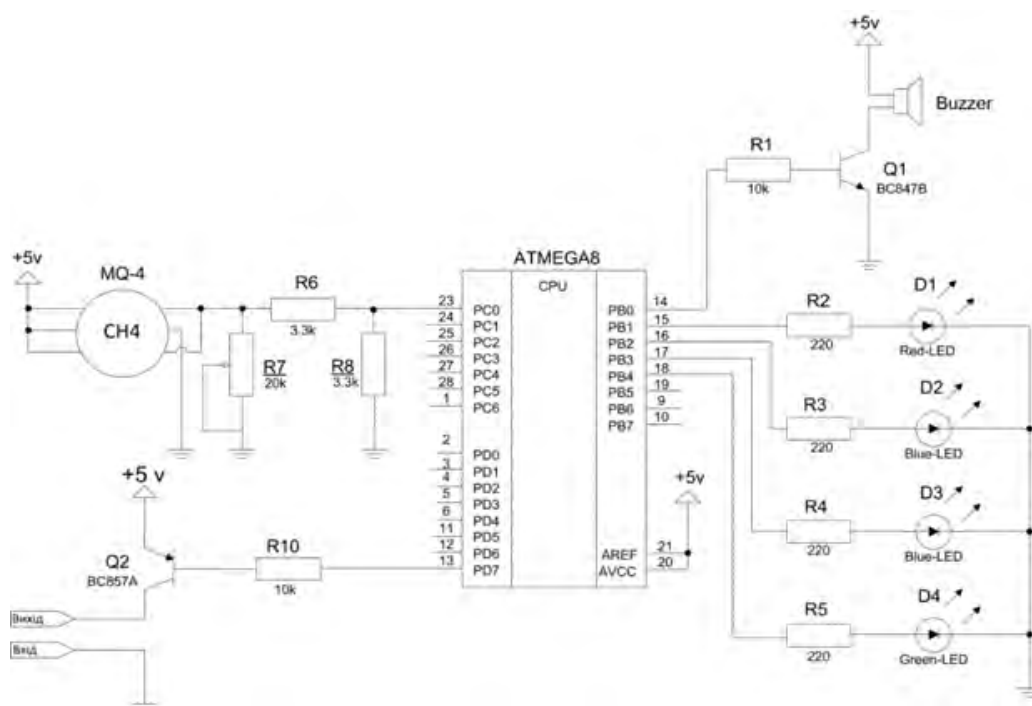


Рис. 2. Електрична принципова схема

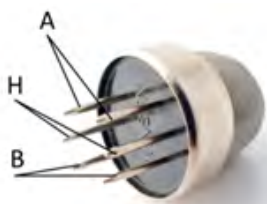


Рис. 3. Позначення виводів датчик концентрації метану: H-H – виводи нагрівача (підводиться напруга 5 В), А-А і В-В – електроди

MQ-4 – напівпровідниковий газоаналізатор, що миттєво реагує на присутність метану у навколишньому середовищі. Відправляє інформацію про рівень загазованості навколишнього середовища у вигляді аналогового сигналу на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) мікроконтролера. АЦП перетворює її в цифровий сигнал, для подальшої обробки мікроконтролером, який в свою чергу аналізує її та виконує встановленні програмою команди.

Пристрій індикації (ІП) – пристрій, який призначений для відображення поточних значень рівня загазованості навколишнього середовища, що представлений у вигляді світіння тих чи інших світлодіодів.

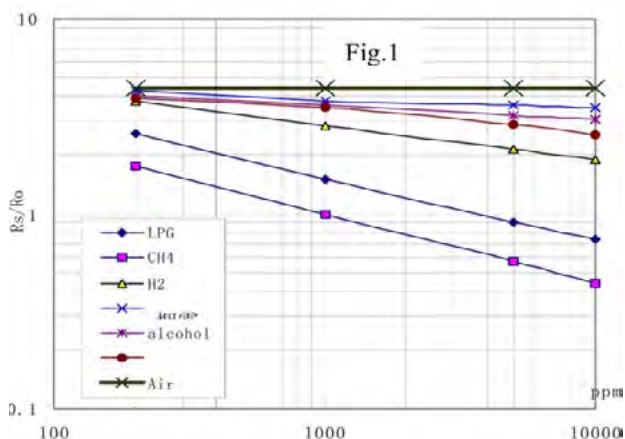


Рис. 5. Залежність провідності від концентрації різних газів

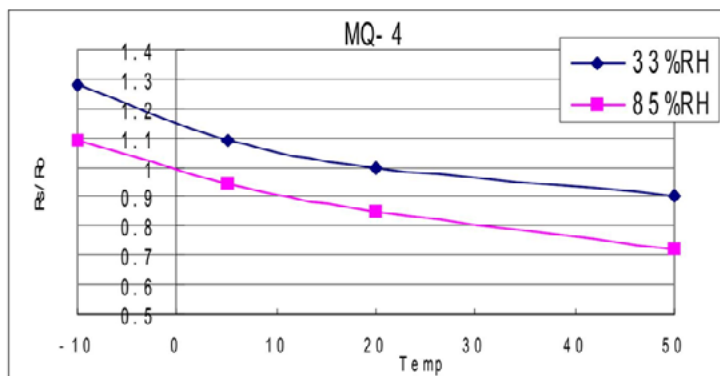


Рис. 6. Залежність провідності датчика від вологості та температури

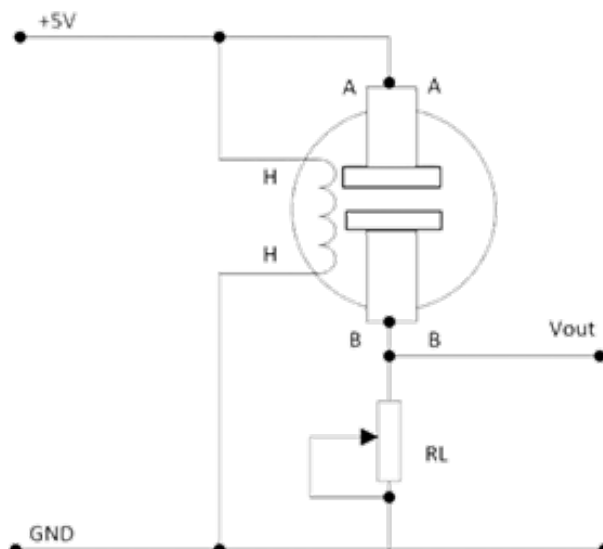


Рис. 4. Схема підключення датчика

Звуковий сигналізатор – пристрій призначений для звукового оповіщення наявності критичної норми природного газу в повітрі. Керується за допомогою МК, який при необхідності подає напругу на активний динамік, що призводить його в робочий стан.

Запірний клапан – електромагнітний клапан, що закриває потік газу у газопроводі, для запобігання виникнення вибухонебезпечної концентрації газу. Керується за допомогою МК, який подає електричний сигнал на електромагнітний клапан.

Блок живлення – подає необхідне живлення до звукового сигналізатора, газоаналізатора MQ-4 та МК, що в свою чергу живить пристрій індикації та керує запірним клапаном.

**Розробка електричної принципової схеми.** В даній роботі розробляється автоматизований, побутовий газосигналізатор безперервної дії. Враховуючи вище наведену інформацію, недоліки та переваги існуючих газосигналізаторів, розроблено принципову електричну схему [3] приладу моніторингу та індикації вмісту природного газу в закритому приміщенні (рис. 2).

**Датчик концентрації природного газу MQ-4.**

Для підключення датчика є 6 виводів, 4 з яких дублюють один одного. Тому для підключення використовується всього 4 виводи (рис. 3).

Резистором RL настраюється чутливість датчика. Рекомендується ставити в діапазоні 10к. Чутливість датчика складає від 200 до 10000 ppm [3].

У документації на MQ – 4 приведений графік (Рис. 5), по якому видно, що окрім метану, датчик дуже добре реагує на пропан (LPG), і у меншій мірі на газоподібний водень, чадний газ і пари алкоголю. Провідність напівпровідникового сенсора значно залежить від вологості і температури навколишнього середовища (Рис. 6).

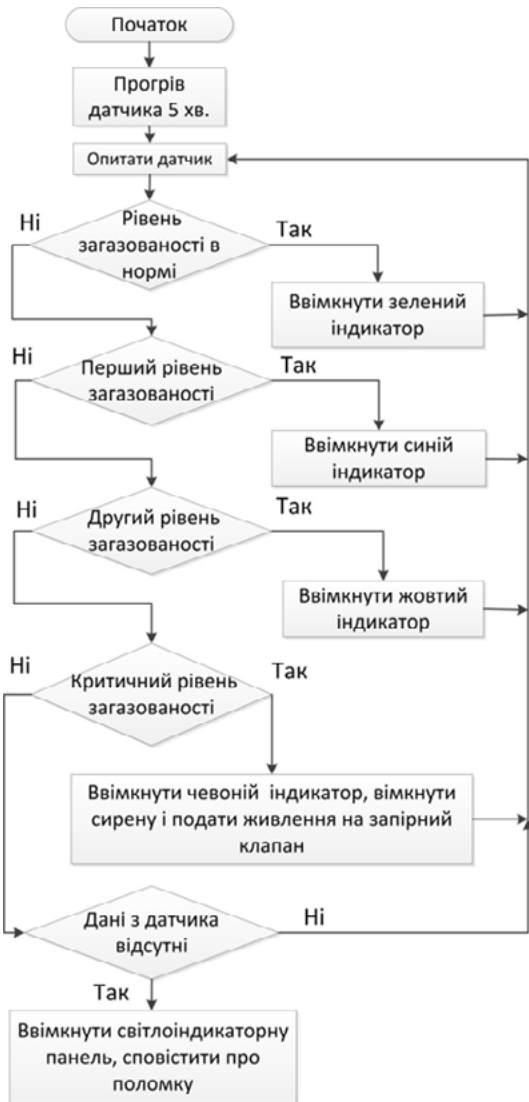


Рис. 7. Блок-схема роботи приладу

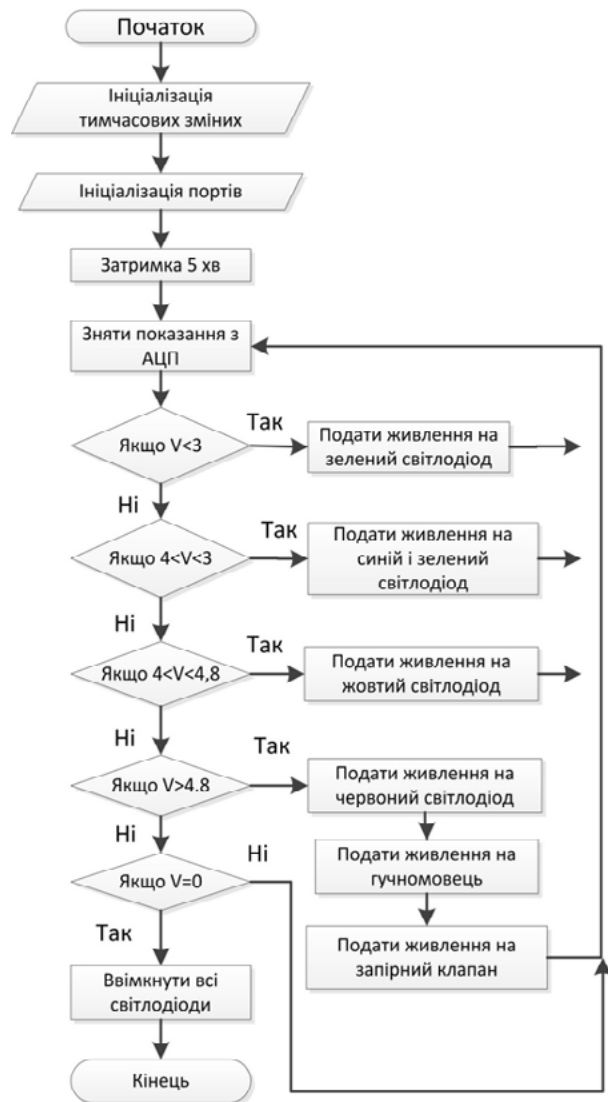


Рис. 8. Блок-схема роботи приладу

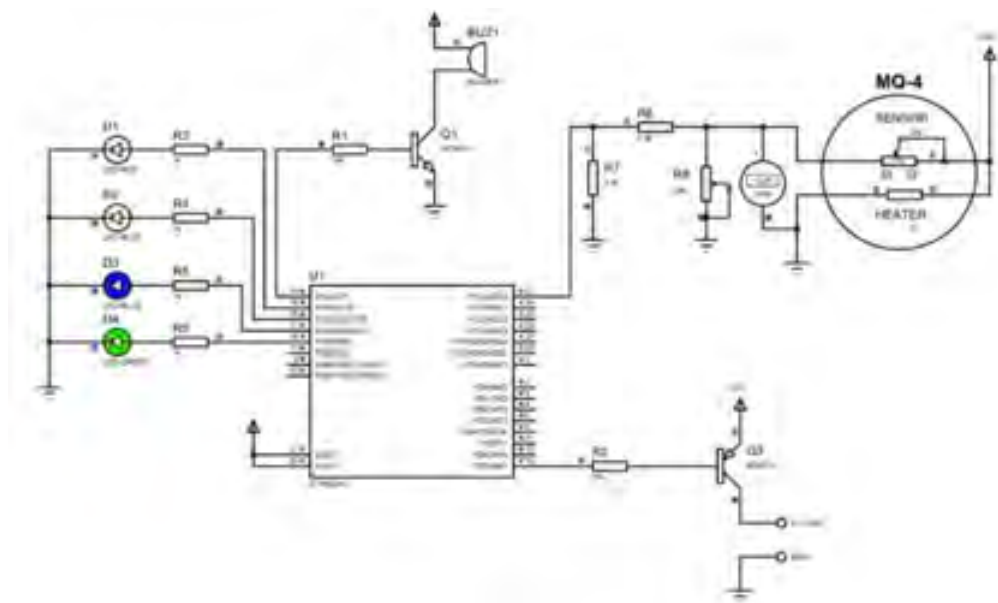


Рис. 9. Перший рівень загазованості

**Блок-схема роботи приладу.** За поставленим завданням на проектуванні розроблено блок-схему роботи приладу (рис. 8), що повністю задовольняє вище поставленні вимоги.

**Блок-схема роботи програми.** За поставленим завданням на проектуванні розроблено відповідне програмне забезпечення, що буде керувати роботою пристрою. Блок-схема роботи програми представлена на рис. 8.

**Моделювання роботи приладу.** Для перевірки роботи приладу скористаємось системою автомати-

зованого проектування Proteus. Складаємо експериментальну модель розробленої електричної схми та запускаємо процес симулювання. Змінюючи значення опору змінного резистора MQ-4, тим самим ми симулюємо зміну концентрації метану в навколишньому середовищі (Рис. 9–11).

**Головні висновки.** У результаті виконання роботи вирішена важлива науково-прикладна проблема безперервного, надійного та економічного методу сигналізування витoku побутового газу в житлових приміщеннях.

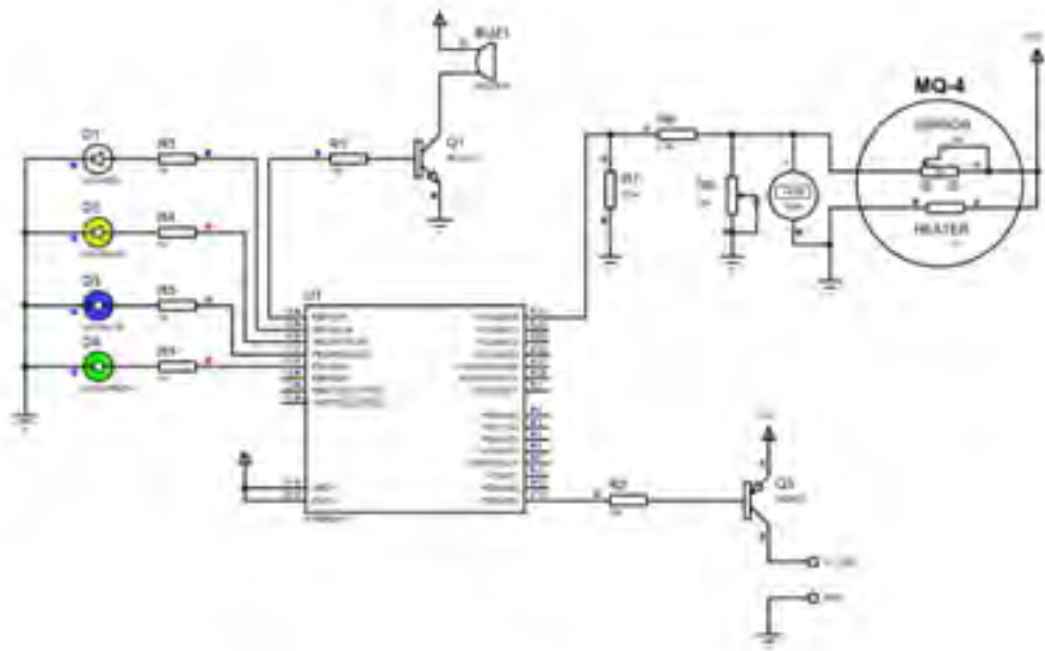


Рис. 10. Другий рівень загазованості

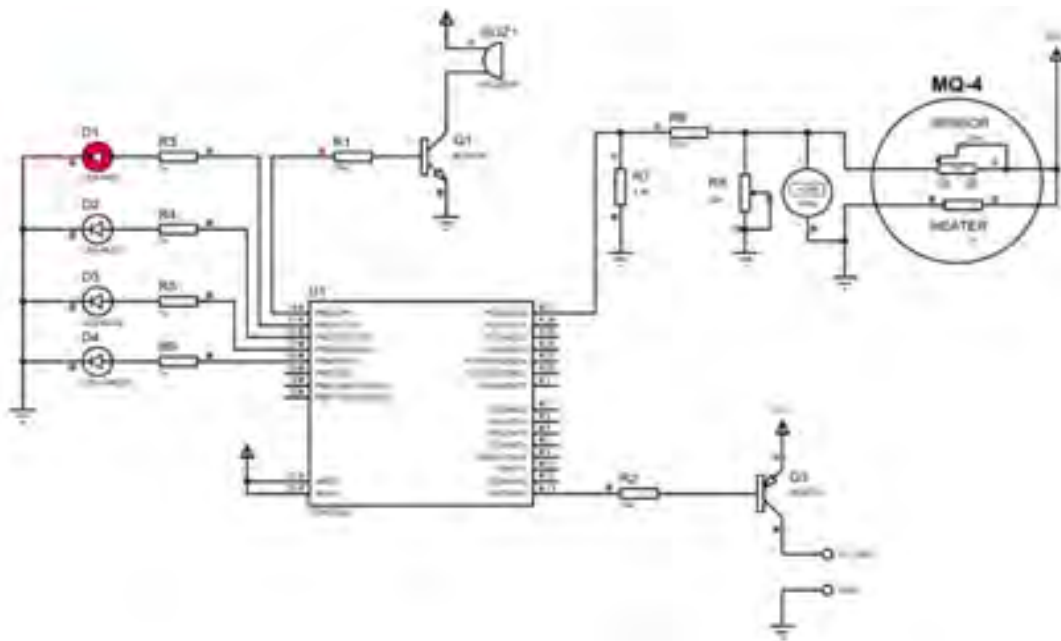


Рис. 11. Критичний рівень загазованості



Основні результати роботи полягають у тому, що:

1. Розроблено систему світлоіндикації присутності та рівня концентрації природного газу в навколишньому середовищі, що інформує користувача про проблему витоку природного газу в зручному для сприйняття вигляді.

2. Розроблено програмне забезпечення, що повністю керує приладом в цілому, відповідно до поставлених задач на проектування. Додана функція самоперевірки, яка сповістить користувача про

відсутність зв'язку з газоаналізатором, що підвищує надійність приладу, та зменшує вірогідність накопичення вибухонебезпечного рівня загазованості метаном замкненого приміщення.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Використання при розробці власного приладу нових технологій у галузі комунікацій і висока швидкість аналізу даних дозволять створювати прилади, що зменшують вірогідність накопичення вибухонебезпечного рівня загазованості метаном замкненого приміщення.

#### Література

1. Пристрій для контролю концентрації небезпечних газів : пат. 2411511 МПК G01N27/12, G01W1/00 : заявл: 5.02.2010 ; опубл. 10.02.2011.
2. Пристрій для пошуку витоків газу : пат. 2441511 МПК G01N27/12 : заявл: 16.03.1998 ; опубл. 10.06.1999.
3. Масловська Л. Ц., Савчук В. А. Оцінка результативності і ефективності виробництва органічної агропродовольчої продукції. *Агросвіт*. 2016. № 6. С. 23–28.
4. Зверев В. А., Меткин Н. П., Манвелова Н. Е. Безопасность газопользования в жилых домах. *Электроника*. 2009. № 8.
5. Крайнюкова А. М. Біотестування – метод оцінки токсичних властивостей компонентів природного середовища та джерел їх забруднення. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. Харьков : Райдер, 2006. С. 15–33.

---

# ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

---

УДК 630.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.17>

## ТИПОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЛІСІВ КРЕМЕНЕЦЬКОГО РАЙОНУ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Бондар О.Б.

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка  
вул. Ліцейна, 1, 47003, м. Кременець  
olexandr.bondar91@gmail.com

У статті наведені результати аналізу типологічної, видової та лісівничо-таксаційної структури насаджень експлуатаційних лісів на території Кременецького району Тернопільської області. Так, загальна площа цих лісів сягає 16263,8 га.

Аналіз типологічної структури лісів здійснювали відповідно до лісівничо-екологічної (української) школи Алексєєва-Погребняка.

Типологічна структура експлуатаційних лісів Кременецького району представлена від сухих борів до мокрих грудів. Так, домінують наступні типи лісорослинних умов: свіжий груд (44,4% від загальної площі вкритих лісовою рослинністю земель) та свіжий субір (20,6%). Частка свіжого субору (14,91%) та волого сугруду (12,04%) є дещо меншою. Частка інших типів лісорослинних умов є дещо меншою (5,02%).

У експлуатаційних лісах Кременецького району лісовпорядниками виділено 19 типів лісу. Так, переважають три типи лісу: свіжа грабова діброва (47,4%), свіжий дубово-сосновий субір (20,6%), свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (14,8%).

Видове різноманіття експлуатаційних лісів представлено 23 види дерев. Так, найбільш поширеними є сосна звичайна (36,5%) та дуб звичайний (34,8%).

Вікова структура експлуатаційних лісів Кременецького району є розбалансованою. Так, переважають середньовікові насадження – 44,9%. Частка молодняків (24,6%), пристигаючих (16,9%) і стиглих (11,5%) насаджень є дещо меншою.

У експлуатаційних лісах Кременецького району домінують високобонітетні насадження. Так, переважають насадження І (43,8%), ІА (26,7%) та ІІ (18,6%) класи бонітету.

У експлуатаційних лісах Кременецького району домінують переважають насадження з відносною повнотою 0,71–0,8 (34,9% від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель), 0,61–0,7 (23,4%) і 0,81–0,9 (21,4%). Результати типологічної структури експлуатаційних лісів Кременецького району Тернопільської області можна бути використати під час ведення лісового господарства, а також в освітньому процесі. *Ключові слова:* вид, дерева, тип лісу, дуб звичайний, сосна звичайна, клас бонітету, відносна повнота, Кременецький район, Тернопільська область.

### **Typological structure of exploitation forests in Kremenets district, Ternopil region. Bondar O.**

The article presents results of analysis of typological, species and forestry-taxation structure of plantations of exploitation forests in Kremenets district, Ternopil region. Thus, the total area of these forests reaches 16,263.8 hectares.

The analysis of typological structure of forests was carried out in accordance with forestry and ecological (Ukrainian) school of Alekseev-Pogrebniak.

The typological structure of exploitation forests in Kremenets district is presented from dry borons to spruce forest types. Thus, the following types of forest vegetation conditions dominate: fresh forest (44.4% of total area of land covered with forest vegetation) and fresh pine forest types (20.6%). The share of fresh pine forest types (14.91%) and wet hardwood types (12.04%) is somewhat smaller. The share of other types of forest vegetation conditions is somewhat smaller (5.02%).

In the exploitation forests of Kremenets district, forest managers have allocated 19 types of forests. Thus, three types of forests prevail: fresh hornbeam forests (47.4%), fresh oak-pine forest types (20.6%), fresh hornbeam-oak-pine hardwood types (14.8%).

Species diversity of exploitation forests is represented by 23 species of trees. So, the most common are common pine (36.5%) and common oak (34.8%).

The age structure of exploitation forests in Kremenets district is unbalanced. Thus, medieval plantations prevail – 44.9%. The share of young (24.6%), arriving (16.9%) and mature (11.5%) plantations is somewhat smaller.

High quality plantations dominate in the exploitation forests of Kremenets district. Thus, plantations I (43.8%), IA (26.7%) and II (18.6%) predominate.

Plantations with relative completeness of 0.71–0.8 (34.9% of the total area covered by forest vegetation), 0.61–0.7 (23.4%) and 0.81–0.9 (21.4%) dominate in the exploitation forests of Kremenets district. The results of typological structure of the exploitation forests in Kremenets district, Ternopil region can be used during forestry management, as well as in educational process. *Key words:* species, trees, forest type, *Quercus L.*, *Pinus L.*, quality class, relative completeness, Kremenets district, Ternopil region.

**Постановка проблеми.** Під час поділу лісів на відповідні категорії встановлюються межі лісових ділянок кожної категорії. Межі лісових ділянок, визначених для віднесення до однієї з категорій, проводяться по природних межах, кварталних просіках, лініях зв'язку і електромереж та інших чітко визначених на місцевості розмежувальних лініях [5].

До категорії експлуатаційних лісів відносяться лісові ділянки, що не зайняті лісами природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення, рекреаційно-оздоровчими та захисними лісами. Встановлення меж лісових ділянок, віднесених до відповідних категорій лісів [6].

Експлуатаційні ліси – це категорія лісів, яка задовольняє народне господарство високоякісною деревиною, а також іншими лісовими ресурсами або продуктами їхньої переробки [7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивченням типологічної, видової та лісівничо-таксаційної структури насаджень присвячено велика кількість публікацій наступних вчених: Остапенко Б.Ф., Ткач В.П. [4], Ткач В.П. [6], Бондар О.Б., Цицюра Н.І. [1] та багатьох інших дослідників. У наведених вище наукових роботах охарактеризовано та проаналізована типологічна структура деревостанів (поділ лісового фонду за типами лісу, породним складом, типами умов місцезростаннями та продуктивністю), що можна використати під час ведення лісового господарства на водозбірно-ландшафтних принципах, а також збереження біорізноманіття.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У цій статті наведена інформація щодо типологічної структури експлуатаційних лісів Кременецького району Тернопільської області. Так, проаналізовано видове різноманіття, типологічну структуру, вікову структуру експлуатаційних лісів Кременецького району Тернопільської області.

**Науково новизною** є те, що вперше здійснено аналіз типологічної, видової, лісівничо-таксаційної структури експлуатаційних лісів Кременецького району.

**Матеріали та методи досліджень.** Для дослідження типологічної, видової та лісівничо-таксаційної структури насаджень використовували матеріали

повідільної бази даних ВО «Укрдержліспроєкт» станом на 01.01.2016. Загалом дана база представлена 34452 виділами. Повидільну базу даних ВО «Укрдержліспроєкт» конвертували з формату «.vff» у формат «.mdb» програмного продукту MS Access за допомогою програми NewUnPackОНОТА, здійснювали за допомогою розробленої програми УкрНДІЛГА ім. Г.М. Висоцького. Вибірку даних, необхідних для подальших розрахунків, експортували у формат «.xls» програми Microsoft Excel [3].

Аналіз типологічної, видової та лісівничо-таксаційної структури насаджень здійснювали згідно методичних положень лісівничо-екологічної школи лісової типології [4].

**Результати та обговорення.** Загальна площа експлуатаційних лісів Кременецького району становить 16263,8 га. Характер зосередження лісів на території дослідного регіону є різними. Так, в значні ділянки лісу розташовані на півночі та заході Кременецького району, а на сході та півдні – найменше [2].

Розподіл площ експлуатаційних лісів Кременецького району за типами лісорослинних умов є доволі різноманітними. Так, переважає свіжий груд (44,4% від загальної площі вкритих лісовою рослинністю земель) та свіжий субір (20,63%). Частка свіжого субору (14,91%) та волого сугруду (12,04%) є дещо меншою. Частка інших типів (табл. 1) лісорослинних умов становить – 5,02%.

Типологічна структура насаджень Кременецького району складається з 19 типів лісу. Так, домінують наступні типи лісу: свіжа грабова діброва (47,4%, від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель), свіжий дубово-сосновий субір (20,6%), свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (14,8%).

Частка мокрої грабово-дубово-сосновий сугруду, мокрої грабово-соснової судіброви колива від 5,6 до 6,4% від загальної площі лісу (рис. 1).

Розподіл площ за кількістю видів дерев є різноманітним (рис. 2). Загалом на території Кременецького району в експлуатаційних насадженнях росте 23 види дерев. Так, найбільш поширеними є сосна звичайна (36,5%) та дуб звичайний (34,8%). Частка ясеня звичайного, дуба червоного і берези повислої та ялини європейської варіює від 3,1 до 6,5 від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель. Частка інших 14 видів дерев становить лише 5,1%.

Таблиця 1

Розподіл площ насаджень за типами лісорослинних умов

Гігروتони	Трофотони				Всього
	A	B	C	D	
1	0,01	-	0,08	-	0,09
2	0,26	20,63	14,91	47,40	83,20
3	0,01	0,89	12,04	2,19	15,13
4	-	-	1,55	0,02	1,57
5	-	-	-	0,01	0,01
Сума	0,27	21,52	28,58	49,62	100,00

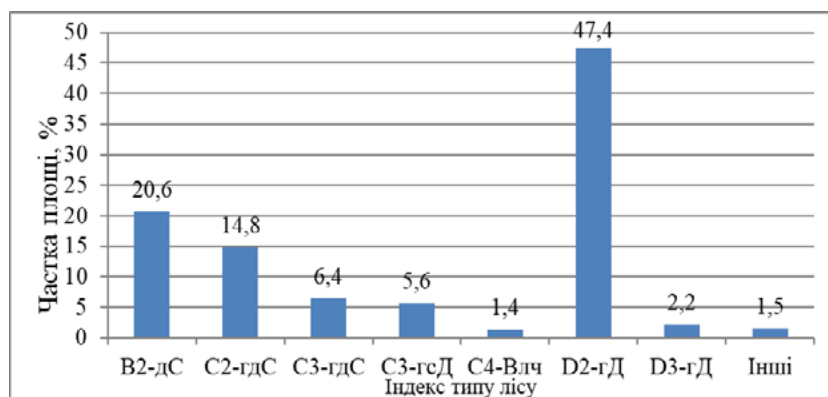


Рис. 1. Розподіл площ насаджень за типами лісу

Таблиця 2  
Розподіл площ насаджень за видами дерев

Вид дерев	Площа	
	га	%
Береза повисла	580	3,6
Берест	16,4	0,1
Вільха чорна	243,5	1,5
Граб звичайний	1057,7	6,5
<b>Дуб звичайний</b>	<b>5662,6</b>	<b>34,8</b>
Дуб червоний	666,9	4,1
Клен гостролистий	159,2	1,0
Модрина європейська	161,2	1,0
Тополя тремтяча	10,2	0,1
<b>Сосна звичайна</b>	<b>5944</b>	<b>36,5</b>
Клен ясенolistий	122,2	0,8
Ялина європейська	505,5	3,1
Ясен звичайний	1025,3	6,3
Інші	109,1	0,7
Загальний підсумок	16263,8	100,0

Вікова структура експлуатаційних лісів є розбалансованою. Лісовпорядники виділяють наступні групи віку: молодняки, середньовікові, пристигаючі, стиглі, перестійні. Так, домінують середньовікові насадження – 44,9% від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель. Частка молодняків (24,6%), пристигаючих (16,9%) і стиглих (11,5%) насаджень є дещо меншою (табл. 3).

Таблиця 3  
Розподіл площ насаджень за групами віку

Групи віку	Площа	
	га	%
Молодняки	4003,7	24,6
Середньовікові	7295,9	44,9
Пристигаючі	2747,9	16,9
Стиглі	1865,7	11,5
Перестійні	350,6	2,2
Сума	16263,8	100,0

Розподіл площ експлуатаційних насаджень за класами бонітету є різноманітною (табл. 4).

Лісовпорядники виділяють наступні класи віку: I<sup>b</sup> і вище, I<sup>A</sup>, I, II, III, IV, V. Так, переважають такі насадження I (43,8% від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель), I<sup>A</sup> (26,7%) та II (18,6%) класи бонітету.

Таблиця 4  
Розподіл насаджень за класами бонітету

Клас бонітету	Площа	
	га	%
I <sup>b</sup> і вище	944,2	5,8
<b>I<sup>A</sup></b>	<b>4350,1</b>	<b>26,7</b>
<b>I</b>	<b>7129,4</b>	<b>43,8</b>
<b>II</b>	<b>3024,3</b>	<b>18,6</b>
III	748,9	4,6
IV	53,5	0,3
V	13,4	0,1
Всього	16263,8	100,0

Площа деревостанів I<sup>b</sup> і III класів бонітету коливається від 4,6 до 5,8% від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель. Загальна сума інших класів бонітету (IV, V) сягає 0,4%.

Розподіл площ експлуатаційних насаджень за відносною повнотою є доволі різноманітною (табл. 5). Так, переважають насадження з відносною повнотою 0,71–0,8 (34,9% від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель), 0,61–0,7 (23,4%) і 0,81–0,9 (21,4%).

Таблиця 5  
Розподіл насаджень за відносною повнотою

0,1–0,2	1252,5	7,7
0,21–0,3	184,2	1,1
0,31–0,4	78	0,5
0,41–0,5	153,8	0,9
0,51–0,6	1110,8	6,8
0,61–0,7	3812	23,4
0,71–0,8	5682,9	34,9
0,81–0,9	3478,3	21,4
0,91–1,0	511,3	3,1
Усього	16263,8	100,0

Частка площ від 0,1–0,2 до 0,51–0,6 та 0,91–1,0 варіює від 0,5 до 7,7% відповідно.

**Висновки.** Типологічна структура експлуатаційних лісів Кременецького району Тернопільської області представлена 19 типів лісу. Так, домінують наступні типи лісу: свіжа грабова діброва (47,4%), свіжий дубово-сосновий субір (20,6%), свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (14,8%).

Видове різноманіття деревостанів представлено 23 видами дерев. Так, серед них домінують сосна звичайна (36,5%) та дуб звичайний (34,8%). Переважають насадження: середньовікові (44,9%),

молодняки (24,6%) та пристигаючі (16,9%) групи віку, а також домінують високобонітетні (76,3%) і середньо (58,4%) і високоповнотні (24,5%) деревостани. Типологічна, видова та лісівничо-таксаційна структура експлуатаційних лісів дуже сприятлива, для вирощування високопродуктивних соснових і дубових деревостанів.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати типологічної структури деревостанів Кременецького району Тернопільської області можна бути використати під час ведення лісового господарства, а також в освітньому процесі.

### Література

1. Бондар О.Б., Ткач Л.І. Типологічне різноманіття лісів на водозборах річок Лівобережного Лісостепу України. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions : Collective monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing". 2020. С. 18–35.
2. Бондар О.Б. Цицюра Н.І. Типологічна структура насаджень лісового заказника «Суразька дача». *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2022. Вип. 3(99). С. 3–14. <https://doi.org/10.31713/vs320221>
3. Ведмідь М.М., Мешкова В.Л., Жежкун А.М. Алгоритм для виявлення земель малоцінних молодняків у дібровах за матеріалами лісовпорядкування. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2006. Вип. 110. С. 54–59.
4. Остапенко Б.Ф., Ткач В.П. Лісова типологія: навчальний посібник. Харків, 2002. 204 с.
5. Порядок поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок. Постанова Кабінету Міністрів України № 733 від 16 травня 2007 р. 12 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/733-2007-%D0%BF#Text> (дата звернення 16.02.2022).
6. Ткач В.П. Заплавні ліси України. Харків : Право, 1999. 368 с.
7. Hornung Roman, Boulesteix Anne-Laure, Interaction forests: Identifying and exploiting interpretable quantitative and qualitative interaction effects, *Computational Statistics & Data Analysis*, 171, 2022, 107460, <https://doi.org/10.1016/j.csda.2022.107460>.

---

# ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

---

УДК 636.574: 582.32 502.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.18>

## МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В ІНДИКАЦІЇ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Бессонова В.П., Чонгова А.С.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
вул. С. Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро  
a-chongova@ukr.net

У статті висвітлено результати дослідження морфометричних показників деревних рослин, що зростають в умовах техногенного забруднення та виявлено найбільш інформативні показники та індикаторні види. Під час дослідження було обстежено рослини, що зростали у вуличних насадженнях м. Дніпро з різним рівнем забруднення атмосферного повітря як автомобільними так і промисловими викидами: пр. Нігояна і вул. Панікахі. У ході дослідження здійснено аналіз рівня життєвості дерев рослин за рядом морфометричних показників: приріст річних пагонів, кількість листків на них, площу листків. Встановлено, що найчутливішим до техногенного забруднення виявився ріст пагонів у *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Acer platanoides* L., *Sorbus aucuparia* L. Він пригнічується у рослин на обох дослідних ділянках з різним рівнем техногенного забруднення. Кількість листків на річному пагоні в умовах забруднення довкілля найсуттєвіше зменшується порівняно з контролем у *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Salix alba* L. в обох дослідних варіантах. Скорочення площі листків за дії техногенного забруднення найзначніша у *Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Salix alba* L., *Acer platanoides* L. Виявлено, що види рослин, у яких морфометричні показники змінюються найбільше, можуть бути використані як індикатори забруднення довкілля в урбогенних умовах зростання. Зазначено, що інтегральний показник флюктуючої асиметрії листків *Acer pseudoplatanus* L. і *Tilia cordata* Mill. вказує на більші зміни на просп. Нігояна де індекс забруднення значно вищий ніж на вул. Панікахі. Це свідчить про можливість використання цих видів рослин для біоіндикації стану довкілля з застосуванням відповідної шкали В.М. Захарова та ін. **Ключові слова:** вуличні насадження, техногенне забруднення, морфометричні показники, індикаторні види, флюктуюча асиметрія листків.

### Morphometric indicators of woody plants used for indicating of environmental pollution. Bessonova V., Chonhova A.

The article highlights the results of the study of morphometric indicators of woody plants growing in conditions of man-made pollution, and the most informative indicators and indicator species are identified. During the research, the plants growing in the street plantings of the city of Dnipro with different levels of atmospheric air pollution from both automobile and industrial emissions were examined: Nigoyan Ave. and Panikakhi Str. In the course of the study, an analysis of the level of vitality of trees and plants was carried out according to a number of morphometric indicators: the growth of annual shoots, the number of leaves on them, the area of the leaves. It was established that the growth of shoots in *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Acer platanoides* L., *Sorbus aucuparia* L. was the most sensitive to technogenic pollution. It is suppressed in plants at both experimental sites with different levels of man-made pollution. The number of leaves on an annual shoot in conditions of environmental pollution decreases most significantly compared to the control in *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Salix alba* L. in both experimental variants. Reduction of leaf area under the effects of technogenic pollution is most significant in *Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Salix alba* L., *Acer platanoides* L. It was found that the species of plants in which the morphometric indicators change the most can be used as indicators of environmental pollution in urbogenic growth conditions. It is noted that the integral index of the fluctuating asymmetry of the leaves of *Acer pseudoplatanus* L. and *Tilia cordata* Mill. indicates greater changes on the Nigoyan Ave., where the pollution index is much higher than on the Panikakhi Str. This indicates the possibility of using these types of plants for bioindication of the state of the environment using the appropriate scale of V.M. Zakharova and others. **Key words:** street plantings, man-made pollution, morphometric indicators, indicator species, fluctuating leaf asymmetry.

**Постановка проблеми і актуальність дослідження.** Урбанізація призводить до зниження якості оточуючого середовища, його екологічної нестабільності. Зелені насадження, і навіть поодинокі посадки дерев, мають значні можливості покращувати санітарно-гігієнічні показники [1–3] і надавати оточуючому середовищу більш комфортні умови життя [4–7].

Важливу роль у виконанні цих функцій відіграють вуличні насадження міст. Проте техногенне забруднення атмосферного повітря, порушення властивостей ґрунту внаслідок накопичення в них важких металів й інших токсичних речовин, а також протижелезних реагентів, що використовуються в зимовий період, створюють несприятливі умови для їх росту і розвитку [8–11].

Слід зазначити, що в містах південного сходу України у періоди з циклонічною погодою і температурною інверсією в пригрунтовому шарі повітря підвищується маса промислових і автотранспортних забруднювачів, виникає так званий «український тип смогу» [12]. Часті повітряні і ґрунтові посухи посилюють його несприятливий вплив на рослини придорожніх насаджень. Тому дослідження показників їх життєвого стану необхідні для кращого розуміння властивостей використання тих чи інших видів рослин в озелененні вулиць з різним рівнем забруднення.

**Аналіз основних джерел і публікацій.** У ряді робіт розглядається загальний життєвий стан деревних рослин у вуличних насаджень [13–16]. У цих дослідженнях надана оцінка життєвого стану рослин та охарактеризовані патологічні зміни на підставі візуальних спостережень. Проте, для порівняння життєвості рослин в різних умовах забруднення більш точним вважається морфофізіологічні показники [8; 11; 17–20]. Рівень змін біометричних параметрів вегетативних органів за дії забруднювачів і величини встановлених відхилень від контрольних значень характеризують ступінь життєздатності рослинного організму [21]. Крім того, ці показники можна використати в якості біоіндикаторів стану міського середовища [22–25]. Слід зазначити, що в різних кліматичних зонах чутливість рослин до промислових та автомобільних поллютантів буде відрізнятися. Отже, виявлення за морфометричними показниками найбільш сприйнятливих видів деревних рослин до техногенного забруднення у східно-степовому регіоні України є важливим.

**Мета** даної роботи – виявити найбільш інформативні види деревних рослин для фітоіндикації забруднення довкілля за змінами їх морфометричних показників.

**Новизна** роботи полягає в аналізі реакції великої кількості видів деревних рослин (22) на техногенне забруднення за рядом морфометричних показників, визначенні найбільш чутливих з них і встановленні індикаторних об'єктів. Отриманий список найбільш стійких рослин у вуличних насадженнях промислового міста може бути використаним в озелененні міст східно-степової лісотипологічної області України.

**Матеріали та методи.** Дослідні рослини зростали у вуличних насадженнях проспекту Нігояна і вулиці Панікахі. Просп. Нігояна знаходиться у зоні міста, де зосереджені підприємства Західної промислової групи. Це ТОВ «Ливарно-механічний завод», АТ «Дніпроважмаш», ТОВ «Дніпровський трубний завод», ПрАТ «Дніпровський металургійний завод» та ін. В оточуюче середовище вони викидають аерозолі важких металів, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, фенольні сполуки та ін. На вулиці достатньо інтенсивний рух автотранспорту – 48000 авт./добу.

Вулиця Панікахі розташована в південній частині міста на житловому масиві Тополя. У даному районі діючих промислових підприємств немає.

Інтенсивність автомобільного руху становить 21270 авт./добу.

Діагностику рівня життєвості дерев рослин здійснювали, використовуючи морфометричні показники [21]. Вивчали приріст річних пагонів, кількість листків на них, площу листків.

Для дослідження обирали дерева однієї вікової групи. Вимірювали довжину однорічних пагонів і відбирали проби листків з південно-східного боку крони з 5-ти модельних дерев на висоті 2–2,5 м від ґрунту за однакових умов освітлення. На кожному дереві вимірювали 20 пагонів. Для визначення площі листків використовували другий і третій листки від основи однорічного пагона (всього 100 листків). Площу листків визначали ваговим методом. Для розрахунку показника флуктуючої асиметрії використовували листки липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.) та клена гостролистого (*Acer platanoides* L.) за методикою описаною Н. Г. Кряжевою та ін. (1996) [26]. Відбір проб здійснювали за прописом [27]. Результати статистично опрацьовані.

**Виклад основного матеріалу.** Такий екологічний чинник, як забруднення довкілля повітряними поллютантами, впливає на ростові процеси пагонів дерев (табл. 1). На просп. Нігояна, що розташований поблизу західної промислової зони, однорічні пагони деревних рослин *Acer negundo*, *Acer pseudoplatanus*, *Populus pyramidalis*, *Populus nigra*, *Salix alba*, *T. cordata* коротші стосовно контрольних рослин в межах близько 20 %. Найсуттєвіше гальмування росту пагонів (більше ніж на 30 %) встановлено у *T. cordata*, *Aesculus hippocastanum*, *Catalpa bignonioides*, *Betula pendula*, *Acer platanoides*, *Sorbus aucuparia*. У цих же видів дерев спостерігається пригнічення росту пагонів і в умовах меншого забруднення (вул. Панікахі), але не так значно.

У ряду видів рослин на вул. Панікахі довжина однорічних пагонів статистично не відрізняється від контрольних показників, але у дерев на просп. Нігояна вони були коротші ніж у відносно чистій зоні (*A. negundo*, *Picea pungens*, *P. nigra*). У деяких видів дерев на досліджуваних вулицях, незважаючи на значну різницю в рівні забруднення атмосферного повітря, ступінь пригнічення росту пагонів була практично однаковою (*A. pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *P. nigra*, *Populus simonii*, *S. aucuparia*, *T. cordata*, *Ulmus scabra*, *Populus pyramidalis*).

У таких рослин як *A. altissima*, *M. alba*, *R. pseudoacacia*, *U. parvifolia*, *U. pumila* різниця у прирості пагонів у всіх варіантах недостовірна, тобто у вуличних насадженнях гальмування їх росту не відбувається.

Більшість дослідників вказують на пригнічення ростових процесів у рослин вуличних насаджень [17; 28; 29]. Проте у деяких роботах відмічається відсутність негативного впливу поллютантів і навіть стимулювальну їх дію на ріст пагонів деяких видів рослин [12; 30; 31]. Слід зазначити, що нами

Таблиця 1

## Вплив урботехногенних умов зростання на довжину пагонів деревних рослин, см

Назва рослин	Контроль	Вул. Панікахі	% до контролю	Просп. Нігояна	% до контролю
<i>Acer negundo</i> L.	17,18 ± 0,71	16,77 ± 0,52	97,62	13,35 ± 0,54*	77,70
<i>Acer platanoides</i> L.	14,11 ± 0,80	11,05 ± 0,60*	78,30	9,80 ± 0,71*	69,45
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	13,48 ± 0,42	11,47 ± 0,72*	85,10	10,59 ± 0,66*	78,55
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	18,21 ± 1,08	15,33 ± 0,71*	89,18	12,28 ± 0,51*	67,43
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	35,14 ± 1,15	36,18 ± 0,81	102,95	33,61 ± 1,33	95,67
<i>Betula pendula</i> Roth	15,56 ± 0,75	13,10 ± 0,21*	77,76	9,96 ± 1,15*	64,01
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	20,47 ± 1,30	16,67 ± 0,65*	78,65	14,15 ± 0,70*	69,12
<i>Juglans regia</i> L.	19,31 ± 1,21	17,45 ± 1,14*	90,37	15,15 ± 1,02*	83,64
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	17,25 ± 0,62	14,51 ± 0,76*	84,12	15,40 ± 0,61*	89,32
<i>Morus alba</i> L.	30,40 ± 3,27	29,09 ± 0,78	95,70	27,19 ± 1,06*	89,44
<i>Picea pungens</i> Engelm.	12,78 ± 1,24	10,24 ± 0,72*	80,12	8,98 ± 0,67*	70,26
<i>Populus pyramidalis</i> Rozier)	23,92 ± 1,14	20,60 ± 1,26*	86,13	18,69 ± 1,27*	78,13
<i>Populus nigra</i> L.	24,34 ± 1,92	21,76 ± 1,03*	86,29	19,28 ± 0,90*	79,11
<i>Populus simonii</i> Carriere	20,40 ± 1,12	17,48 ± 0,71*	85,68	16,18 ± 1,03*	79,31
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	13,96 ± 1,31	13,70 ± 1,18	98,55	14,70 ± 0,89	105,30
<i>Salix alba</i> L.	28,46 ± 1,02	24,29 ± 0,66*	86,25	22,86 ± 0,80*	78,22
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	16,52 ± 1,14	12,55 ± 1,06*	75,95	11,52 ± 1,20*	69,71
<i>Tilia cordata</i> Mill.	14,83 ± 0,84	11,72 ± 0,67*	72,38	9,64 ± 0,64*	65,03
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	16,99 ± 0,77	13,97 ± 0,83*	82,32	12,70 ± 1,05*	74,74
<i>Ulmus scabra</i> Vill.	18,79 ± 0,54	16,26 ± 0,42*	80,54	15,67 ± 0,51*	83,29
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq	12,30 ± 0,82	12,56 ± 0,79	102,11	11,74 ± 1,02	95,44
<i>Ulmus pumila</i> L.	14,26 ± 0,96	13,42 ± 0,91*	93,38	14,70 ± 0,95	102,32

Примітка: \* різниця між контрольним і дослідним варіантами статистично достовірно при 0,05.

не виявлено статистично достовірного збільшення приросту пагонів у рослин вуличних насаджень порівняно з контролем.

Дещо в меншій мірі, ніж на приріст пагонів, урбогенні умови впливають на кількість листків на них (табл. 2). В умовах нижчого забруднення довкілля (вул. Панікахі) у багатьох видів рослин різниця в кількості листків порівняно з контрольним

варіантом статистичного недостовірна. У деяких видів дерев цей показник зменшується на величину від 11,86% у *F. excelsior*, до 16,80% у *S. alba*.

При більш суттєвому хронічному аерогенному забрудненні атмосферного повітря як автомобільними так і промисловими викидами (просп. Нігояна) у ряду видів дерев закладання листків інгібується сильніше. Пригнічення формування листків найзнач-

Таблиця 2

## Вплив урботехногенних умов зростання на кількість листків на однорічному пагоні деревних рослин, шт.

Назва рослин	Контроль	Вул. Панікахі	% до контролю	Просп. Нігояна	% до контролю
<i>Acer negundo</i> L.	8,90 ± 0,28	8,75 ± 0,31	98,31	8,49 ± 0,27	95,39
<i>Acer platanoides</i> L.	6,91 ± 0,23	6,23 ± 0,19*	90,29	4,86 ± 0,28*	70,33
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	6,32 ± 0,31	5,70 ± 0,25*	90,18	5,98 ± 0,18	94,62
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	8,35 ± 0,17	7,14 ± 0,15*	85,50	6,38 ± 0,27*	76,40
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	10,72 ± 0,42	10,80 ± 0,37	100,74	10,21 ± 0,33	95,24
<i>Betula pendula</i> Roth	10,84 ± 0,36	9,02 ± 0,21*	83,32	8,17 ± 0,22*	75,36
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	12,61 ± 0,51	11,03 ± 0,18*	87,74	9,35 ± 0,31*	74,14
<i>Juglans regia</i> L.	6,92 ± 0,31	5,81 ± 0,17*	78,39	5,15 ± 0,11*	74,44
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	7,32 ± 0,45	6,87 ± 0,47	93,59	6,47 ± 0,36*	88,14
<i>Morus alba</i> L.	12,20 ± 0,32	16,00 ± 0,54	105,26	14,64 ± 0,48	96,31
<i>Picea pungens</i> Engelm.					
<i>Populus pyramidalis</i> Rozier)	11,24 ± 0,29	11,03 ± 0,51	98,13	10,27 ± 0,36*	91,37



Продовження таблиці 2

<i>Populus nigra</i> L.	13,52± 0,44	12,72± 0,51	94,08	11,38± 0,28*	84,17
<i>Populus simonii</i> Carriere	12,15± 0,89	10,99± 0,35*	90,45	10,58± 0,41*	87,10
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	8,61 ± 0,42	9,20 ± 0,51	106,85	8,45 ± 0,63	97,79
<i>Salix alba</i> L.	14,32± 0,50	11,84± 0,28*	83,20	10,27± 0,35*	72,17
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	10,72± 0,23	8,79± 0, 21*	78,19	7,43± 0,30*	69,31
<i>Tilia cordata</i> Mill.	5,91 ± 0,30	5,01 ± 0,27*	87,81	4,00 ± 0,24*	67,68
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	6,27 ± 0,33	5,14 ± 0,19*	81,97	4,71 ± 0,28*	75,12
<i>Ulmus scabra</i> Vill.	6,53 ± 0,54	5,84 ± 0,50*	89,10	5,55 ± 0,41*	84,99
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq	8,12 ± 0,47	9,10 ± 0,61*	112,68	9,31 ± 0,48*	114,65
<i>Ulmus pumila</i> L.	7,35 ± 0,39	7,19 ± 0,45	97,82	6,92 ± 0,47	94,21

Примітка: \* різниця між контрольним і дослідним варіантами статистично достовірно при 0,05.

ніше виражено у *T. cordata* (на 32,32%), *A. platanoides* (28,67%), *S. alba* (27,83%), *C. bignonioides* (25,86%), *B. pendula* (24,64%), *A. hippocastanum* (23,60%). Проте у значній кількості порід цей вплив несуттєвий. Характерно, що спостерігається співпадіння видів рослин з найсуттєвішим негативним впливом на гальмування росту пагонів і закладання листків, хоча механізм такого впливу, можливо, не однаковий.

У процесі росту і морфогенезу елементарного пагона можна виділити три етапи. На першому в периферичній зоні конуса наростання також відбувається утворення бугорків – листкових примордіїв, які зумовлюють розвиток майбутніх метамерів пагона. На другому етапі ці бугорки – примордії розвиваються в зачатки листків, на третьому – відбувається розростання цих зачатків. Перші два етапи

протікають у період скритого росту всередині бруньки, третій – в період видимого росту [32], який завершується припиненням росту міжвузлів і листків. Процеси, що відбуваються на кожному з етапів, відносно автономні, незалежно від тих, що здійснюються на інших етапах і регулюються різними фізіологічними механізмами [33]. Закладання листків регулюється генетично.

Отже, зменшення кількості листків на однорічному пагоні ряду деревних рослин вуличних насаджень пов'язане з впливом техногенного забруднення як на перший етап морфогенезу у бруньках – утворення листкових примордіїв, так і другий: інгібування розвитку примордіїв в зачатки листків.

Листковий апарат рослин має значну екологічну адаптованість морфометричних параметрів, що про-

Таблиця 3

Вплив урботехногенних умов зростання на площу листків деревних рослин, см<sup>2</sup>

Назва рослин	Контроль	Вул. Панікахі	% до контролю	Просп. Нігояна	% до контролю
<i>Acer negundo</i> L.	154,71 ± 6,31	141,76 ± 4,77*	91,63	134,38 ± 5,61*	86,85
<i>Acer platanoides</i> L.	135,21 ± 4,30	110,45 ± 3,21*	81,46	98,70 ± 2,12*	72,55
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	104,29 ± 4,12	95,93 ± 3,25*	91,98	86,29 ± 3,33*	83,24
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	327,11 ± 5,17	301,10 ± 4,27*	92,04	261,80 ± 3,46*	80,02
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	183,31 ± 5,10	175,70 ± 4,25*	90,54	155,83 ± 4,24*	85,00
<i>Betula pendula</i> Roth	17,50 ± 1,01	13,70 ± 0,70*	78,24	12,30 ± 0,77*	70,25
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	141,13 ± 4,30	110,29 ± 2,21*	78,15	102,25 ± 4,63*	72,47
<i>Juglans regia</i> L.	332,42 ± 6,42	307,51 ± 5,70	108,10	270,67 ± 5,18*	88,02
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	150,32 ± 3,34	133,25 ± 4,25*	88,65	120,42 ± 3,67*	80,11
<i>Morus alba</i> L.	43,68 ± 1,68	40,44 ± 1,54	92,28	36,40 ± 1,41*	83,33
<i>Populus pyramidalis</i> Rozier)	30,71 ± 1,18	25,56 ± 1,14*	83,25	25,86 ± 2,27*	84,23
<i>Populus nigra</i> L.	25,40 ± 1,45	22,90 ± 1,84*	90,16	20,50 ± 1,15*	80,74
<i>Populus simonii</i> Carriere	14,92 ± 1,72	13,65 ± 1,84	93,62	12,72 ± 1,29*	85,31
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	66,70 ± 2,31	63,51 ± 2,14	95,27	60,03 ± 1,16*	90,00
<i>Salix alba</i> L.	16,78 ± 1,02	14,36 ± 0,83*	85,63	11,62 ± 0,90*	75,18
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	75,61 ± 2,50	60,17 ± 1,93*	79,58	53,59 ± 2,32*	70,89
<i>Tilia cordata</i> Mill.	30,27 ± 1,64	22,91 ± 1,71*	75,70	20,65 ± 1,87*	68,19
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	52,37 ± 2,03	43,09 ± 1,54*	84,19	39,82 ± 1,24*	76,03
<i>Ulmus scabra</i> Vill.	25,02 ± 1,12	19,10 ± 0,85*	76,34	20,05 ± 0,94*	80,13
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq	4,52 ± 0,32	4,40 ± 0,40	97,34	4,89 ± 0,38	108,18
<i>Ulmus pumila</i> L.	11,39 ± 0,45	12,41 ± 0,61	108,95	10,24 ± 0,83*	89,90

Таблиця 4

Значення інтегрального показника флуктуючої асиметрії листків *Acer pseudoplatanus* і *Tilia cordata*

Варіант	<i>Acer pseudoplatanus</i>		<i>Tilia cordata</i>	
	показник	бал	показник	бал
Контроль	0,031	I	0,022	I
Вул. Панікахі	0,044	II	0,042	II
Просп. Нігояна	0,054	IV	0,051	IV

таблиця 5

## Шкала оцінки відхилень стану організму від умовної норми за величиною інтегрального показника стабільності розвитку (Захаров и др., 2000)

Величина показника стабільності розвитку	Характеристика стабільності розвитку	Бал
<0,040	Стабільність умовної реакції	I
0,041 – 0,044	Незначне відхилення від норми	II
0,045 – 0,049	Середній рівень відхилення від норми	III
0,050 – 0,054	Значне відхилення від норми	IV
>0,054	Критичний стан	V

являється в змінах його функціональної активності [34; 35]. Загальна листкова поверхня деревних рослин, що визначає їх санітарно-гігієнічну середовищездоровчу функцію тісно пов'язана з кількістю та площею листкових пластинок. Тому дослідження впливу зміни цього показника у рослин у вуличних насадженнях становлять значний інтерес.

Як видно з табл. 3, в умовах меншого забруднення (вул. Панікахі) середня площа листків практично не змінюється у *A. pseudoplatanus*, *M. alba*, *U. pumila*, *A. negundo*, *P. nigra*, *P. simonii*, *R. pseudo-acacia*, *U. parvifolia*, *A. altissima*. Значно зменшується цей показник у *B. pendula*, *T. cordata*, *S. aucuparia*, *C. bignonioides*, *U. scabra* – більше ніж на 20% порівняно з контролем. На просп. Нігояна, де рівень забруднення більший, площа листкових пластинок зменшується суттєвіше. Найчутливіший цей показник до дії поллютантів у таких рослин як *T. platyphyllos*, *T. cordata*, *C. bignonioides*, *B. pendula* та *S. alba*. Не виявлено статистично достовірних змін площі листків у *U. pumila*, *U. parvifolia*.

Отже, досліджувані види відрізняються за ступенем зміни площі листкових пластинок порівняно з контролем в урботехногенних умовах. Ряд авторів вказує, що рослини, у яких спостерігається зменшення морфометричних показників листків можна розглядати як біоіндикатори якості оточуючого середовища [36–38].

Згідно отриманих нами результатів для фітоіндикації забруднення довкілля за зменшенням площі листків доцільно використовувати такі види деревних рослин – *B. pendula*, *S. aucuparia*, *C. bignonioides*, *A. platanoides*.

До методів фітоіндикації стану довкілля відносяться показник флуктуючої асиметрії листків [26; 39–41], яка за оптимальних умов зростання рослин є мінімальною, але за будь-якої стресової дії неспецифічно зростає. Даний метод дозволяє

оцінити сумарний вплив всього різноманіття негативних впливів на рослини Флуктуюча асиметрія використовується для оцінки стабільності розвитку рослин [42–44]. Характерно, що навіть коли за іншими показниками стан дерева оцінюється як «здоровий», зміни значень флуктуючої асиметрії вже дають змогу фіксувати патологічний стан [45].

Як показали наші дослідження з використанням тест-рослин *A. pseudoplatanus* і *T. cordata*, інтегральний показник флуктуючої асиметрії дещо більший у листків першого виду (табл. 4).

Аналіз змін величини цього показника у дослідних варіантах свідчить про порушення стабільності розвитку, більше у рослин на просп. Нігояна у Західному промисловому регіоні.

Якщо порівняти отримані нами дані зі шкалою запропонованою В.М. Захаровим зі спів., 2000) [46], можна зробити висновок, що у рослин на вул. Панікахі спостерігається незначне відхилення від норми (оцінка II бали), а на просп. Нігояна – значне (IV бали). Це узгоджується з тим, що на просп. Нігояна склалися набагато гірші умови зростання рослин внаслідок техногенного забруднення. Отже, інтегральний показник флуктуючої асиметрії може застосовуватися із використанням таких тестових об'єктів як *A. pseudoplatanus* і *T. cordata* для встановлення рівня відхилення від норми, викликаного техногенним забрудненням довкілля.

**Основні висновки.** Види деревних рослин, у яких негативний вплив техногенного забруднення на морфометричні показники вегетативних органів проявляється найбільш значно, можуть бути використані як індикатори забруднення довкілля в урбогенних умовах зростання в степовій зоні України. За комплексом даних це такі рослини – *T. cordata*, *A. hippocastanum*, *C. bignonioides*, *B. pendula*, *A. platanoides*. В умовах суттєвішого забруднення техногенними поллютантами рівень змін цих показників

більший. Інтегральний показник флюктуючої асиметрії листків *A. pseudoplatanus* і *T. cordata* відображує значнішу ступінь порушення стабільності розвитку рослин на просп. Нігояна, де рівень, забруднення на багато вищий ніж на вул. Панікахі. Отримані дані свідчать про можливість використання листків цих

рослин для біоіндикації стану довкілля з застосуванням відповідної шкали. За рядом морфометричних показників у вуличних насадженнях з різним рівнем техногенного забруднення встановлені найбільш стійкі види дерев, які можуть бути рекомендовані для озеленення промислових міст степової зони України.

### Література

1. Baumgardner D., Varela S., Escobedo F. J., Chacalo A., Ochoa C. The role of a peri-urban forest on air quality improvement in the Mexico City megalopolis. *Environmental Pollution*. 2012. 163. 174–183. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.12.016
2. Li Z., Chen D., Cai S., Che S. The ecological services of plant communities in parks for climate control and recreation-A case study in Shanghai, China. *Public library of Science One*, 2018. 13(4). e0196445. DOI: 10.1371/journal.pone.0196445
3. Jim C.Y., Chen W.Y. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Economics and Management*. 2008. 88(4). 665–676. DOI:10.1016/j.jenvman.2007.03.035
4. Stratu A., Costica N., Costica M. Wooden species in the urban green areas and their role in improving the quality of the environment. *Present Environment and Sustainable Development*. 2016. 10 (2). 173–184. DOI:10.1515/pesd-2016-0035
5. Nowak David J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. 29. 201–224. DOI:10.1016/j.ufug.2017.10.019
6. Salmond J.A., Tadaki M., Vardoulakis S., Arbutnott K., Coutts A., Demuzere M., Dirks K.N., Heaviside C., Lim S., Macintyre H., McInnes R. N., Wheeler B. W. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*. 2016. 15 (Suppl 1). 36. DOI: 10.1186/s12940-016-0103-6
7. Бессонова В.П. Эффективность осаждения пылевых частиц листьями древесных и кустарниковых растений *Вопросы защиты природной среды и охрана труда*. 1993. Дніпропетровськ: Видавництво ДГУ, 34–37.
8. Gostin I. Air pollution effects on the leaf structure of some fabaceae species. *Notulae botanicae horti agrobotanici cluj-napoca*. 2009. 37(2). DOI:10.15835/nbha3723078
9. Leghari S.K., Zaidi M.A. Effect of air pollution on the leaf morphology of common plant species of Quetta city. *Pakistan Journal of Botany*. 2013. 45. 447–454.
10. Krishnamurthy R., Babu Ramesh, Anbazhagan M., Banerjee G. and Bhagwat K.A. Physiological studies on the levels of some avenue trees, exposed to chronic low levels of air pollutants. *The Indian Forester*, 1986. 112. 503–511.
11. Sen A., Khan I., Kundu D., Das K., Datta J. K. Ecophysiological evaluation of tree species for biomonitoring of air quality and identification of air pollution-tolerant species. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. 189(6). 262. DOI: 10.1007/s10661-017-5955-x
12. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. Киев: Наукова думка, 1978. 247 с.
13. Разинкова А.К., Перельгина Е.Н. Видовое разнообразие и патологическое состояние уличных придорожных посадок. *Лесотехнический журнал*. 2016. 2. С. 36–46. DOI: 10.12737/19952
14. Токарь О.Е. Оценка жизненного состояния древесных растений в зеленых насаждениях города Ишима. *Самарский научный вестник*. 2020. Т. 9, № 3. С. 142–147. DOI: 10.17816/snv202093123.
15. Бедарева О.М., Бедарев В.С., Калинина Е.А., Мурачева Л.С., Троян Т.Н., Матюха А.В., Пашкова В.В. Устойчивость древесных насаждений в условиях транзитных зон города Калининграда *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2016. 40. С. 121–131.
16. Бессонова В.П., Иванченко О.С. Оцінка видового різноманіття та життєвого стану придорожніх насаджень пр. С. Нігояна м. Дніпро. *Питання біоіндикації та екології*. 2019. Вип. 24. № 1. С. 36–56. DOI: 10.26661/2312-2056/2019-24/1-03
17. Луцишин, О.Г., Радченко, В.Г., Палапа, Н.В., Яворовський, П.П. Морфофізіологічна оцінка стану ростових процесів деревних рослин Київського мегаполісу за умов техногенного забруднення довкілля. *Доповіді Національної академії наук України*. 2010. № 7. С. 188–195.
18. Popek R., Przybysz A., Gawrońska H., Klamkowski K., Gawroński, S. W. Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus of roadside woody plants growing in the urban conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. 163. 56–62. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.07.051
19. Rai P.K. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. 129. 120–136. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.03.012
20. Bessonova V.P., Chongova A.S., Sklyarenko A.V. Influence of multicomponent contamination on the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants commonly planted for greening of cities. *Biosystems Diversity*, 2020. 28(2). 203–208. DOI:10.15421/012026
21. Ерохина В.И., Жеребцова Г.П., Вольфтруб Т.И., Покалов О.Н., Шурова Г.В. Озеленение населенных мест. Справочник. Москва : Стройиздат, 1987. 480 с.
22. Bessonova V.P., Ivanchenko O.E. Free radical oxidation and proline content as indicators of urban tree vitality (the case of Dnipro city parks, Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*, 2017. 7 (3). 146–153.
23. Иванченко О.С., Бессонова В.П. Індикація стану деревних рослин парків м. Дніпропетровськ за морфофізіологічними показниками. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*. 2016. 24(1). 109–118. DOI: 10.15421/011613
24. Petrova S., Yurukova L., Velcheva I. Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area (Plovdiv, Bulgaria). *Atmospheric Pollution Research*. 2014. 5 (2). 196–202. DOI: 10.5094/APR.2014.024
25. Kurteva M., Stamelieva L. *Acer pseudoplatanus* L. and *Betula pendula* Roth as bioindicators of urban pollution in Sofia. *Sitva Balcanica*. 2007. 8. 1. 32–46.

26. Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Захаров В.М. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения. *Экология*. 1996. № 6. С. 441–444.
27. Фадеева М.Б. Шафигуллина Н.Р. Экология растений и методы фитоиндикации. Учебное пособие к теоретическим и практическим занятиям. Казань: Казанский федеральный университет. 2018. 150 с.
28. Виноградова, Е. Н. Морфометрический анализ годичного побега растений *Acer negundo* L., произрастающих в условиях техногенного загрязнения среды в Донбассе. *Самарский научный вестник*. 2016. 3 (16). С. 13–17.
29. Луцишин О.Г., Тесленко І.К., Белошайка Т.В., Ткаченко І.В. Адаптація деревних рослин техногенно трансформованих урбоадафотопів (на прикладі м. Київ). *Доповіді Національної академії наук України*. 2013. № 5. С. 186–192.
30. Wood T., Bormann F.H. The effects of an artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis*. *Britt Environmental Pollution*. (1974). 7. 259.
31. Гришко В.М. Ріст деревних рослин в умовах техногенного забруднення. *Український ботанічний журнал*. 2002. 59, № 1. С. 79–89.
32. Михалевская, О. Б. Морфогенез побегов древесных растений: этапы морфогенеза и их регуляция. Москва. 2002. 66 с.
33. Михалевская О.Б. Ритмы роста на разных этапах морфогенеза побега у древесных растений. *Онтогенез*. 2008. т. 39. № 2. С. 85–93.
34. Bussotti C. C., Leonzio C. Borghini F. Leaf morphology and macronutrients in broadleaved trees in Central Italy. *Trees-structure and Function*. 2000. 14(7):361–368 DOI:10.1007/s004680000056
35. Глібовицька Н.І. Фізико-хімічні параметри стану листків липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) в урботехногенних умовах зростання. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія: біологія*. 2013. Вип. 18. № 1079. С. 180–185.
36. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. Москва: Мир, 1988. 348 с.
37. Braun M., Margitai Z., Leermakers A.T.V. Martine environmental monitoring using linden tree leaves as natural traps of atmospheric deposition: a pilot study in Transilvania, Romania. *AGD Landscape & Environment*. 2007. 1. 24–35.
38. Грицак Л., Барна І., Кодлюк І., Сельська І., Сплавінська Ю., Сука Р.Х., Барна С. Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля. *Конструктивна географія і геоекологія. Наукові записки*. 2017. №2. 153–165.
39. Глухов А.З., Штирц Ю.А., Демкович А.Є. Жуков С.П. Оценка проявления флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в условиях придорожных экосистем промышленного города (на примере Донецка). *Промышленная ботаника*. Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины. 2011. С. 90–96.
40. Склярченко А.В. Оцінювання впливу промислових умов та величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula* Запоріжжя. *Науковий вісник НЛТУ України*. (2019). т. 29. № 6. С. 54–57. DOI:10.15421/40290611
41. Бессонова В.П., Чонгова А.С. Видовий склад і таксаційні характеристики деревних рослин санітарнозахисної зони Придніпровського ремонтно-механічного заводу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. т. 31. № 2. С. 21–27. DOI: 10.36930/40310203
42. Sakai, K. Shimamoto, Y. Developmental instability in leaves and flowers of *Nicotiana tabacum*. *Genetics*. 1965. 51. 801–813.
43. Freemar D.C., Graham J.H., Emlen J.M. Developmental stability in plants: symmetries, stress and epigenesis developmental instability: its origins and evolutionary implications/ D.C. Freemar. Kluwer Academic Publishing. 1994. 99–121
44. Palmer A. Richard, Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. *Annual review of ecology and systematics*. 1986. 17. 391–421
45. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2018. Вип. 1(72). С. 82–89.
46. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. Здоровье среды: методы оценки. Оценка состояний природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников. Москва : Центр экологической политики. 2000. 66 с.

## МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗЕМЛІ ТА ГЕОДИНАМІЧНИЙ СТАН ЗАКАРПАТСЬКОГО ВНУТРІШНЬОГО ПРОГИНУ: ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ

Ігнатишин В.В.<sup>1,2</sup>, Малицький Д.В.<sup>3</sup>, Іжак Т.Й.<sup>2</sup>, Ігнатишин А.В.<sup>1</sup>, Ігнатишин М.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України  
вул. Ярославенка, 27, 79011, м. Львів

<sup>2</sup>Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II  
лл. Кошута, 6, 90202, м. Берегове

<sup>3</sup>Карпатське відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна  
Національної академії наук України  
вул. Наукова, 3, б, 79060, м. Львів

rgstrs1962@i.ua, Adalbert\_Ihnatisin@i.ua; sitkomonika@i.ua, izsak.tibor@kmf.org.ua

У статті представлено результати вивчення зв'язків магнітного поля Землі та сейсмотектонічних процесів в Закарпатті на фоні інтенсивних рухів кори та реєстрації місцевих землетрусів в тому числі і відчутних. Показано алгоритм проведення вивчення сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому. Проаналізовано зв'язок гідрогеологічних параметрів, отриманих при спостереженні в центральній частині Закарпаття, просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, варіацій вектора магнітної індукції магнітного поля Землі та динаміки сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2021 рік. Для вирішення поставлених задач використано результати вивчення кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори та динамічних параметрів геофізичних полів, зокрема магнітного поля. Відмічено, що переважна більшість місцевих землетрусів зареєстрована в періоди інтенсивних рухів, а саме при стисненні порід. Перша половина року характерна сейсмічністю, яка подібна до минулих років спостереження, проте відчутних місцевих поштовхів не зареєстровано. Відмічено активізацію місцевої сейсмічності в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, де розташована режимна геофізична станція «Тросник» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Частота прояву місцевої сейсмічності має успадкований характер. Проведені дослідження зв'язку варіацій параметрів магнітного поля Землі, виміряних на РГС «Тросник» та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності відмітили інтервали аномальних динамічних параметрів магнітного поля, які корелюються з інтервалами часу аномальних сучасних горизонтальних рухів кори. Магнітне поле Землі змінюється та корелюється із рухами кори в широкому динамічному діапазоні. Також показано перспективи вивчення геодинаміки інших частин регіону для вивчення геологічних процесів, які безпосередньо впливають на екологічний стан даної території. Результати важливі для розуміння процесів підготовки та розрядки геомеханічних явищ в сейсмонебезпечних регіонах, вирішенні проблем екологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину. *Ключові слова:* магнітне поле Землі, геодинамічний стан, сейсмічний стан, землетруси, Закарпатський внутрішній прогин, зона Оашського глибинного розлому, сучасні горизонтальні рухи кори, екологічний стан.

**The Earth's magnetic field and geodynamic state of the Transcarpathian Inner Trough: ecological aspect. Ihnatyshyn V., Malyskiy D., Izsák T., Ihnatyshyn M., Ihnatyshyn A.**

The article presents the results of studying the relationships between the Earth's magnetic field and seismotectonic processes in Transcarpathia against the background of intense movements of the Earth's crust and the registration of local earthquakes, including tangible ones. The algorithm for studying modern lateral movements of the Earth's crust measured in the Oaş deep-seated fault area is shown. The relationship between hydrogeological parameters obtained from observations in the central part of Transcarpathia, the spatial and temporal distribution of local seismicity, variations in the magnetic induction vector of the Earth's magnetic field, and the dynamics of modern horizontal crustal movements in the Oaş deep-seated fault area for 2021 are analysed. To solve these problems, we used the results of studying the kinematic characteristics of modern lateral movements of the Earth's crust and the dynamic parameters of geophysical fields, in particular the magnetic field. It was noted that the vast majority of local earthquakes were registered during periods of intense movements, namely during rock compression. The first half of the year is characterized by seismicity similar to the previous years of observation, but no significant local shocks were registered. The activation of local seismicity was noted in the central part of the Transcarpathian Inner Trough, where the "Trosnyk" monitoring geophysical station of the Seismicity Department of the Carpathian region of S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine is located. The frequency of local seismicity is inherited. The study of the relationship between variations of the Earth's magnetic field parameters measured at the "Trosnyk" monitoring geophysical station and the spatiotemporal distribution of local seismicity has revealed intervals of anomalous dynamic parameters of the magnetic field that correlate with time intervals of anomalous modern lateral movements of the Earth's crust. The Earth's magnetic field changes and correlates with crustal movements in a wide dynamic range. We also show the prospects for studying the geodynamics of other parts of the region to study geological processes that directly affect the ecological state of the area. The results are important to understand the processes of preparation and discharge of geomechanic phenomena in earthquake-prone regions, solving the problems of the ecological state of the Transcarpathian Inner Trough. *Key words:* the Earth's magnetic field, geodynamic state, seismic state, earthquakes, Transcarpathian Inner Trough, Oaş deep-seated fault, modern lateral movements of the Earth's crust, ecological state.

**Постановка проблеми.** На території Закарпаття починаючи з 80-х років ХХ ст. проводяться високоточні та унікальні спостереження сучасних горизонтальних рухів кори за допомогою горизонтальних кварцових деформографів. Отримані результати вимірювання та обробки даних відмітили особливості геодинаміки регіону, вплив їх на прояв сейсмічної активності Закарпатського внутрішнього прогину. Сучасні рухи кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину представлені періодичними коливаннями вікових ходів, які знаходяться в інтервалі  $-30 \times 10^{-7}$  :  $+20 \times 10^{-7}$ . Проведені дослідження показали зв'язок геодинамічного стану регіону та сейсмічних процесів в періоди інтенсивних рухів та знакозмінних процесів в рухах верхніх шарів земної кори. Також відмічено зв'язок параметрів геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі, яке на даному етапі систематично вивчається. Проводиться дослідження вектора магнітної індукції магнітного поля Землі та його зв'язок із рухами кори та розрядкою напружено-деформованого стану порід. Також досліджено варіації параметрів гідрогеологічного та метеорологічного станів регіону, зокрема відмічено гідрогеологічний аспект сучасних сейсмотектонічних процесів в сейсмогенеруючому регіоні. Інтенсивні атмосферні опади в регіоні викликають динамічні ефекти в сучасних горизонтальних рухах кори, що в більшості випадків супроводжуються підвищенням сейсмічної активності в Закарпатському внутрішньому прогині. Сейсмотектонічні процеси в регіоні можуть бути причиною негативної зміни екологічного стану регіону, зокрема враховуючи його географічне положення та наявність на території об'єктів критичної інфраструктури.

**Актуальність дослідження.** На території сучасного Закарпаття, його геологічних структурах: Берегівського горбогір'я та в зоні Оашського глибинного розлому тривалий період проводяться системі режимні геофізичні спостереження починаючи з другої половини 20-го ст. На території Берегівського горбогір'я геофізичні спостереження проводяться на режимній геофізичній станції «Берегове» а в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину моніторинг геофізичних полів проводиться на режимній геофізичній станції «Тросник» та пункті деформометричних спостережень «Королеве» Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Комплекс геофізичних спостережень включає в себе спостереження магнітного поля Землі за допомогою магнітометричних станцій МВ-01 та Лемі-017, радіоактивного фону навколишнього середовища, електромагнітної емісії в різних частотних діапазонах, параметрів метеорологічного стану середовища: температури повітря, атмосферного тиску, вологості повітря, напрямку вітрів та швидкості вітру, атмосферних опадів, про-

в'язок реєстрації проявів мікросейсмічності регіону. Результати попередніх комплексних геофізичних спостережень в Закарпатті відмітили зв'язки варіацій параметрів геофізичних полів із сучасними горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому та Берегівського горбогір'я. Показано на активізацію сейсмічності регіону в період інтенсивних рухів кори, відгук параметрів геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі. Сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину представлена періодичною активізацією інтервалами 1–5 рр., коли на фоні численних мікроземлетрусів реєструються відчутні місцеві підземні поштовхи. Тому важливо досліджувати геофізичні процеси в регіоні на предмет виявлення як якісного так числового зв'язку варіацій параметрів геодинамічного, сейсмічного станів із відгуками досліджуваних геофізичних полів.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Комплексні геофізичні спостереження на території Закарпаття проводяться тривалий період. Метою всіх досліджень – це вивчення будови Землі, земної кори, її фізичних характеристик, дослідження просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності. Для цієї мети в різний період було створені експедиції та партії профільних науково-дослідних закладів, які на території Закарпаття змонтували сітку комплексних режимних геофізичних станцій та пунктів. Ці пункти були розсереджені по всій території Закарпаття. Серед цих дослідницьких об'єктів слід наголосити на унікальні деформометричні станції, оскільки їх монтування вимагає спеціальних підземних приміщень. Сучасні горизонтальні рухи кори в регіоні вимірюються за допомогою деформометричних станцій змонтованих на режимній геофізичній станції «Берегове», де функціонують два взаємно перпендикулярні кварцові деформометри відповідно базами 24,5 м та 6 м, орієнтовані близько меридіональному та близькоширотному напрямкам. Рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому вимірюють за допомогою горизонтального кварцового деформографа базою в 24.5 м та орієнтованого в напрямку схід-захід, змонтованого в штольні пункті деформометричних спостережень «Королеве». Обидві деформометричні станції були створені для отримання картини геодинамічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині. Результати отримані на цих пунктах підтвердили величини сучасних горизонтальних рухів кори в Карпат-Балканського регіону та їх орієнтування: стиснення в близькоширотному напрямку та розширення в близькомеридіональному. Змонтована в 1999 році деформометрична станція в зоні Оашського глибинного розлому підтвердила результати загальної картини сучасних рухів кори в Закарпатському внутрішньому прогині-розширення порід в напрямку схід-захід, отриманої за допомогою геодезичних та інших методів. Важливо продовження вивчення зв'язку місцевої сейсмічності

із геологічними процесами, що є джерелом сейсмо-тектонічних процесів в регіоні та однією із можливих причин погіршення його екологічного стану.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Визначено взаємозв'язки між структурно-тектонічними особливостями будови центральної частини Закарпатського прогину, сучасним геодинамічним розвитком фундаменту регіону та особливостями поширення сейсмічних хвиль і формування вогнищ локальних землетрусів [1]. Проведені дослідження дозволять більш предметно визначати повні характеристики вогнищ землетрусів, швидкості та напрямки поширення сейсмічних хвиль у відповідності з будовою фундаменту та осадової товщі, що відкриває можливість доповнювати дані тривалого моніторингу екобезпечних природних та техногенних подій у даному регіоні. В [2] показано, що для Закарпаття зони низьких швидкостей (області термобаричного розуцілення мінеральної речовини) обов'язкові при певному тиску і температурах у земній корі будь-яких регіонів невід'ємною частиною і обов'язково формуються в процесі прогрівання земних надр під час їх «термогеоактивізації». В [3] представлено результати застосування розробленої методики забезпечує редукцію метеотемпературних впливів на порядок і більше і дає можливість пошуків малоамплітудних деформаційних аномалій – провісників землетрусів на фоні термопружних деформацій, що збільшує реальну чутливість та зону геодинамічного та сейсмопрогностичного контролю конкретного пункту деформографічних спостережень. В [4] представлено результати науково-дослідних робіт із залученням геоінформаційних та геофізичних методів для розв'язання завдань із моніторингу небезпечних природних та техногенних процесів на території розташування об'єктів критичної інфраструктури, виокремлено ряд потенційно можливих напрямів використання магнітних методів з метою моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, а також пов'язаних із ними природних і техногенних процесів [5]. Дослідження магнітної мінералогії підтвердили відсутність техногенного забруднення ґрунтів на основі значень частотної залежності магнітної сприйнятливості, превалювання супер парамагнітних зерен розміром менше 20 нм підтверджується значеннями частотної залежності магнітної сприйнятливості, які формуються в режимі реального часу в процесі ґрунтоутворення [6]. У зв'язку з ростом кількості природно-техногенних катастроф актуальною є розробка систем моніторингу за станом геологічного середовища з використанням сучасного математичного апарата та інформаційних технологій; в загальній системі моніторингу докільля важливою складовою є локальний моніторинг територій розташування потенційно небезпечних об'єктів [7]. В [8] викладено головні підходи та принципи розробки і формування структури бази

даних зсувних процесів у межах території України. Показано, що Україна характеризується активним розвитком різногенетичних гравітаційних процесів у межах різних структурно-тектонічних і ландшафтно-кліматичних зон, що вимагає єдиного підходу до створення системи їхнього обліку, інвентаризації та моніторингу з наступним прогнозуванням та оцінкою впливу на техногенні об'єкти різного призначення. В [9] вперше сформульовано поняття «радіаційного кластера», що об'єднує координати на площині з потужністю амбієнтної дози; доведена можливість застосування кластерного аналізу для побудови карти радіаційного забруднення довкілля шляхом послідовного проектування від більш пов'язаних до менш пов'язаних радіаційних кластерів на площину контрольованої зони. Для подальших досліджень становить певний інтерес вивчення питань інтеграції кластерного аналізу з геоінформаційними системами. В [10; 11] представлено результати спостережень за горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому в 2020 році, відмічено загальне розширення порід в межах характерних для даного регіону та зв'язок із протікаючими сейсмічними процесами. Проводилися дослідження на предмет виявлення зв'язків сейсмічного стану Закарпатського внутрішнього прогину та варіацій метеорологічних параметрів, отриманих в результаті безперервних спостережень за температурою атмосферного повітря, атмосферного тиску, де вказано на вклад метеорологічних параметрів в загальну картину сейсмо-тектонічних процесів в регіоні [12; 13]. Досліджено варіації геофізичних полів в регіоні та зміни астрофізичних параметрів в цей період, відмічено зв'язок астрофізичних величин із геодинамічним та сейсмічним станами Закарпаття за 2019 рік – сейсмічна активність корелюється із періодами аномальних астрофізичних величин, зокрема сонячної активності [14; 15]. Моніторинг геофізичних полів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік та розрахунок на їх основі кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому показав на взаємозв'язок їх із сейсмічним станом регіону, зокрема із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності. В періоди сейсмічної активізації відмічено інтенсивні рухи кори, та їх фізичних характеристик [16; 17]. В [18] представлено геофізичні аспекти екологічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. В [19] підтверджено гідрологічний аспект екологічного стану Закарпаття за 2020 рік, який відмічав вплив інтенсивних атмосферних опадів на динаміку сучасних горизонтальних рухів кори, яка характерна для підготовки та прояву місцевої сейсмічності. Пошук факторів впливу на сеймотектонічні процеси в регіоні відмітив геофізичні та астрофізичні аспекти екологічного стану Закарпаття [20]. В [21] показано дослі-

дження просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, його зв'язку із сучасними рухами кори, їх динамікою та вплив на них параметрів метеорологічного гідрологічного станів регіону.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Завдання геофізичних досліджень на території Закарпатського внутрішнього прогину покликані вирішити зокрема, задачу виявлення зв'язків сучасних горизонтальних рухів кори в різних його точках із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності. Також одним із напрямків наукових робіт є вивчення відгуку геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі. Попередні дослідження результатів геофізичних спостережень в регіоні відмітили цей зв'язок на рівні кореляції спостережуваних рядів геофізичних полів. Необхідно поповнювати бази даних результатів спостережень та досліджень з метою виявлення нових особливостей та закономірностей на рівні розрахункових методів. Оскільки магнітне поле Землі на території Закарпаття досліджується давно та систематично, на кожному пункті геофізичних спостережень функціонують по декілька магнітометричних станцій. Результати спостережень є досить точними та надійними, безперервними, вони використовуються при вивченні реакції земної кори на геологічні процеси в регіоні представлені рухами кори, зокрема сучасними горизонтальними рухами кори. Важливо вивчення статистичних закономірностей варіацій магнітного поля Землі та аномальних геологічних явищ, які в майбутньому комплексують загальні результати прогностичних робіт в регіоні. Отримання загальної картини сейсмотектонічних процесів, особливо в періоди підготовки та прояву місцевої сейсмічності є вкладом у вирішення екологічних проблем регіону з точки зору геофізики.

**Новизна.** В статті проведено вивчення зв'язків варіацій параметрів магнітного поля Землі та сейсмотектонічних процесів на фоні інтенсивних рухів кори та ресстрації місцевих землетрусів в тому числі і відчутних. Для вирішення поставлених задач використано результати дослідження кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори та динамічних параметрів геофізичних полів, зокрема магнітного поля за 2021 рік. Також вивчено зв'язки геофізичних параметрів, геодинаміки із сейсмічністю Закарпаття, вказано на перспективи вивчення геодинаміки інших частин регіону для вивчення геологічних процесів, які безпосередньо впливають на екологічний стан даної території. Результати важливі для розуміння процесів підготовки та розрядки геомеханічних явищ в сейсмонезбезпечних регіонах.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Проведені дослідження мають метеодологічне значення, оскільки при вирішенні поставлених завдань було застосовано розрахунок кінематичних характеристик параметрів геофізичних полів, швидкість та

прискорення їх змін. Отримані результати, графіки просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, часового розподілу сучасних горизонтальних рухів кори, параметрів магнітного поля Землі на пункті спостережень дозволяють виділяти інтервали часу, які характерні аномальними варіаціями досліджуваних геофізичних полів. Виявлені зв'язки геодинамічного та сейсмічного стану регіону із інтенсивними змінами магнітного поля Землі відкривають можливості для побудови моделі сучасних сейсмотектонічних процесів в сейсмонезбезпечних зонах та аналізу відгуків геофізичних полів на критичні ситуації в геологічних процесах. Загальнонаукове значення проведених спостережень та виконаних досліджень полягає в отриманні важливих даних про будову земної кори в регіоні та картини геомеханічних явищ в періоди підготовки та розрядки напружено-деформованого стану порід, перспективах вирішення екологічних проблем краю.

**Викладення основного матеріалу.**

**1. Зміщення земної кори, виміряних на пункті деформометричних спостережень «Королеве» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України за 2021 рік.** На території Закарпатського внутрішнього прогину, в центральній його частині, а саме в зоні Оашського глибинного розлому, функціонує постійно діюча сейсмічна станція «Королеве» Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України з 1999 року. В штольні змонтовано горизонтальний кварцовий деформограф EW( напрямок схід-захід). Технічні характеристики деформометра: база – 24.5 м, азимут: 80°, глибинна від денної поверхні: 0–15м, довжина штольні – 40 м; підсилення деформографа становить : 0.138 мкм на 1 мм запису на деформограммі, деформації – відповідно 5.63 нстр. За період часу роботи деформографа гірські породи зазнавали різнознакових деформацій, проте загальний характер рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому є розширення порід із середньою величиною вікового ходу:  $+10 \times 10^{-7}$ . Актуальність дослідження сучасних рухів викликана впливом їх на сейсмічний стан Закарпатського внутрішнього прогину. Аномальні рухи кори супроводжуються проявами місцевої сейсмічності. Представлено результати дослідження геодинаміки регіону за період 1–11 місяці 2021 року в місячному діапазоні (рис. 1).

В січні 2021 року на ПДС «Королеве» зареєстровано стиснення порід величиною:  $-4.83 \text{ мкм}$ , деформації порід становили:  $-1.97 \times 10^{-7}$ . В 2020 році в січні місяці рухи кори представлені такими параметрами: зміщення порід становило  $-2.76 \text{ мкм}$ , деформації порід становили :  $-1.12 \times 10^{-7}$ , що в два рази менше. Зміщення кори в лютому 2021 року на ПДС «Королеве» представлено на рисунку 2.



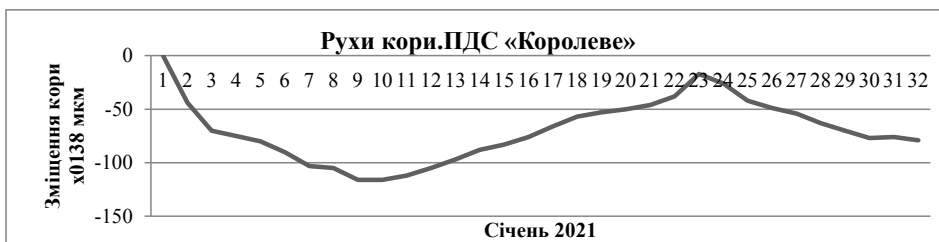


Рис. 1. Зміщення земної кори на ПДС «Королеве» в січні 2021 року.  
Зона Оаиського глибинного розлому



Рис. 2. Зміщення кори на ПДС «Королеве» в лютому 2021 року.  
Зона Оаиського глибинного розлому

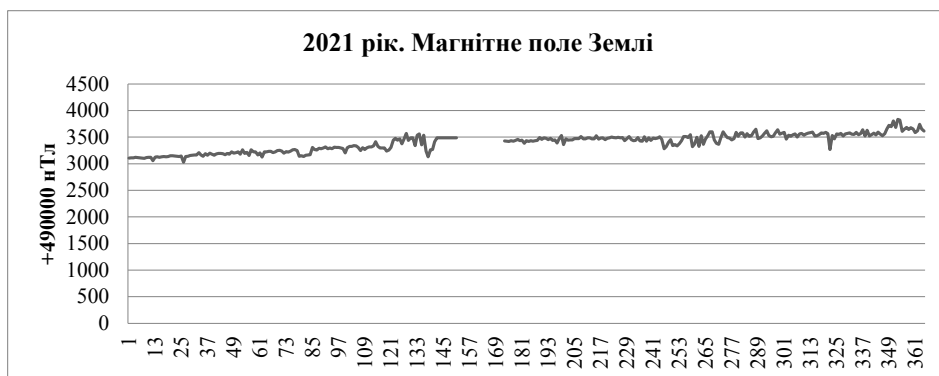


Рис. 3. Магнітне поле Землі( РГС Тросник). 2021 рік.  
Закарпатський внутрішній прогин

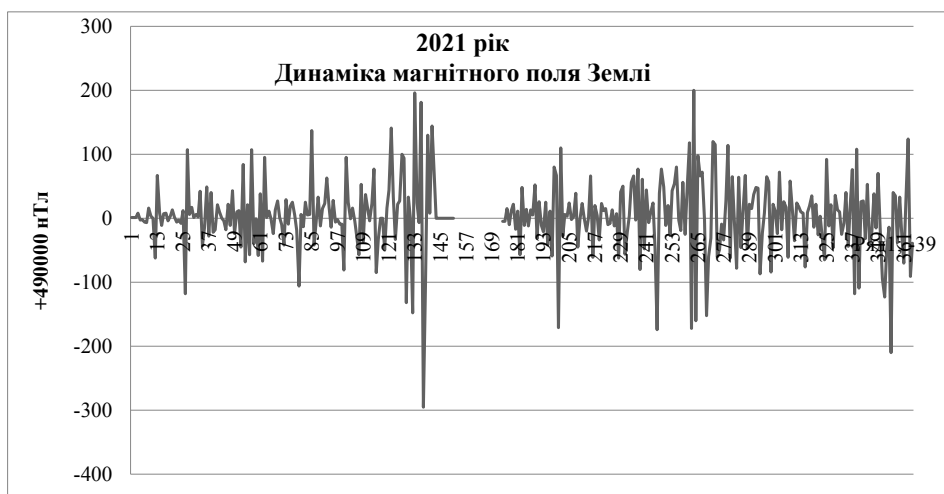


Рис. 4. Динаміка магнітного поля Землі за 2021 року. РГС «Тросник»

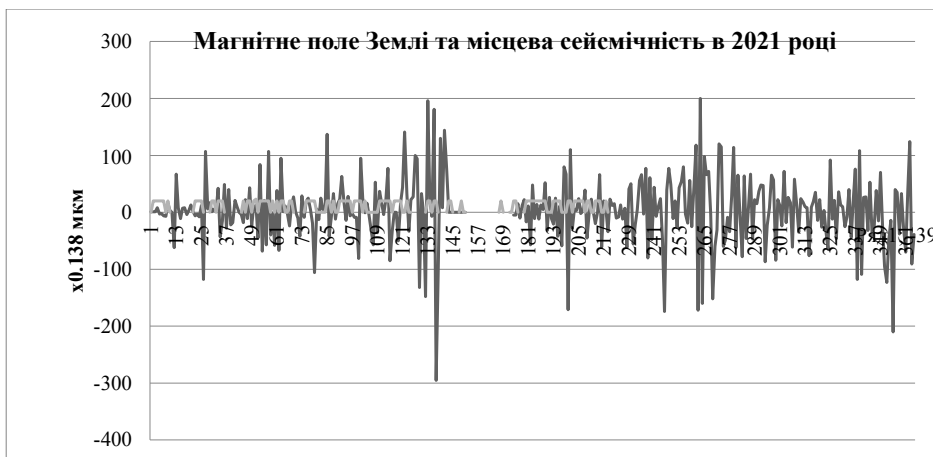


Рис. 5. Динаміка магнітного поля Землі (крива чорного кольору), сейсмічна активність регіону (крива сірого кольору) за 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин

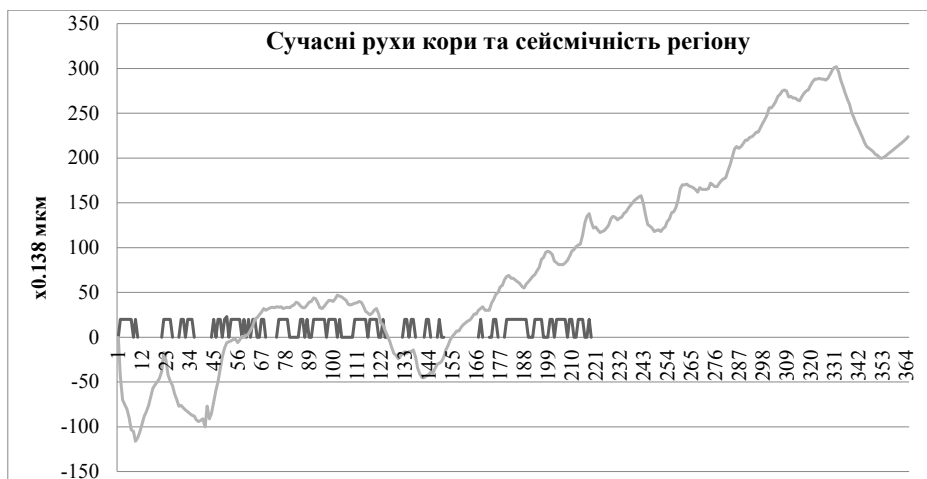


Рис. 6. Сучасні рухи кори в зоні Оаіського глибинного розлому (крива сірого кольору), місцева сейсмічність (крива чорного кольору). 2021 рік. Закарпатський внутрішній прогин



Рис. 7. Швидкість рухів кори в зоні Оаіського глибинного розлому за 2021 рік

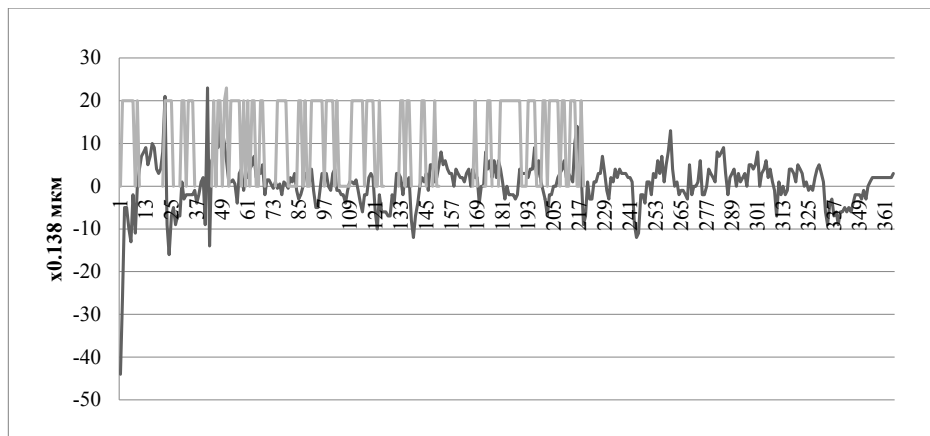


Рис. 8. Сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору), швидкість рухів кори (крива чорного кольору). 2021 рік. Закарпатський внутрішній прогин



Рис. 9. Комплексні геофізичні спостереження в Закарпатському внутрішньому прогині за 2021 рік: рівень води в свердловині глибиною 8 м (крива фіолетового кольору), сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива червоного кольору), рівень води в свердловині глибиною 530 м (крива синього кольору), часовий розподіл місцевої сейсмічності (крива зеленого кольору)

В лютому 2021 року на ПДС «Королеве» відмічено розширення порід величиною:  $+10.92 \text{ мкм}$ , деформація порід становила:  $+4.44 \times 10^{-7}$ . В порівнянні із минулим роком, коли результати деформометричних спостережень дали такі величини сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому: зміщення кори:  $-23.4 \text{ мкм}$ ; деформація порід становила:  $-9.4 \times 10^{-7}$ , відмічають знакозмінний процес. За наведеною методикою проведено вивчення рухів кори протягом всього 2021 року в зоні Оашського глибинного розлому, розраховано загальну картину рухів кори за досліджуваний період, встановлено, що сучасні горизонтальні рухи кори представлені розширеннями порід величиною:  $+12 \times 10^{-8}$ . Отримані результати рухів кори в Закарпатському внутрішньому прогині за 2021 рік-відповідає горизонтальними рухам кори в регіоні, що знаходяться в інтервалі  $-30 \times 10^{-7}$ :  $+30 \times 10^{-7}$ . Рухи кори відповідають інтервалу знакозмінних рухів кори в зоні

Оашського глибинного розлому, що супроводжуються підвищенням сейсмічності регіону, яке веде до погіршення екології Закарпатського внутрішнього прогину.

**2. Геоманітне поле Землі та сучасні горизонтальні рухи кори в 2021 році.** Для вивчення магнітного поля Землі в Закарпатському внутрішньому прогині використано результати спостережень параметрів геофізичного поля за допомогою магнітометричних та магнітоваріаційних станцій, зокрема МВ-01 та Лемі-017. Такі прилади використовують на всіх режимних геофізичних станціях Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського Відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Спостереження вектора магнітної індукції магнітного поля Землі проводиться в режимі опитування 10 хв безперервно. Розглянуто результати спостереження за магнітним

полем Землі за 2021 рік в щогодинному діапазоні, відмічено, що зміна магнітного поля становить +505 нТл (рис. 3).

Аномалії магнітного поля Землі відмічені починаючи з травня 2021 року. Представлено динаміку зміни магнітного поля Землі в добовому діапазоні на рисунку 4.

Аналіз відмітив наявність періодів інтенсивних змін магнітного поля Землі протягом всього року. Представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та динаміку магнітного поля Землі (рис. 5).

Сейсмічна активність регіону корелюється із динамікою зміни магнітного поля Землі за 2021 року. Магнітне поле Землі могло змінюватися як за рахунок довгоперіодних варіацій сучасних рухів кори так і за рахунок швидких рухів кори-землетрусів. Розглянуто сучасні рухи кори та їх зв'язок із сейсмічністю регіону (рис. 6).

Рухи кори характерні інтенсивними рухами кори з періодом 15 діб, 30 діб, 100 діб. Розширення порід становить: +3 мкм, деформації: +1261 нстр ( $12.61 \times 10^{-7}$ ).

За 220 днів на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 117 місцевих землетрусів. Показано динаміку сучасних рухів кори за 2021 році в зоні Оашського глибинного розлому (рис. 7).

Найбільш інтенсивними рухами кори характеризується початок року та в другій половині року, періоди змінюються від 7 діб до 20 діб. Розглянуто динаміку рухів кори та місцеву сейсмічність (рис. 8).

Землетруси реєструються в періоди інтенсивних рухів земної кори, виміряних в зоні Оашського глибинного розлому. Представлено результати комплексних геофізичних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині (рис. 9).

Аналіз представлених залежностей відмітив факт суттєвої кореляції сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та варіацій рівня води в свердловині глибиною 8 м, що знаходиться на території режимної геофізичної станції «Тросник» (центральна частина Закарпаття): стиснення порід супроводжується підняттям рівня води в свердловині та відповідно, розширення порід супроводжується пониженням рівня води в неглибокій свердловині. Землетруси зареєстровані в період часу, який характеризується інтенсивними рухами кори-розширеннями або стисненнями. Відносно зв'язку сейсмічності регіону та варіацій рівня води в свердловині, то слід відмітити факт реєстрації місцевих землетрусів вв періоди підняття рівня води в свердловині. Дослідження зв'язку прояву місцевого землетрусу в жовтні 2021 року, то важливо відмітити, що землетрус відбувся при локальному стисненні порід на фоні загального розширення порід в регіоні.

Таким чином, показано зв'язок інтервалів часу інтенсивних рухів кори та сейсмічної активності в регіоні в періоди гідрогеологічних аномалій виявлених на території режимної геофізичної станції «Тросник».

**Головні висновки.** На території Закарпаття зареєстровано відчутний місцевий землетрус в жовтні 2021 року на фоні численних місцевих підземних поштовхів. Протягом тривалого періоду на території Берегівського району Закарпатського внутрішнього прогину було зареєстровано серію мікроземлетрусів епіцентральної відстань яких становила від 200–300 м до 1.5 км від режимної геофізичної станції «Тросник» та малими магнітудами. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2021 рік представлені розширеннями порід величиною:  $+12.61 \times 10^{-7}$ . Проведено помісячне вивчення характеру та величини рухів кори та порівняно із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності. Переважна більшість місцевих землетрусів зареєстрована в періоди інтенсивних рухів при стисненні порід. Перша половина року характерна подібністю до минулих років спостереження, проте відчутних місцевих поштовхів не зареєстровано. Відмічено активізацію місцевої сейсмічності в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, де розташована режимна геофізична станція «Тросник» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Частота прояву місцевої сейсмічності має успадкований характер. Показано взаємозв'язок місцевої сейсмічності та геомеханічних процесів в регіоні. Проведені дослідження зв'язку варіацій параметрів магнітного поля Землі, виміряних на РГС «Тросник» та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, відмічено інтервали аномальних динамічних параметрів магнітного поля корелюються з інтервалами часу аномальних сучасних горизонтальних рухів кори. Також вказано на кореляцію активності місцевої сейсмічності із періодами інтенсивних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому. Магнітне поле Землі змінюється та корелюється із рухами кори в широкому динамічному діапазоні. Показано гідрогеологічний аспект сейсмотектонічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2021 рік. Землетруси реєструються в періоди стиснення порід, що зв'язані з інтенсивними сучасними горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому, які в свою чергу можуть бути викликані підняттями рівня води в річках басейну річки Тиси. Підняття рівня води в річках, викликані інтенсивними атмосферними опадами, таненням снігу в Карпатах, супроводжуються проявом місцевої сейсмічності, періодично відчутними місцевими землетрусами, що є індикаторами активізації геомеханічних процесів.

Таким чином, гідрогеологічний стан в регіоні впливає на екологічний стан Закарпаття із геологічної точки зору, відкриваючи можливості розрядки напружено-деформованого стану порід поряд з можливими паводками та повенями. Отримані результати дослідження важливі для вивчення екологічного стану регіону та при вирішенні проблем пов'язаних із аномальними сейсмотектонічними процесами.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати комплексного моніторингу геофізичних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині важливі при вивченні геологічної будови регіону, побудови моделі сейсмотектонічних процесів в сейсмонебезпечному регіоні яким є Закарпаття. Спостереження та аналіз

рядів параметрів геофізичних полів в регіоні дає можливість удосконалення методів обробки геофізичних параметрів та їх застосування при вивченні та пошуків шляхів вирішення проблем пов'язаних із екологічним станом Закарпаття. Також отримані результати поповнять бази даних, необхідних для вирішення майбутнього прогнозу екологічно небезпечних явищ в Закарпатському внутрішньому прогині. Ряди спостережуваних параметрів геодинамічного, сейсмічного та гідрогеологічного станів можуть бути використані при вивченні предметів природничого напрямку, на уроці в загальноосвітніх школах та гуртках МАН, позашкільної освіти; підготовці науково-дослідницьких робіт в системі вищої освіти.

### Література

1. Козловський Е.М., Максимчук В.Ю., Малицький Д.В., В. Р.Тимошук В.Р., Грицай О.Д., Пиріжок Н.Б. Взаємозв'язок структурно-тектонічних та сейсмічних характеристик Центральної частини Закарпатського прогину. *Геодинаміка*. 2020. 1(28). С. 62–70.
2. Корчин, В.О. Русаков М., П. О. Буртний П.О., Карнаухова О.Є. Походження зон низької густини в кристалічній корі Закарпатського прогину (Україна) за даними петрофізичного термобаричного моделювання. *Геодинаміка*. 2020. 1(28). С. 81–93.
3. А. Назаревич, Л. Назаревич, М. Баштевич. Виділення малоамплітудних деформаційних аномалій – провісників місцевих Закарпатських землетрусів з урахуванням метеопружних деформацій. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 1(84)/2019. С. 21–26.
4. Меньшов О. Інформативність магнітних методів при моніторингу природно-техногенних процесів, які пов'язані з об'єктами критичної інфраструктури. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 1(84)/2019. С. 27–33.
5. Малік Т., Брик Я., Зацерковний В., Беленок В. Побудова моделі точності автоматизованої системи моніторингу деформацій інженерних споруд. *Вісник Київського національного університету ім.Тараса Шевченка. Геологія*. 1(84). 2019. С. 77–81.
6. Круглов О., Меньшов О., Назарок П., Коляда Л., Коляда В., Ачасова А. Магнітна сприйнятливість ґрунтів у складі ерозіо-навчих досліджень. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 2(85). 2019. С. 59–64.
7. Вижда З., Демидов В., Вижда А. Статистичне моделювання випадкового поля на плоскій області з кореляційною функцією типу Уїттлі-Матерна в геофізичній задачі моніторингу довкілля. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 3(86). 2019. С. 55–61.
8. Іванік О., Шевчук В., Кравченко Д., Гадяцька К. Національна база даних зсувних процесів: принципи розробки, упровадження та застосування для оцінки зсувної небезпеки регіонального і локального рівня. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 3(86). 2019. С. 70–74.
9. Гетманець О., Некос А., Пеліхатий М. Кластерний аналіз і радіаційний моніторинг довкілля. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 3(86). 2019. С. 75–79.
10. Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Вербицький С. Т., Іжак Т. Й., Ігнатишин М. Б. Горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в 2020 році. European scientific discussions. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Potere della ragione Editore. Rome, Italy. 2021. P. 176–187. URL: <https://sciconf.com.ua/viii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-europeanscientific-discussions-20-22-iyunya-2021-goda-rim-italiya-arhiv/>.
11. Ігнатишин В.В. Ігнатишин А.В., Вербицький С.Т. Іжак Т.Б., Ігнатишин М.Б. Горизонтальні рухи в зоні Оашського глибинного розлому та сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину в 2020 році. Results of modern scientific research and development. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Madrid, Spain. 2021. P. 169–170. URL: <https://sci-conf.com.ua/iv-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-results-of-modern-scientific-research-and-development-28-30-iyunya-2021-goda-madrid-ispaniya-arhiv>.
12. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Іжак Т.Й. Сейсмічний аспект метеорологічних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині. Матеріали Міжнародної наукової конференції «Виклики, загрози та розвиток у галузі біології, сільського господарства, екології, географії, геології та хімії» м. Люблін, Республіка Польща 2–3 липня 2021 р. International scientific and practical conference “Challenges, threats and developments in biology, agriculture? Ecology? Geography, geology and chemistry” : conference proceedings, July 2-3, 2021. Lublin : Baltija Publishing, 280 pages. С. 141–145.
13. Ігнатишин А.В., Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т. Барометричні аспекти сейсмічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2020 рік. *Наукові та освітні трансформації в сучасному світі* : збірник матеріалів Всеукраїнської міждисциплінарної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 15 липня 2021 року) / Науково-освітній інноваційний центр суспільних трансформацій, м. Чернігів. Суми: ТОВ НВП «Росток А. В.Т.». 2021. С. 21–24.
14. Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Іжак Т. Й., Ігнатишин М. Б., Ігнатишин В. В. (мол.) Астрофізичний аспект геодинамічного та сейсмічного станів Закарпаття за 2019 рік. International scientific innovations in human life. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Manchester, United Kingdom. 2021. P. 199–210.

URL: <https://sci-conf.com.ua/i-mezhdunarodnaya-nauchnoprakticheskaya-konferentsiya-international-scientific-innovations-in-human-life-28-30-iyulya-2021-goda-manchester-velikobritaniya-arhiv/>.

15. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В. Комплексний аналіз геофізичних полів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2019 рік та їх зв'язок з астрофізичними параметрами. *Sciences of Europe (Praha, Czech Republic)*. No 75 (2021) Vol. 1. ISSN 3162-2364. The journal is registered and published in Czech Republic. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. pp.6-22.
16. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т. Геофізичні аспекти екологічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2021. № 4(37). 200 с., с. 114–120. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.17>
17. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т., Іжак Т.Й. Швидкості сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та їх зв'язок з просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2020 рік. Збірник праць Всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI), 28–30 вересня 2021 року. С. 244–248. УДК: 55+548/549. Підготовка матеріалів: Омельченко А.М., Осипенко В.Ю.
18. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т. Геофізичні аспекти екологічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2021. № 4(37). 200 с., с. 114–120. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.17>.
19. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Вербицький С.Т., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Гідрогеологічний аспект екологічного стану Закарпаття за 2020 рік. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2021. № 4(37). 200 с., с. 114–120.
20. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Вербицький С.Т., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Геофізичні та астрофізичні аспекти екологічного стану Закарпаття. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2022. № 3(42). 236 с., с. 98–106. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.16>
21. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Гідрогеологічний аспект сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. 98(3). С. 42–48. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. (2022). v. 3(98). pp. 42–48. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>

---

# ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

---

УДК 574.3:633.88

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.20>

## МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЙ *SAPONARIA OFFICINALIS* L. В УМОВАХ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «СЕЙМСЬКИЙ» (СУМСЬКА ОБЛАСТЬ, УКРАЇНА)

Зубцова І.В.

Сумський національний аграрний університет  
вул. Герасима Кондратьєва, 160, 40021, м. Суми  
[i\\_zubtsova@ukr.net](mailto:i_zubtsova@ukr.net)

Представлено результати дослідження величин чотирнадцяти статичних метричних та семи статичних алометричних морфопараметрів рослин *Saponaria officinalis* L. сформованих у семи фітоценозах регіонального ландшафтного парку «Сеймський». У процесі роботи використано морфометричний аналіз та комплекс методів статистично-математичного опрацювання даних. Результати оцінки розмірних величин рослин *S. officinalis* засвідчують, що у кожному із місцезростань формуються особини зі специфічним комплексом значень провідних морфопараметрів. Для абсолютної більшості розмірних величин зареєстровані відмінності у величинах морфопараметрів у рослин із різних угруповань є статистично достовірними.

За результатами морфометричного аналізу визначено характерні розмірні ознаки рослин *S. officinalis* у кожному із місцезростань та визначено ідентифікаційні ознаки їх модельних особин. Встановлено, що їм загалом притаманний досить високий ступінь цілісності. Результати проведених досліджень об'єктивно свідчать, що у досліджуваного виду чітко проявляється певний рівень внутрішньопопуляційного варіювання розмірних величин, тобто має місце явище мінливості. Кожному морфпараметру притаманна специфіка як в аспекті досягнення певних величин варіювання (показників розмаху, коефіцієнту варіації тощо), так і у плані їхньої зміни за фітоценозами. За параметрами внутрішньопопуляційного варіювання значення коефіцієнту варіації розмірних величин охоплюють усі п'ять градацій.

Загалом, розмір та особливості морфоструктури є важливими ознаками рослин та популяцій *S. officinalis*, які зростають на території РЛП «Сеймський». При цьому трансформація розмірних величин та габітусу виступає важливим механізмом адаптації лікарських рослин до умов місцезростань. Формування у різних фітоценозах рослин певного розміру та морфоструктури є наслідком складної взаємодії комплексу «внутрішніх» та «зовнішніх» чинників. *Ключові слова:* *Saponaria officinalis* L., морфометричні показники, лікарські рослини, фітоценоз, регіональний ландшафтний парк «Сеймський».

### Morphometric parameters population of *Saponaria officinalis* L. in the regional landscape park «Seymskiy» (Sumy Region, Ukraine) Zubtsova I.

The results of the study of the values of fourteen static metric and seven static allometric morphoparameters of *Saponaria officinalis* L. plants formed in seven phytocenoses of the regional landscape park «Seymskiy» are presented. In the process of work, morphometric analysis and a set of statistical and mathematical data processing methods were used. The results of the assessment of the size of *S. officinalis* plants show that individuals with a specific set of values of the leading morphoparameters are formed in each of the habitats. For the absolute majority of dimensions, the registered differences in the values of morphoparameters in plants from different groups are statistically reliable.

According to the results of the morphometric analysis, the characteristic size features of *S. officinalis* plants in each of the growing areas were determined, and the identification features of their model individuals were determined. It has been established that they generally have a fairly high degree of integrity. The results of the conducted research objectively show that the studied species clearly exhibits a certain level of intra-population variation in size, that is, there is a phenomenon of variability. Each morph parameter has its own specificity, both in terms of achieving certain values of variation (scale indicators, coefficient of variation, etc.), and in terms of their change according to phytocenoses. According to the parameters of intra-population variation, the values of the coefficient of variation of dimensional values cover all five gradations.

In general, the size and features of the morphostructure are important features of plants and populations of *S. officinalis* that grow on the territory of the RLP Seymskiy. At the same time, the transformation of size and habit is an important mechanism of adaptation of medicinal plants to the conditions of local growth. The formation of plants of a certain size and morphostructure in different phytocenoses is the result of a complex interaction of a complex of «internal» and «external» factors. *Key words:* *Saponaria officinalis* L., morphometric parameters, medicinal plants, phytocenosis, regional landscape park «Seymskiy».

**Постановка проблеми.** Проблема збереження фіторізноманіття безпосередньо пов'язана із питанням охорони та раціонального використання лікарських рослин. В Україні близько 85% лікарської рослинної сировини збирається в природних місцезростаннях. На жаль, внаслідок інтенсивного господарського використання угідь, заготовлі сировини без урахування норм та правил збору, природні запаси рослин із цілющими властивостями з кожним роком зменшуються [1].

У зв'язку із високим ступенем інформативності, як в Україні, так і у світі усе більш популярними стають популяційні дослідження. На теренах Сумської області до числа об'єктів, ще вкрай мало охоплених популяційним вивченням належать заплави річок регіонального ландшафтного парку «Сеймський».

Регіональний ландшафтний парк (РЛП) «Сеймський», маючи площу 98857,9 га, є найбільшою природно-заповідною територією Сумщини. Він знаходиться в західній частині області на обох берегах р. Сейм [2]. У природному відношенні території РЛП «Сеймський» знаходиться у межах Лісостепу. За фізико-географічним районуванням України [3] територія належить до Конотопсько-Путівльського району Північно-Полтавської височинної області Лівобережно-Дніпровського краю та Кролевецько-Глухівського району Сумської схилово-височинної області СхідноУкраїнського краю Лісостепової зони. Східно-Європейської рівнини. Згідно з геоботанічним районуванням України [4] досліджувана територія знаходиться у межах Конотопського району Бахмацько-Кременчуцького геоботанічного округу Лівобережнопридніпровської підпровінції Східноєвропейської провінції Європейсько-Сибірської лісостепової області та Кролевецько-Глухівського району Глухівсько-Орловського геоботанічного округу Середньоросійської підпровінції Східноєвропейської провінції Європейської широколистянолісової області.

У зв'язку із тим, що у сучасних умовах для цього регіону, як і для багатьох інших, усе більшої значущості набувають питання збереження фіторізноманіття, з'ясування механізмів, які лежать в основі забезпечення сталого функціонування біосистем, розроблення наукових засад щодо невиснажливого користування рослинними ресурсами, актуальним стає вивчення популяцій лікарських рослин, та зокрема *Saponaria officinalis* L. на засадах популяційного аналізу.

**Актуальність дослідження.** Стійке існування лікарських рослин на тлі різноманітних видів антропопресії значною мірою визначається здатністю особин адаптуватися до комплексу діючих еколого-ценотичних чинників. У свою чергу, серед комплексу адаптацій часто важливу роль відіграють саме морфологічні, прояв та механізм реалізації яких у багатьох видів рослин не є ґрунтовно дослідженим. Дослідження розмірних характеристик рослин

є доцільним ще й тому, що морфометричні ознаки можуть використовуватись як діагностичні для визначення життєвості особин та популяцій, а також оцінки запасів лікарських рослин у різноманітних еколого-ценотичних умовах.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дане дослідження виконувалось згідно з планами науково-дослідної роботи кафедри екології та ботаніки Сумського національного аграрного університету в межах виконання тем: «Моніторинг біорізноманіття, стану та динаміки популяцій рослин в екосистемах Північного Сходу України як складових стійкості рослинного покриву» (номер держреєстрації 0110U007592), «Стан і динаміка фітопопуляцій в екосистемах Північного Сходу України за умов різного ступеня та характеру антропогенного впливу» (номер держреєстрації 0115U007150).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сучасному етапі вивчення розмірних ознак рослин, як структурних елементів популяцій та власне розмірної структури популяцій є одним із важливих напрямків наукових досліджень, що досить активно розвивається. Доцільним є його застосування і до лікарських рослин, стосовно яких зараз особливого гостро стоїть питання сталого та невиснажливого використання їхніх ресурсів [5; 6; 7]. Встановлення розмірних ознак рослин та популяцій безпосередньо пов'язано із застосуванням морфометричного аналізу [8; 9; 10; 11]. На тлі наявності досить значної кількості робіт, в яких надається інформація про розмір об'єктів вивчення, частка розробок з даними власне про розмірну структуру тих чи інших сукупностей рослин є відносно незначною. Хоча доцільність аналізу співвідношення в фітоценозах рослин різних розмірних груп, а також інформативність даного показника ще декілька десятиріч назад була доведена в класичних ботанічних роботах [12; 13]. Останнім часом дані про розмірну структуру ценопопуляцій рослин найчастіше наводяться в роботах, присвячених вивченню конкурентних взаємовідносин [14; 15; 16], стану лісових фітоценозів та їх природного відновлення [17; 18; 19].

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Метою нашого дослідження було оцінити розмірні величини рослин *Saponaria officinalis* та визначити їх морфометричні особливості в різних лучних фітоценозах РЛП «Сеймський». Для досягнення мети були поставлені такі завдання: 1) визначити величини провідних статичних метричних й алометричних морфопараметрів у рослин *S. officinalis* у лучних фітоценозах, які є типовими для території РЛП; 2) проаналізувати характер зміни значень морфопараметрів за досліджуваними угрупованнями; 3) визначити характерні морфоознаки рослин *S. officinalis* у різних еколого-ценотичних умовах.



**Новизна.** За результатами дослідження вперше для території РЛП «Сеймський» було вивчено розмірні величини *S. officinalis* у популяціях, що засвідчило формування особини лікарських рослин зі специфічним комплексом значень провідних морфопараметрів у кожному із місцезростань, а також оцінено вираженість морфологічної мінливості та пластичності.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** В основу даної публікації покладено результати досліджень, які здійснювалися в умовах РЛП «Сеймський» у 2020–2022 рр. Аналізом було охоплено сім популяцій *S. officinalis*. Усі вони сформувався у різних фітоценозах із домінуванням *Elytrigia repens* (L.) Nevski. Досліджувані популяції репрезентовані у складі таких асоціацій та угруповань. Асоціації: *Elytrigietum repentis purum*; *Elytrigietum (repentis) achilleosum (submillefoliae)*; *Elytrigietum (repentis) poosum (pratensis)*. Угруповання: *Elytrigia repens*+*Achillea submillefolium* – *Artemisia absinthium*; *Elytrigia repens*+*Achillea submillefolium* – *Urtica dioica*; *Elytrigia repens*+*Artemisia absinthium*; *Elytrigia repens*+*Artemisia vulgaris*.

Для визначення розмірних параметрів рослин

досліджуваного виду, а також установлення деяких інших видів структури ценопопуляцій було використано морфометричний аналіз. При цьому в досліджуваних ценопопуляціях за випадковою схемою відбирали 20–30 рослин. У них відповідно оцінювали низку статичних метричних та статичних алометричних показників [20; 21].

Для оцінки статистичної достовірності отриманих кількісних даних та їхнього узагальнення застосовували точкове, інтервальне оцінювання та дисперсійний аналіз [22]. Це забезпечувалось використанням статистичних комп'ютерних пакетів STATISTICA 13,0, «ANOVA» та PAST.

**Викладення основного матеріалу.** Результати оцінки розмірних величин *S. officinalis* у популяціях засвідчують, що у кожному із місцезростань формуються особини лікарських рослин зі специфічним комплексом значень провідних морфопараметрів (табл. 2).

Заресстровані нами міжпопуляційні відмінності у показниках морфопараметрів майже завжди є статистично достовірними, проте можуть бути і винятки для *S. officinalis* до їх числа належать лише показники відносного приросту (HWR).

Таблиця 1

**Перелік статичних метричних та алометричних морфопараметрів, що були використані для оцінки стану рослин *Saponaria officinalis***

Назва морфопараметра	Умовні позначення	Одиниця виміру
<b>Статичні метричні морфопараметри</b>		
Загальна маса рослини	W	г
Фітомаса надземних органів	Wab	г
Фітомаса підземних органів	W und	г
Загальна маса вегетативних органів	Wveg	г
Загальна фітомаса листків	WL	г
Фітомаса стебла	Wst	г
Фітомаса одного листка	WL1	г
Загальна площа поверхні листків	A	см <sup>2</sup>
Площа одного листка	a	см <sup>2</sup>
Загальна кількість листків	NL	шт.
Висота рослини	H	см
Загальна маса генеративних органів	Wgen	г
Маса одного генеративного органу	Wgen1	г
Загальна кількість генеративних органів	Ngen	шт.
<b>Статичні алометричні морфопараметри</b>		
Площа листків на одиницю фітомаси	LAR = A / W	см <sup>2</sup> /г
Фотосинтетичне зусилля	LWR = WL / W	г/г
Відносний приріст	HWR = H / W	см/г
	HWR = L / W	см/г
Відношення загальної площі листків до діаметра стебла	ADR = A / D	см <sup>2</sup> /мм
Співвідношення між висотою рослини та діаметром стебла	HDR = H / D	см/см
Репродуктивне зусилля	RE1 = (Wgen/W) × 100	%
	RE2 = (Wgen / A) × 100	%

Таблиця 2

Середні значення морфометричних параметрів рослин у популяціях *Saroparia officinalis*

Морфопараметри	Асоціація/Групування					
	<i>Elytrigietum repentis purum</i>	<i>Elytrigietum (repentis) achilleosum (submillefoliae)</i>	<i>Elytrigia repens+Achillea submillefolium – Artemisia absinthium</i>	<i>Elytrigia repens+Achillea submillefolium – Urtica dioica</i>	<i>Elytrigietum (repentis) poosum (pratensis)</i>	<i>Elytrigia repens+Artemisia absinthium</i>
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$
	<b>Стагичні метричні морфопараметри</b>					
W	39,39 ± 1,32	41,46 ± 1,40	47,85 ± 1,49	53,76 ± 1,64	51,81 ± 1,59	46,82 ± 1,44
W ab	34,7 ± 1,05	35,7 ± 1,53	42,4 ± 1,33	49,3 ± 1,63	47,3 ± 1,63	42,1 ± 1,11
W und	4,6 ± 0,58	5,6 ± 0,83	5,3 ± 0,72	4,3 ± 0,40	4,4 ± 0,51	4,7 ± 0,61
WL	7,89 ± 1,26	4,31 ± 0,55	4,25 ± 0,70	8,64 ± 1,20	9,36 ± 1,32	11,08 ± 1,533
W st	25,5 ± 1,08	29,7 ± 1,58	36,2 ± 1,86	37,3 ± 0,99	34,9 ± 2,31	26,4 ± 2,13
WL1	0,39 ± 0,04	0,26 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,41 ± 0,04	0,48 ± 0,06	0,39 ± 0,049
A	184,3 ± 13,54	135,6 ± 4,50	213,3 ± 12,58	219,1 ± 9,52	244,7 ± 7,98	189,5 ± 12,41
NL	19,6 ± 1,51	16,2 ± 0,87	18,1 ± 0,98	20,3 ± 1,06	18,5 ± 0,86	28,3 ± 1,66
a	9,8 ± 0,75	8,6 ± 0,37	11,9 ± 0,48	11,2 ± 0,63	13,6 ± 0,72	7,4 ± 0,65
H	35,1 ± 1,11	34,4 ± 0,72	44,7 ± 1,44	55,1 ± 1,26	46,1 ± 1,23	41,9 ± 1,11
W gen	1,3 ± 0,37	1,7 ± 0,21	2,0 ± 0,24	3,4 ± 0,42	3,0 ± 0,39	4,6 ± 0,80
W gen1	0,1 ± 0,02	0,2 ± 0,02	0,1 ± 0,01	0,2 ± 0,02	0,2 ± 0,02	0,3 ± 0,04
N gen	12,2 ± 0,81	10,1 ± 0,52	15,3 ± 0,54	19,1 ± 0,67	16,3 ± 0,64	17,0 ± 0,66
	<b>Стагичні алометричні морфопараметри</b>					
LAR	5,44 ± 0,469	3,91 ± 0,260	5,14 ± 0,388	4,54 ± 0,292	5,22 ± 0,202	4,55 ± 0,335
LWR	0,21 ± 0,031	0,12 ± 0,017	0,09 ± 0,018	0,16 ± 0,018	0,19 ± 0,030	0,22 ± 0,031
HWR	1,02 ± 0,038	0,98 ± 0,046	1,06 ± 0,045	1,12 ± 0,038	0,99 ± 0,053	0,99 ± 0,024
ADR	386,41 ± 38,503	528,89 ± 62,845	448,24 ± 40,887	349,86 ± 24,906	532,00 ± 29,569	354,66 ± 34,566
HDR	72,24 ± 3,779	136,06 ± 18,211	92,53 ± 4,543	87,39 ± 4,516	101,53 ± 6,776	79,13 ± 8,139
RE2	0,60 ± 0,162	1,30 ± 0,162	0,94 ± 0,109	1,61 ± 0,222	1,245 ± 0,160	2,58 ± 0,460
						<i>Elytrigia repens+ Artemisia vulgaris</i>
						$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$
						49,11 ± 1,43
						46,4 ± 1,01
						2,7 ± 0,07
						13,53 ± 1,45
						24,9 ± 2,67
						0,50 ± 0,04
						190,7 ± 9,70
						26,6 ± 1,21
						7,5 ± 0,50
						47,7 ± 0,88
						7,9 ± 1,23
						0,4 ± 0,05
						21,3 ± 1,21

Усі морфопараметри демонструють свої особливості щодо змін величин за досліджуваними фітоценозами. Це вказує на те, що кожен із розмірних показників проявляє індивідуальні особливості і відіграє специфічну роль при формуванні у рослин комплексу морфологічних адаптацій до умов конкретних місцезростань.

Разом з тим, у зміні розмірних величин за популяціями у досліджуваних видів лікарських рослин виявлено і прояв певних загальних тенденцій. У *S. officinalis* із 21 показника, охоплених вивченням, найбільші величини восьми припадають на угруповання *Elytrigia repens*+*Artemisia vulgaris*, а найбільші показники ще восьми (по чотири в кожній популяції) – на асоціацію *Elytrigietum (repentis) poosum (pratensis)* та угруповання *Elytrigia repens*+*Achillea submillefolium*–*Urtica dioica*. У популяції цього виду проявилась досить чітка закономірність і у розподілі найменших значень: вісім з них відзначено у популяції із асоціацій *Elytrigietum (repentis) achilleosum (submillefoliae)* та сім – в *Elytrigietum repentis purum*.

Популяціям *S. officinalis* притаманне формування у кожному із місцезростань рослин із певними особливостями морфоструктури. Відмінною особливістю рослин *S. officinalis* із асоціації *Elytrigietum (repentis) achilleosum (submillefoliae)* є найменші значення площі листової поверхні ( $A=135,62\pm 4,50$  см<sup>2</sup>) та кількості листків ( $NL=16,21\pm 0,871$  шт.). Рослини з угруповання *Elytrigia repens*+*Achillea submillefolium*–*Urtica dioica* вирізняються найбільшими показниками маси ( $W=53,76\pm 1,643$  г) та висоти ( $H=55,12\pm 1,263$  см).

З опорою на результати морфометричного аналізу, на основі методики, яка базується на детальному аналізі кореляційних взаємозв'язків між морфопараметрами, була здійснена оцінка морфоінтегрованості рослин [23]. Встановлено, що їм загалом притаманний досить високий ступінь цілісності. У досліджуваного виду кореляційні плеяди здебільшого чітко виділяються на рівні значень коефіцієнта кореляції 0,85 і вище.

Отже, у рослин *S. officinalis* за місцезростаннями має місце чітко виражена зміна габітусу та архітекtonіки. Рівень морфоінтеграції особин – це один із чинників, який є визначальним щодо формування у різних угрупованнях рослин характерного розміру та морфоструктури. У свою чергу, зазначені факти є проявом та результатом формування у рослин морфологічних адаптацій до умов місцезростань.

У популяції *S. officinalis* значення коефіцієнту варіації морфопараметрів як ознаки внутрішньопопуляційного варіювання (мінливості), репрезентують усі його градації. При цьому переважають значення, що відповідають діапазону варіювання від 20 до 60% (3–4 градації, тобто середнього та великого ступенів варіювання). У низки показників (NL, WL, WL1, Wab та ін.) найменші величини варіювання

припадають на популяцію із угруповання *Elytrigia repens*+*Artemisia vulgaris*.

Результати проведених досліджень об'єктивно свідчать, що у досліджуваного виду чітко проявляється певний рівень внутрішньопопуляційного варіювання розмірних величин, тобто має місце явище мінливості. Кожному морфпараметру притаманна специфіка як в аспекті досягнення певних величин варіювання (показників розмаху, коефіцієнту варіації тощо), так і у плані їхньої зміни за фітоценозами. За параметрами внутрішньопопуляційного варіювання значення коефіцієнту варіації розмірних величин охоплюють усі п'ять градацій при перевищенні у окремих показників 60%.

**Головні висновки.** Отже, результати дослідження розмірних ознак рослин *S. officinalis* засвідчили, що у них залежно від умов місцезростань мають місце закономірні зміни абсолютного розміру та архітекtonіки рослин. Встановлено, що розмірні ознаки рослин статистично достовірно залежать від характеру та ознак фітоценотичного оточення (від видового складу домінантів, загального проективного покриття видів, які беруть участь у формуванні фітоценозів, від проективного покриття домінантів тощо), впливу абіотичних чинників, насамперед, рівня зволоження ґрунту, а також від параметрів антропопресії.

Загалом, розмір та особливості морфоструктури є важливими ознаками рослин та популяцій *S. officinalis*, які зростають на території РЛП «Сеймський». При цьому трансформація розмірних величин та габітусу виступає важливим механізмом адаптації лікарських рослин до умов місцезростань. Формування у різних фітоценозах рослин певного розміру та морфоструктури є наслідком складної взаємодії комплексу «внутрішніх» та «зовнішніх» чинників. Як доводять результати наших досліджень, наочним проявом перших з них є виявлені відмінності у морфоінтегрованості рослин досліджуваного виду. У свою чергу, зареєстровані відмінності у ступені прояву морфологічної мінливості та пластичності, є прикладом формування на рівні рослин та популяцій відгуку на систему взаємодій характеристик, обумовлених належністю до умовам конкретних місцезростань.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Матеріали публікації можуть бути використані Сумським національним аграрним університетом у навчальному процесі кафедри екології та ботаніки при викладанні дисциплін «Лікарські рослини», «Ботаніка», «Заповідна справа», «Збалансоване природокористування». А також від час проведення польової практики та написання кваліфікаційних робіт.

Надалі доцільно продовжити проведення досліджень, зокрема здійснення оцінки стану популяцій *S. officinalis* на основі застосування комплексного популяційного аналізу. Який забезпечить установлення низки важливих кількісних та якісних характе-

ристик популяцій досліджуваного виду. Детальніше вивчення особливостей існування дасть можливість цілеспрямовано втручатися в процеси росту і розвитку рослин, більш повно використовувати природні властивості рослин для збереження та відтворення популяції та підвищення її продуктивності.

### Література

1. Тишков А. А. Теорія і практика збереження біорізноманіття (до методології охорони живої природи). Львів : Новий час, 2001. 100 с.
2. Андрієнко Т. Л. Заповідні скарби Сумщини. Суми : Джерело, 2001. 208 с.
3. Андрієнко Т. Л., Білик Г. І., Брадів Є. М. та ін. Геоботанічне районування Української РСР. К. : Наук. думка, 1977. 302 с.
4. Маринич О.М. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. *Український географічний журнал*. 2003. № 1. С. 16-20.
5. Zubtsova I., Penkovska L., Skliar V., Skliar Yu. Dimensional features of cenopopulations of some species of medicinal plants in the conditions of North-East Ukraine. *AgroLife Journal*. 2019. № 8 (2), 191-201.
6. Зубцова І. В. Розмірні ознаки ценопопуляцій *Polygonum aviculare* L. в умовах заплавних лук Кролевецько-Глухівського геоботанічного району. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія «Біологічні науки»*. Луцьк, 2019. № 3 (387). С. 45–52.
7. Зубцова І. В., Скляр В. Г. Розмірні характеристики рослин та популяцій *Leonurus villosus* Desf. ex Spreng на заплавних луках Кролевецько-Глухівського геоботанічного району. *Вісник Сумського НАУ. Серія «Агрономія і біологія»*. 2019. № 3 (37). С. 47-56.
8. Hunt R. Plant growth analysis. London: Arnold, 1978. 67 p.
9. Бондарєва Л.М., Кирильчук К.С., Коровякова Т.О. Репродуктивне зусилля основних господарських груп лучних рослин на заплавних луках північного сходу України в умовах пасквального та фенісіциального навантаження. *Вісник СНАУ. Серія «Агрономія і біологія»*. 2012. №9 (24). С. 3–6.
10. Злобін Ю. А., Скляр В. Г., Бондарєва Л. М., Кирильчук К. С. Концепція морфометрії у сучасній ботаніці. *Чорноморск. ботан. журн.* 2009. 5(1). С. 5–22.
11. Кирильчук К. С. Популяційна структура *Medicago falcata* L. на заплавних луках Лісостепової зони в умовах пасовищних та сінокісних навантажень. *Вісник Харківського університету*. 2014. № 20 (1100). С. 305–314.
12. Hara, T., J. van Der Toorn & Mook, J. H. Growth dynamics and size structure of shoots of phragmites australis, a Clonal plant. *Journal of Ecology*. 1993 № 81 (1). С. 47–60.
13. Weiner, J. Size hierarchies in experimental populations of annual plants. *Ecology*. 1985 № 66 (3). С. 743-752.
14. Gordon, B. Bonan. The size structure of theoretical plant populations: spatial patterns and neighborhood effects. *Ecology*. 1988. № 69(6). С. 1721–1730.
15. Schwinning, S., & Weiner J. Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. *Oecologia*. 1998, 113(1). С. 447–455.
16. Скляр В. Г., Злобін Ю.А. Внутрішньопопуляційна структура та методика її вивчення у деревних лісоутворюючих видів. *Чорноморський ботан. журн.* 2013. Т. 9, № 3. С. 316–329.
17. Поздній, Є. В., і І.О. Комарова. «Морфометричні показники *Robinia Pseudoacacia* L. території ЦГЗК». *Екологічний вісник Криворіжжя*. 2018 №3. С. 80-82. <https://doi.org/10.31812/ecobulletinkrd.v3i.6875>.
18. Пономарьова О.А. Зміни анатомічної будови листків дерев роду *Tilia* L. як показник адаптації до різних до різних умов зростання. *Питання біоіндикації та екології : зб. наук. праць*. 2013. № 18 (2). С. 105-120.
19. Скляр В. Г. Розмірна структура підросту *Acer platanoides* L. в лісових фітоценозах Лівобережного Полісся України. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2015. Вип. 70. С. 138–143.
20. Злобін Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста. Сумы: Університетська книга, 2009. 263 с.
21. Злобін Ю. А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. Казань, 1989. 146 с.
22. Злобін Ю. А., Скляр В. Г. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології : навч. посіб. Суми : «Університетська книга», 2000. 203 с.
23. Skliar, V., Sherstuk, M. Size structure of phytoperations and its quantitative evaluation. *Eureka: Life Sciences*. 2016 № 1. С. 9–16.

## ПРИСТОСУВАЛЬНІ РЕАКЦІЇ ПОПУЛЯЦІЇ ПІДЗЕМНОЇ ПОЛІВКИ (*MICROTUS SUBTERRANEUS*) ДО АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН СЕРЕДОВИЩА

Мякушко С.А.

Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини»  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка,  
ул. Володимирська, 64/13, 01601, м. Київ  
[aloizaloiz@ukr.net](mailto:aloizaloiz@ukr.net)

На матеріалах багаторічних спостережень за популяцією підземної полівки (*Microtus subterraneus* de Selys-Longchamps, 1836) досліджені перетворення репродуктивної стратегії в умовах антропогенно змінного середовища. Дослідження проводили у Канівському природному заповіднику, а їх період охопив різні етапи існування екосистеми, обумовлені антропогенним впливом. Для аналізу обрано два цикли динаміки щільності популяції підземної полівки, один з яких припадає на період мінімального впливу (1980–1984 рр.), а інший – відповідає сучасній ситуації (2008–2013 рр.). Порівняння ключових параметрів за ці інтервали часу найконтрастніше демонструють зміни популяційної стратегії, які відбулися за останні три десятиріччя. Показано, що тривале існування в антропогенно трансформованому середовищі обумовило ряд пристосувальних реакцій на популяційному рівні. На фоні зафіксованого раніше явища здрібнення (зменшення розмірно-масових показників особин гризунів) відбулися значні зміни репродуктивної стратегії популяції. Здрібнення обумовлює скорочення енергетичних витрат як окремих індивідів, так і популяції в цілому. Пригнічення або відмова від розмноження (принаймні окремих особин) дає можливість збільшувати частку енергії, яка забезпечує виживання у несприятливих умовах. Серед дорослих самок підземної полівки відбулася диференціація двох груп особин з, ймовірно, різними функціональними задачами: групи крупних індивідів (забезпечують відтворення) і групи дрібних тварин (переважно забезпечують переживання популяцією несприятливих умов). Порівняння поточних результатів з нашими попередніми даними показало, що інтенсифікація розмноження, яка відмічалася у перші 15 років після впливу, судячи з усього, себе не виправдала, оскільки супроводжувалася підвищеною смертністю і лише поглиблювала дестабілізацію. З позицій концепції екологічного (енергетичного) балансу зроблена спроба теоретичного обґрунтування наведених феноменів. Зазначена концепція постулює альтернативність двох «статей витрат» енергії біосистемами – підтримання власного існування і забезпечення відтворення. Останнє обумовлює, що зменшення витрат на розмноження відкриває можливість для росту частки енергії, яку можна витратити на переживання несприятливих умов і забезпечення життєздатності. *Ключові слова:* підземна полівка, динаміка популяції, розмноження, здрібнення, екологічний баланс.

### Adaptive responses of the pine vole (*Microtus subterraneus*) population to anthropogenic environmental changes. Myakushko S.

Based on the materials of long-term observations of the pine vole population (*Microtus subterraneus* de Selys-Longchamps, 1836), the transformation of the reproductive strategy in the conditions of an anthropogenically changing environment was studied. Research was carried out in the Kaniv Nature Reserve, and their period covered various stages of the ecosystem, due to anthropogenic influence. For the analysis, two cycles of population density dynamics of the pine vole were selected, one of which falls during the period of minimal influence (1980–1984), and the other corresponds to the current situation (2008–2013). A comparison of the main parameters for these periods most contrasts the changes in the population strategy that have taken place over the past three decades. It is shown that the prolonged existence in an anthropogenically transformed environment caused several adaptive reactions at the population level. Against the background of the previously recorded phenomenon of the shrinking (decrease in the size and mass indicators of rodents), significant changes in the reproductive strategy of the population occurred. Shrinking causes a reduction in the energy costs of both individual individuals and the population as a whole. Suppression or refusal of reproduction (at least some individuals) makes it possible to increase the share of energy that ensures survival in adverse conditions. Among adult pine vole females, there is a differentiation of two groups of individuals with probably different functional tasks: groups of large individuals (ensure reproduction) and a group of small animals (mainly ensure that the population survives adverse conditions). A comparison of the current results with our previous data showed that the intensification of reproduction, which was noted in the first 15 years after exposure, did not justify itself, as it was accompanied by increased mortality and only deepened the destabilization. From the standpoint of the concept of the ecological (energy) balance, a theoretical justification of the above phenomena has been attempted. This concept postulates the alternative of two "cost items" of energy by biosystems – maintaining its own existence and ensuring reproduction. This determines that reducing the cost of reproduction opens up the opportunity for the growth of the share of energy that can be spent on experiencing adverse conditions and ensuring viability. *Key words:* pine vole, population dynamics, reproduction, shrinking, ecological balance.

**Постановка проблеми.** Повсюдна антропогенна трансформація природного середовища потребує від популяцій тварин відповідних пристосовань до змінних умов. Проте дана ситуація ускладнюється тим, що антропогенний фактор для популяції є неспецифічним. Він був відсутнім упро-

довж тривалої еволюції видів, тому існуючі у популяції схеми реагувань далеко не завжди виявляються адекватними та успішними. У таких умовах іноді доводиться неодноразово змінювати стратегію виживання, по суті перебираючи сукупність доступних варіантів реагування.

**Актуальність дослідження.** Зараз можна вважати безальтернативним твердження, що антропогенний вплив має свої специфічні прояви на різних рівнях організації біосистем – від особин до популяції та їх сукупностей у межах екосистеми. Проте, у першу чергу, увагу дослідників привертають наслідки такого впливу. Не має сумнівів, що роботи у даному напрямку є важливими, але без знання механізмів впливу та зворотної реакції біосистем, отримати адекватне уявлення про такі процеси неможливо.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** У дослідженні використані дані моніторингових спостережень за популяцією одного із фонових видів лісових гризунів грабової діброви Канівського природного заповідника. Робота виконана у межах науково-дослідних тем КНУ імені Тараса Шевченка «Комплексна оцінка стану екосистем, їх складових та адаптацій біосистем до умов навколишнього середовища» та «Моніторинг структурно-функціональної організації біотичних угруповань з метою оцінки стану екосистем у змінних умовах довкілля».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Динаміка популяцій гризунів є дуже чутливою до змін середовища, що доволі часто використовують для індикації якості довкілля, визначення спрямованості та глибини порушень [1–3]. Між тим нерідко відмічають абсолютно різні популяційні реакції на ідентичні зовнішні впливи [4–5]. Для пояснення цього слід враховувати, що перед популяцією, як і будь-якою іншою біосистемою, постають дві першочергові задачі – виживання і відтворення у часі [6]. В конкретному часі і просторі ці задачі є альтернативними, оскільки передбачають для свого розв'язання компромісного розподілу певної кількості доступної енергії. Проте компроміс завжди є ситуативним рішенням, тому зміна обставин може супроводжуватися перерозподілом і перенаправленням потоків енергії, що надходить до популяції. Саме такі зміни пристосувальних процесів на популяційному рівні знаходяться у центрі уваги в даному дослідженні.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Метою даного дослідження був аналіз змін репродуктивної стратегії, як одної із форм пристосувальних реакцій популяції у відповідь на антропогенну трансформацію середовища.

**Новизна.** На підставі матеріалів багаторічних спостережень вперше досліджені зміни стратегії розмноження, що пов'язано з необхідністю відновлення і підтримання екологічного балансу у перетвореному середовищі.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Обґрунтована гіпотеза, яка пояснює, що здрібнення особин є своєрідною популяційною стратегією щодо підтримання екологічного балансу. Це супроводжується зміною репродуктивної стратегії популяції, кінцевою метою чого є скорочення енергетичних

витрат як окремих індивідів, так і популяції у цілому. Пригнічення або відмова від розмноження (принаймні окремих груп особин) дає можливість збільшувати частку енергії, яка забезпечує виживання у несприятливих умовах.

**Викладення основного матеріалу.** Дослідження базується на матеріалах моніторингу за станом популяції лісових гризунів грабової діброви Канівського природного заповідника. Дані спостереження, які були розпочаті у 1971 р. і тривають до теперішнього часу, охоплюють різні періоди існування заповідної екосистеми. Відокремлення періодів обумовлені, з одного боку, суцесійними перетвореннями біоти, а з іншого – специфічними формами антропогенного впливу упродовж зазначеного часу. Невелика площа, розташування у густонаселеному районі України, взаємодія із сусідніми територіями, які залучені до господарської діяльності, завжди обумовлювали антропогенний тиск на заповідну територію. Його характер та інтенсивність визначали зміни режиму охорони й ліквідація статусу заповідника в 1951–1968 рр. Пізніше територія зазнавала зростаючого техногенного тиску, до якого додалося радіоактивне забруднення [7]. Ситуацію погіршує синергічна дія хімічних токсикантів у зв'язку з розташуванням заповідника у зоні високої токсичності ґрунтів [8]. До фонових видів заповідної лісової екосистеми належать такі види: полівка руда (*Myodes glareolus* Schreber, 1780), миша жовтогорла (*Sylvaemus flavicollis* Melchior, 1834) і полівка підземна (*Microtus subterraneus* de Selys-Longchamps, 1836) (за іншими уявленнями *Terricola subterraneus* [9]). Останній вид є субдомінантом в угрупованні лісових гризунів, поступаючись у чисельності лише рудій полівці. Саме популяція цього виду є об'єктом даного дослідження.

Загалом для аналізу і порівняння своїх характеристик виділені чотири періоди існування екосистеми. Перший період отримав назву інерційного, його початок припадає на відновлення у 1968 р. статусу заповідника на території учбово-дослідного лісового господарства. Специфіка періоду пов'язана з поступовим рухом грабової діброви до клімаксного стану після тривалого періоду рубок і розчистки лісу, різних лісотехнічних заходів і типів рекреації. Перші роки заповідання ще не стерли наслідки господарської діяльності і вони за інерцією впливали на населення гризунів. Другий період (доаварійний) відповідає мінімальному антропогенному впливу на заповідну територію. Третій – післяаварійний – припадає на етап, який почався після аварії на Чорнобильській атомній електростанції у 1986 р., коли в популяціях гризунів був зафіксований комплекс реакцій, що свідчили про глибокі порушення динаміки. Детальніше періодизація стану середовища мешкання гризунів і відповідні популяційні ефекти наведені у наших попередніх роботах [10–12]. Останній період триває до нашого часу і характеризує поточну ситуацію з популяціями гризунів.

Для даного дослідження обрано два цикли динаміки популяції підземної полівки, один з яких припадає на другий, а інший – на четвертий період. Відповідно у роботі використовуються назви – другий (1980–1984 рр.) і четвертий цикли (2008–2013 рр.). Порівняння показників саме у ці часи найконтрастніше демонструють зміни популяційної стратегії, які відбулися за останні три десятиріччя. Цикли динаміки охоплюють проміжок часу від депресії до депресії щільності популяції і можуть тривати 5–6 років. Вони характеризуються різним рівнем щільності, проте використання усереднених показників, робить можливим їх співвіднесення.

Відлови тварин проводили за допомогою традиційного методу облікових ділянок. У грабовому лісі ділянки розташовували на схилах із різною експозицією і вирівняних плато, охоплюючи території з різним ступенем розвитку підліску, трав'янистої рослинності та лісової підстилки. У межах даного дослідження вибірка складала 485 особин підземної полівки. Крім традиційних екстер'єрних показників (маса тіла (W), довжина тіла (L), проаналізовано показник вгодованості (W/L), який являє собою індекс і тому є чутливішим для відображення будь-яких впливів. Аналіз загальноприйнятих простих показників, що характеризують демографічні

процеси (кількість вагітних, ялових та самок, що розмножуються; кількість виводків на одну самку, що розмножується; розмір виводка), був доповнений рядом комплексних (розрахункових) показників. Крім індивідуальної плодючості (розмір виводків) розглядали популяційну плодючість, показник якої є добутком кількості й розміру виводка. На нашу думку, є доцільним увести до даного показника також кількість самок, що розмножуються, і, таким чином, отримати уявлення про напруженість процесів відтворення на певний момент часу. Показник плодючості, який використовується у цій роботі, є добутком трьох зазначених параметрів.

Показник реального популяційного відтворення (PRR) є добутком частки самок, що розмножуються, від загальної кількості тварин у виборці, середнього розміру їх виводка та відносної чисельності (або щільності) популяції. На відміну від цього, показник популяційного потенціалу відтворення (PPR) є добутком частки статевозрілих самок від загальної кількості тварин, багаторічного максимального розміру виводка та чисельності популяції на певний момент часу. Коефіцієнт репродукції (IR), який є відношенням PRR і PPR, свідчить про ступінь реалізації потенціалу відтворення. Показник біомаси (B) являє собою сумарну масу особин у грамах у перерахунку на 1 га [13–14].

Таблиця 1

**Розмірно-масові параметри особин підземної полівки упродовж двох циклів динаміки щільності популяції**

Показник	2-й цикл (1980–1984 рр.)		4-й цикл (2008–2013 рр.)	
	M ± m	Cv,%	M ± m	Cv,%
<b>Всі особини</b>				
L, мм	83,33 ± 0,11	41,4	68,11 ± 0,37	23,6
Ca, мм	25,55 ± 0,21	11,5	23,60 ± 0,36	12,1
Pl, мм	13,79 ± 0,08	6,9	13,61 ± 0,05	6,2
W, г	16,87 ± 0,45	55,6	12,11 ± 0,37	40,4
W/L, г/см	2,191 ± 0,042	33,4	1,681 ± 0,143	23,8
<b>Самки, які вперше залучені до відтворення</b>				
L, мм	90,18 ± 1,22	31,1	82,41 ± 0,79	12,9
Ca, мм	27,33 ± 0,12	10,9	26,04 ± 0,41	8,7
Pl, мм	14,04 ± 0,12	5,1	13,71 ± 0,11	5,0
W, г	18,82 ± 0,62	42,5	16,09 ± 0,34	30,4
W/L, г/см	2,224 ± 0,14	34,8	1,471 ± 0,09	15,1

Таблиця 2

**Характеристики відтворення в популяції підземної полівки упродовж різних циклів**

Показник	2-й цикл (1980–1984 рр.)	4-й цикл (2008–2013 рр.)
Частка самок, що розмножуються, від їх загальної кількості (%)	58,61 ± 4,53	51,33 ± 2,13
Частка вагітних особин серед самок, що розмножуються (%)	62,11 ± 1,67	50,56 ± 2,08
Частка ялових самок серед статевозрілих (%)	4,33 ± 1,22	16,97 ± 2,31
Частка ювенільних особин в популяції (%)	43,31 ± 2,46	22,03 ± 3,61
Кількість виводків (репродукцій)	1,86 ± 0,05	1,22 ± 0,07
Середній розмір виводка	6,53 ± 0,12	4,31 ± 0,31
Плодючість	6,04 ± 0,10	3,76 ± 0,65
Коефіцієнт репродукції (IR)	0,86 ± 0,03	0,79 ± 0,04

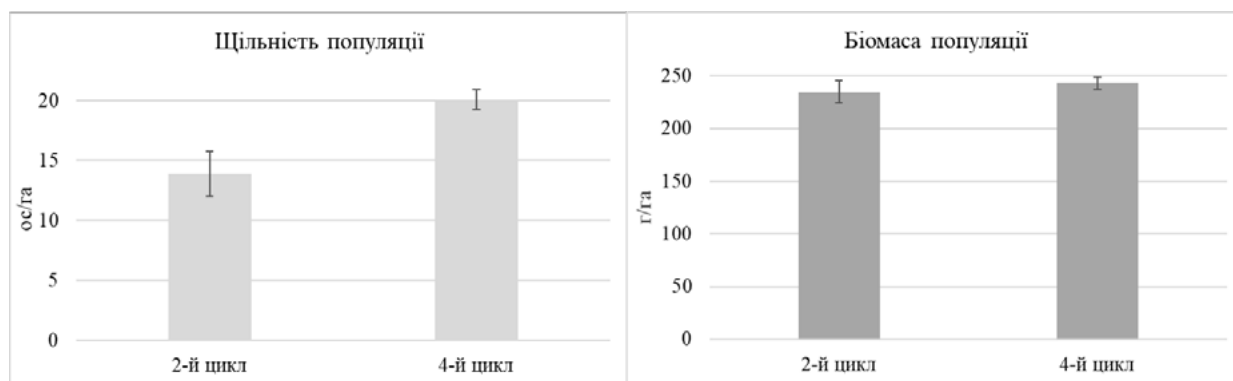


Рис. 1. Щільність і біомаса популяції підземної полівки упродовж двох циклів динаміки

У таблиці 1 наведені показники, які демонструють зменшення розмірно-масових параметрів особин підземної полівки упродовж останнього циклу динаміки щільності популяції. Дана тенденція притаманна абсолютно усім проаналізованим вимірам, але рекордними виявляються зниження маси тіла (28,2%) і вгодованості особин (23,3%). Аналогічний аналіз був проведений окремо для самок, які вперше вступають у розмноження. Серед представників цієї групи можна відмітити схожі зміни, хоча і менш виражені (для маси тіла зменшення становить 14,5%, для вгодованості – 17,6%). Іншими словами, порівняно з ситуацією, яка мала місце 30 років тому, «сучасні» особини полівки не тільки стають майже на третину дрібнішими, але й залучаються до відтворення з меншими екстер'єрними параметрами.

Відмінності у показниках розмноження чітко простежуються на матеріалах таблиці 2. Усі наведені характеристики однозначно свідчать про зниження інтенсивності репродуктивних процесів. Порівняно з 2-м циклом, в популяції скорочується частка самок, які залучені до відтворення, а серед останніх суттєво зменшується індивідуальна пло-

дучість. Особливу увагу привертають два явища: 4-кратне збільшення представленості в популяції ялових самок (таких, які будучи статевозрілими, не беруть участі у розмноженні) і майже дворазове зменшення частки ювенільних особин. Зміни, які відбуваються з двома останніми параметрами, є не тільки найзначнішими, але й дуже інформативними, оскільки однозначно свідчать про незначну реалізацію репродуктивного потенціалу.

На перший погляд, зазначені ефекти знаходяться у протиріччі з даними рисунку 1. Тут можна побачити, що упродовж останнього циклу середня щільність зростає на 31%. Не менш примітним є те, що біомаса популяції достовірно не змінюється. Відсутність узгодження даних фактів з попереднім твердженням про невисоку ефективність розмноження обумовила необхідність детальнішого аналізу тієї групи особин, яка обумовлює найбільший внесок у демографічні процеси – дорослих статевозрілих самок.

Результати такого аналізу представлені на рисунку 2, де в одній системі координат позначені тварини з різною довжиною і масою тіла (по суті, крапка на графіку характеризує вгодованість конкретної особини). На виборці, що характеризує останній цикл динаміки, можна побачити дві чітко відокремлені плеяди показників, одна з яких менша за об'ємом і зміщена у бік високих значень вгодованості. Іншими словами, серед статевозрілих самок виразно відокремлені дві екстер'єрні групи: крупні самки зі значною вгодованістю ( $W/L > 1,35$ ) і середні та дрібні індивіди ( $W/L \leq 1,35$ ). Їх візуальна роз'єднаність на графіку дає підстав для припущення про можливий різний внесок цих груп у популяційні процеси, перш за все, у контексті репродуктивної активності.

Слід зазначити, що у 4-му циклі представленість у популяції цих двох груп є доволі різною: крупні особини складають приблизно 1/5 від загальної кількості дорослих самок. Проте, як можна побачити,

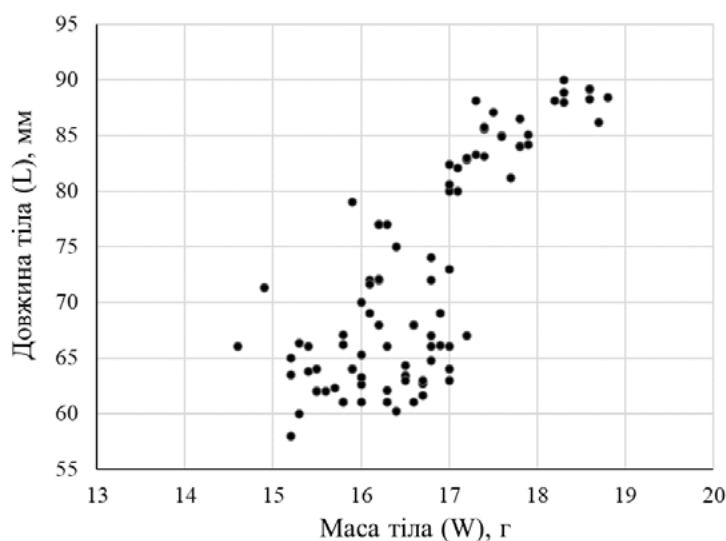


Рис. 2. Параметри двох розмірних груп дорослих самок підземної полівки у 4-му циклі динаміки



чити з таблиці 3, саме їм властиві більші розмір і кількість виводків, популяційна плодючість і дещо вищий коефіцієнт репродукції, який опосередковано свідчить про більшу успішність розмноження. Особливо привертають увагу відмінності у кількості ялових самок: серед середніх і дрібних особин їх кількість є у 13 разів більшою, тобто майже кожна п'ята самка із цієї групи не бере участі у процесах відтворення.

На наш погляд, пояснити наведені феномени можна лише за умов залучення раніше встановлених фактів. У попередніх роботах були висвітлені та обґрунтовані такі ефекти, як зміна типу динаміки популяцій лісових гризунів, порушення різних типів структури популяцій, стратегії розмноження, внутрішньо- і міжпопуляційних зв'язків [14]. В останні 30 років також зафіксовано зменшення розмірно-масових показників особин гризунів, що отримало назву явища здрібнення (phenomenon of shrinking) [15–16]. Процес здрібнення має тенденцію до поглиблення, що не дозволяє вважати його випадковим явищем або артефактом досліджень. Воно відбувається на фоні порушень популяційної динаміки, що дає підстав пов'язувати його з антропогенними змінами середовища. У зв'язку з цим було висунуте припущення, що здрібнення може реалізуватися за допомогою різних механізмів. Так, у результаті смертності із популяції випадають найкрупніші особини і самки, що розмножуються, з їх найбільшими енергетичними потребами. Іншою причиною може бути повільніший ріст і набір маси молодими тваринами. У кінцевому результаті зменшення екстер'єрних параметрів особин скорочує їх питоми енергетичні потреби і дає можливість краще переживати несприятливі умови.

Спроби пов'язати здрібнення і супутні ефекти зі змінами трофічної бази гризунів, успіху не мали. Було встановлено, що у даний період кількісні та якісні показники кормової бази гризунів залишаються майже незмінними, але порушуються взаємозв'язки з динамікою щільності популяцій. Доведено, що стан кормових ресурсів сам по собі не може обумовлювати здрібнення [17]. Це спричинило пошук інших шляхів розв'язання проблеми, зокрема з боку аналізу процесів відтворення, спроба чого і здійснена у даному дослідженні.

Зафіксоване зниження інтенсивності розмноження в популяції підземної полівки, на перший погляд не узгоджується з ростом щільності населення у ході 4-го циклу. Не менш несподіваним є збереження популяційної біомаси приблизно на однаковому рівні. За таких вихідних умов, елементарна логіка не залишає іншого варіанту, крім припущення про краще виживання (життєздатність) наявних особин. На жаль, можливостей для експериментального доведення цієї гіпотези у польових умовах не існує. Проте опосередковано на користь цього свідчить збереження ефективності розмноження: показник IR у межах двох циклів майже не відрізняється.

Значно важче пояснити відокремлення серед репродукуючих самок двох розмірних і, скоріше за все, функціональних груп – крупних особин з високими показниками відтворення і дрібніших індивідів з доволі «скромною» результативністю у плані розмноження. Наявність всередині популяції різних груп особин, внесок яких у демографічні процеси не є однаковим, фіксують доволі часто [18–20]. Більш того, представленість таких груп є динамічною ознакою і закономірно змінюється, наприклад, на різних фазах популяційного циклу [21]. Не можна виключати, що і в нашому випадку дві розмірні групи особин забезпечують реалізацію різних задач: продуктивніші крупні особини відновлюють весною і підтримують влітку поточну чисельність популяції. Одночасно дрібніші тварини, в силу своїх менших енергетичних потреб і витрат на розмноження, краще переживають несприятливі умови, особливо у зимовий період. Пригнічення розмноження або його відстрочка може бути ефективним засобом для такої стратегії [22].

Важливим питанням у цій схемі міркувань є наступне: зазначені вище ефекти являють собою елементи популяційного пристосування чи реакцію на зміну цілком конкретних умов існування, які випадають з нашого поля зору? Найчастіше саме розв'язання цієї проблеми виходить на перший план у багатьох дослідженнях схожого характеру [23–24], одночасно заводячи їх у глухий кут. Базуючись на усьому комплексі популяційних змін, які відбулися за останні 30 років, є всі підстави вважати таку постановку питання помилковою.

Таблиця 3

## Параметри розмноження різних розмірних груп самок у ході 4-го циклу динаміки

Показник	Розмірні групи самок	
	крупні особини	середні і дрібні особини
Частка у популяції (%)	20,53	79,47
Кількість виводків (репродукцій)	1,61	0,63
Середній розмір виводка	6,38	4,24
Плодючість	5,71	3,08
Частка ялових особин (%)	1,44	18,77
Коефіцієнт репродукції (IR)	0,64	0,53

Антропогенна трансформація середовища, безперечно, є зовнішнім для популяції фактором [25]. Проте розглядання популяції лише у якості пасивної жертви для таких впливів, означає неприпустиме спрощення ситуації. На дію несприятливих факторів популяція реагує каскадом пристосувальних реакцій. Оскільки антропогенний вплив є неспецифічним, наявні сценарії реагування далеко не завжди спрацьовують, тому популяції доводиться рухатися «наосліп», перебираючи доступні варіанти. Відображенням цього була, наприклад, інтенсифікація розмноження, що відмічалось нами у перші 15 років після впливу [26]. Така стратегія, судячи з усього, себе не виправдала, оскільки супроводжувалася підвищеною смертністю і лише поглиблювала дестабілізацію [14]. Згодом відбулася зміна стратегії і зараз її загальні риси полягають у наступному. Здрібнення особин обумовлює скорочення енергетичних витрат як окремих індивідів, так і популяції в цілому. Пригнічення або відмова від розмноження (принаймні окремих особин) дає можливість збільшувати частку енергії, яка забезпечує виживання у несприятливих умовах. Теоретичним базисом таких міркувань є концепція екологічного (енергетичного) балансу, яка постулює альтернативність двох «статей витрат» енергії біосистемами – підтримання власного існування і забезпечення відтворення [27]. Іншими словами, зменшення витрат на розмноження відкриває можливість для росту частки енергії, яку можна витратити на переживання несприятливих умов і забезпечення життєздатності.

Зрозуміло, що повна відмова від репродукції не відповідає інтересам будь-якої біосистеми і принципово є неможливою. Саме тому серед дорослих

самок популяції полівки ми фіксуємо диференціацію двох груп з, ймовірно, різними функціональними задачами: групу крупних індивідів (відтворення) і групу дрібних тварин (здебільшого забезпечують переживання). Співвідношення між цими групами напевно є динамічною ознакою і змінюється упродовж популяційного циклу. Проте останні факти поки що існують у статусі припущення і потребують подальшого підтвердження.

**Головні висновки.** Тривале існування в умовах антропогенного впливу обумовило ряд пристосувальних реакцій популяції підземної полівки. На фоні зафіксованого раніше явища здрібнення (суттєвого зменшення розмірно-масових показників особин гризунів) відбулися значні зміни репродуктивної стратегії популяції. Здрібнення обумовлює скорочення енергетичних витрат як окремих індивідів, так і популяції в цілому. Пригнічення або відмова від розмноження (принаймні окремих особин) дає можливість збільшувати частку енергії, яка забезпечує виживання у несприятливих умовах. Серед дорослих самок популяції полівки відбувається диференціація двох груп особин з, ймовірно, різними функціональними задачами: групи крупних індивідів (забезпечують відтворення) і групу дрібних тварин (переважно забезпечують переживання популяцією несприятливих умов).

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження допомагають розширенню уявлень про реагування біосистем популяційного рівня на зміни умов існування під впливом антропогенного пресу. Вивчення такої специфіки реакцій популяцій є важливим для практичної діяльності у галузі охорони природи.

### Література

1. Nater C., van Benthem K., Canale C., Schradin C., Ozgul A. Density feedbacks mediate effects of environmental change on population dynamics of a semi-desert rodent. *Journal of Animal Ecology*. 2018. V. 87. № 6. P. 1534–1546. doi: 10.1111/1365-2656.12888.
2. Oli M. K. Population cycles in voles and lemmings: state of the science and future directions. *Mammal Review*. 2019. V. 49. № 3. P. 226–239. doi: 10.1111/mam.12156.
3. Andreassen H. P., Sundell J., Ecke F., Halle S., Haapakoski M., Henttonen H., Huitu O., Jacob J., Johnsen K., Koskela E., Luque-Larena J. J., Lecomte N., Leirs H., Mariën J., Neby M., Rätti O., Sievert T., Singleton G. R., van Cann J., Vanden Broecke B., Ylönen H. Population cycles and outbreaks of small rodents: ten essential questions we still need to solve. *Oecologia*. 2021. V. 195. № 3. P. 601–622. doi: 10.1007/s00442-020-04810-w.
4. Hansson L., Henttonen H. Rodent dynamics as community processes. *Trends in Ecology & Evolution*. 1988. V. 3. № 8. P. 195–200. doi: 10.1016/0169-5347(88)90006-7.
5. Radchuk V., Ims R. A., Andreassen H. P. From individuals to population cycles: the role of extrinsic and intrinsic factors in rodent populations. *Ecology*. 2016. V. 97. P. 720–732. doi: 10.1890/15-0756.1.
6. Межжерин В. А., Емельянов И. Г., Михалевич О. А. Комплексные подходы в изучении популяций мелких млекопитающих. Киев: Наукова думка, 1991. 204 с.
7. Орлов О. О. Мета, завдання і методи радіоекологічних досліджень у природних заповідниках України, які зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи. *Заповідна справа в Україні*. 1998. Т. 4. № 2. С. 65–68.
8. Грищенко А. М., Остапенко В. Г., Грищенко С. А. Картографические данные определения уровней суммарного техногенного загрязнения окружающей среды по эмбриотоксичности и тератогенности донных отложений и почв части территории Украины до и после аварии на Чернобыльской АЭС. *Доклады АН Украины*. 1993. № 1. С. 127–134.
9. Загороднюк І., Харчук С. Список ссавців України 2020: доповнення та уточнення. *Theriologia Ukrainica*. 2020. Т. 20. С. 10–28. doi: 10.15407/TU2004.
10. Мякушко, С. А. 1999. Многолетние изменения продуктивности популяции подземной полевки. *Вестник зоологии*. Т. 33. № 4–5. С. 45–53.
11. Межжерин В. А., Мякушко С. А. Стратегии популяций мелких грызунов Каневского заповедника в условиях измененной среды обитания под воздействием техногенных загрязнений и аварии на ЧАЭС. *Известия АН. Серия биологическая*. 1998. Т. 3. С. 374–381.

12. Мякушко С. А. Изменение динамики популяций и сообщества грызунов в результате антропогенного воздействия на заповедную экосистему. *Вестник зоологии*. 1998. Т. 32. № 4. С. 76–85.
13. Мякушко С. А. Гетерогенність популяцій гризунів на термінальних фазах динаміки щільності. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Т. 8. № 1. С. 97–102. doi: 10.15421/2017\_193.
14. Мякушко С. А. Багаторічна динаміка популяцій гризунів як критерій стану середовища. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2002. Т. 30. С. 30–34.
15. Myakushko, S. The phenomenon of the shrinking size of bank vole (*Myodes glareolus*) in an anthropogenic environment (experience of 50 years of observations). *Biosystems Diversity*. 2021. V. 29. № 3. P. 211–216. doi:10.15421/012126.
16. Мякушко С. А. Здрібнення особин як стратегія популяцій в антропогенних умовах (досвід 50-річного вивчення популяцій гризунів). *Theriologia Ukrainica*. 2021. Т. 22. С. 133–143. doi: 10.15407/TU2214.
17. Мякушко С. А. Особливості трофічних зв'язків популяцій гризунів у разі зміни стратегії виживання. *Екологічні науки*. 2022. Т. 1. № 40. С. 55–61. doi: 10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.10.
18. Boonstra R., Krebs C. J. Population limitation of the northern red-backed vole in the boreal forests of northern Canada. *Journal of Animal Ecology*. 2006. V. 75. P. 1269–1284. doi: 10.1111/j.1365-2656.2006.01149.x.
19. Bian J.-H., Du S.-Y., Wu Y., Cao Y.-F., Nie X.-H., He H., You Z.-B. Maternal effects and population regulation: maternal density-induced reproduction suppression impairs offspring capacity in response to immediate environment in root voles *Microtus oeconomus*. *Journal of Animal Ecology*. 2015. V. 84. P. 326–336. doi: 10.1111/1365-2656.12307.
20. Pinot A., Barraquand F., Tedesco E., Lecoustre V., Bretagnolle V., Gauffre B. Density-dependent reproduction causes winter crashes in a common vole population. *Population Ecology*. 2016. V. 58. P. 395–405. doi: 10.1007/s10144-016-0552-3.
21. Johnsen K., Boonstra R., Boutin S., Devineau O., Krebs C. J., Andreassen H. P. Surviving winter: food, but not habitat structure, prevents crashes in cyclic vole populations. *Ecology and Evolution*. 2017. V. 7. P. 115–124. doi: 10.1002/ece3.2635.
22. Eccard J. A., Dammhahn M., Ylönen H. The Bruce effect revisited: is pregnancy termination in female rodents an adaptation to ensure breeding success after male turnover in low densities? *Oecologia*. 2017. V. 185. P. 81–94. doi: 10.1007/s00442-017-3904-6.
23. Ims R. A., Bondrup-Nielsen S., Stenseth N. C. Temporal patterns of breeding events in small rodent populations. *Oikos*. 1988. V. 53. № 2. P. 229–234. doi: 10.2307/3566067.
24. Ims R. A., Henden J. A., Killengreen S. T. Collapsing population cycles. *Trends in Ecology & Evolution*. 2008. V. 23. P. 79–86. doi: 10.1016/j.tree.2007.10.010.
25. Ivanter E. V., Kurhinen J. P. Changes in rodent populations in eastern fennoscandia under the influence of anthropogenic transformations of boreal ecosystems. *Biology Bulletin*. 2017. V. 44. P. 1134–1150. doi: 10.1134/S1062359017090035.
26. Мякушко С. А. Стратегии воспроизводства в популяциях грызунов. *Ученые записки Таврического национального университета. Серия биологическая*. 2001. Т. 14. № 2. С. 129–133.
27. Межжерин В. А. Концепция энергетического баланса в современной экологии. *Экология*. 1987. Т. 5. С. 15–22.

---

# ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ ТА ҐРУНТИ

---

УДК 581.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.22>

## БІЛКОВА СИСТЕМА ТВІРНИХ ТКАНИН КОРЕНІВ КУКУРУДЗИ (*ZEA MAYS L.*) ЗА ДІЇ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Богуславська Л.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,  
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро  
[milbogus@gmail.com](mailto:milbogus@gmail.com)

Сполуки металів, які надходять у навколишнє середовище з техногенними емісіями, стають більш небезпечними для екосистем у порівнянні з їх природними сполуками завдяки більшій розчинності. Проблема фітотоксичного ефекту дії кадмію, свинцю та нікелю на кореневу систему рослин інтенсивно досліджується вченими, оскільки не менше половини всієї кількості важких металів надходить у ґрунт, але практично відкритим залишається питання про наявність специфічних ефектів впливу різних металів як окремо, так і разом та можливості їх прояву на рівні клітинної організації ділянок кореня. Одним з найбільш чутливих показників метаболізму рослин є білковий обмін. Показники вмісту білка швидко змінюються за умов впливу забруднювачів різної природи. Проаналізовано реакцію білкової системи зони поділу коренів кукурудзи за окремої та сумісної дії іонів важких металів. Проростання проростків кукурудзи у розчинах нітратів свинцю, кадмію та нікелю супроводжувалося змінами у вмісті альбумінів кореневої меристеми: їх кількість знижувалася протягом проростання (в контролі також відбувалося гальмування накопичення білка, але меншою мірою, ніж у дослідних варіантах). Визначено, що за дії іонів кадмію протягом всього періоду проростання токсична дія важкого металу зменшувалася за показником вмісту водорозчинних білків клітин апікальної меристеми кореня. Знижувалася також інгібуюча дія іонів нікелю, але на 9-ту добу вона ще була значною. Токсична дія свинцю з часом підсилювалася. За спільної дії на останній стадії розвитку проростків встановлено стимулювання процесу синтезу водорозчинних білків, що свідчить про антагоністичний характер взаємодії трьох важких металів у вивчених концентраціях. Коливання інтенсивності синтезу білків корелює зі змінами поліпептидного складу, що проявляється у підсиленні поліпептидів родин БТШ 60 і 90 кД, перебудовах в області низькомолекулярних компонентів, а також зникненні компонентів з високою молекулярною масою 121 і 148 кД. Виявлено білки, поява яких була стабільною протягом всього терміну проростання рослин кукурудзи. *Ключові слова:* кукурудза, кореневі меристеми, важкі метали, поліпептиди.

### **Protein system of formal tissue of maize roots (*Zea mays L.*) under the action of heavy metal ions. Bohuslavskia L.**

Metal compounds that enter the environment with man-made emissions become more dangerous for ecosystems compared to their natural compounds due to greater solubility. The problem of the phytotoxic effect of cadmium, lead, and nickel on the root system of plants is intensively studied by scientists, since at least half of the total amount of heavy metals enters the soil, but the question of the presence of specific effects of exposure to various metals, both individually and together, and the possibility of their manifestation at the level of cellular organization of root areas. One of the most accurate indicators of plant metabolism is protein metabolism. Indicators of protein content change rapidly under conditions of exposure to pollutants of various nature. The reaction of the protein system of the division zone of maize roots under the separate and combined action of heavy metal ions was analyzed. Germination of maize seedlings in solutions of nitrates of lead, cadmium and nickel was accompanied by changes in the content of albumins in the root meristem: their number decreased during germination (the inhibition of protein accumulation also occurred in the control, but to a lesser extent than in the experimental variants). It was determined that under the action of cadmium ions during the entire period of germination, the toxic effect of the heavy metal decreased according to the indicator of the content of water-soluble proteins in the cells of the apical meristem of the root. The inhibitory effect of nickel ions also decreased, but on the 9th day it was still significant. The toxic effect of lead increased over time. Under joint action at the last stage of seedling development, stimulation of the synthesis of water-soluble proteins was established, which indicates the antagonistic nature of the interaction of the three heavy metals in the studied concentrations.

Fluctuations in the intensity of protein synthesis are correlated with changes in the polypeptide composition, which is manifested in the amplification of polypeptides of the BTSH families of 60 and 90 kD, rearrangements in the area of low molecular weight components, as well as the disappearance of components with a high molecular weight of 121 and 148 kD. Proteins were identified, the appearance of which was stable during the entire germination period of maize plants. *Key words:* corn, root meristems, heavy metals, polypeptides.

**Постановка проблеми та актуальність дослідження.** Серед сучасних проблем особливо важливою є дослідження реакції рослин на токсичну дію хімічних сполук. На сьогодні існує значна кількість досліджень з проблем адаптації рослин до впливу важких металів, у яких висвітлюють структурні та

метаболичні зміни, що відбуваються у рослинах природних і штучних біотопів [1–3], але з'ясування механізмів їх комплексної дії на різних рівнях організації рослинного організму потребує подальшого глибокого вивчення. Кінцевий результат відповіді біологічних клітин на комбіновану дію неможливо

передбачити, виходячи із інформації тільки про ефект роздільної дії кожного з факторів. У зв'язку з цим проблема оцінки комплексного впливу на біоту реально існуючих рівнів антропогенного забруднення в сучасній біосфері вважається однією з найбільш актуальних. На цей час основна кількість досліджень присвячена вивченню роздільної дії окремих поллютантів на анатомічні, морфологічні показники, хромосомний апарат клітин, систему антиоксидантного захисту деяких сільськогосподарських рослин [4–5], а відомості про одночасну дію двох і більше стрес-факторів на одну чи декілька фізіолого-біохімічних систем культурних рослин на ранніх етапах онтогенезу вкрай обмежені [5–7]. Тому необхідно визначити закономірності змін деяких фізіолого-біохімічних показників рослин в умовах фітотоксичного ефекту, який індуковано комплексною дією важких металів. Проблема фітотоксичного ефекту дії кадмію, свинцю та нікелю на кореневу систему рослин останнім часом інтенсивно досліджується вченими [8–10], оскільки не менше половини всієї кількості важких металів надходить у ґрунт, але практично відкритим залишається питання про наявність специфічних ефектів впливу різних металів як окремо, так і разом та можливості їх прояву на рівні клітинної організації ділянок кореня. Таким чином, дослідження специфіки синтезу білків у зв'язку з функціональною активністю меристем в умовах дії важких металів, а особливо їх комбінації, є актуальним та науково обґрунтованим для виявлення маркерних ознак стресових механізмів стійкості рослин у техногенно забрудненому середовищі. У зв'язку з цим метою нашої роботи було дослідити комбінований вплив іонів свинцю, кадмію та нікелю на поліпептидний склад водорозчинних білків кореневої меристеми проростків кукурудзи в онтогенезі.

**Матеріали та методи дослідження.** У лабораторних експериментах об'єктами дослідження були рослини гібриду кукурудзи (*Zea mays* L.) Дніпровський-310 (середньостиглий). Для постановки модельного експерименту відбирали неушкоджені зерна кукурудзи в кількості 100–150 зерен на кожний зі зразків. Зерно обробляли розчином перманганату калію, замочували протягом 4 годин, потім пророщували у термостаті ( $t = +27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) протягом двох діб у проточній воді до появи коренів. Після цього проростки пересаджували на досліджувані середовища з іонами нітратів свинцю ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), кадмію ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ) та нікелю ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Досліджувані концентрації металів підбирали шляхом їх максимально наближених доз у навколишньому середовищі, а також тих концентрацій, вплив яких викликає у рослин видимий токсичний ефект, але в цілому рослинний організм здатен розвиватися надалі. Серед металів були обрані саме нітрати, тому що ці сполуки містять звичну для рослин форму азоту. Для екстракції водорозчинних білків наважку 0,1 г гомогенізованого матеріалу

заливали 1 мл дистильованої води, центрифугували протягом 15 хв зі швидкістю 15 000 об/хв. Отриманий супернатант зливали у пробірки для подальшого дослідження. Визначення вмісту білка проводили за методом Бредфорд [11]. Поліпептидний склад фракцій водорозчинних білків клітин меристеми кореня вивчали за допомогою електрофорезу в поліакриламідному гелі з градієнтом 10 – 20%, за наявності 0,1% додецилсульфату натрію у системі Лемлі [12]. Перед нанесенням зразки витримували протягом 5 хв за температури  $100^{\circ}\text{C}$ , та наносили по 80 мкл під буфер на гелієву пластинку. Електрофорез проводили за температури  $+20^{\circ}\text{C}$ . Сила струму становила 40 мА протягом перших 1,5 год, а потім 60 мА протягом 2,5 год. Гелі забарвлювали кумасі діамантовим блакитним R250 в суміші етанол – вода – оцтова кислота у співвідношенні 10 : 5 : 1. Маркерами слугували такі білки: альбумін яечний (Mr 45 000), рибонуклеаза (Mr 14 000), бичій сироватковий альбумін (Mr 67 000). Денситометрію проводили за допомогою програми Електрофор-менеджер, 2004 р.

Виклад основного матеріалу. Загальним принципом відповіді клітини на стрес є синтез специфічних стресових білків, які допомагають клітині пережити екстремальні умови [13; 14]. У рослин виявлена велика кількість білків, синтез яких індукується важкими металами. Так, у *Zea mays* L. 18% іонів кадмію зв'язується з білками, подібними до металтеонеїнів з молекулярною масою (Mr) 11–35 кД [13]. Встановлено, що у кукурудзи субтоксичні концентрації кадмію (20 мкМ) та цинку (0,1 М) індукують синтез білків з Mr 18, 23, 33, 76, 84 і 89 кД [14]. Виявлено також білки, які синтезуються у відповідь на дію Cu, Mo, W, Hg [15]. Вважають, що їх захисна дія полягає у зв'язуванні іонів важких металів [15]. Даних з вивчення ролі стресових білків у розвитку толерантності рослинних організмів до сумісної дії іонів важких металів недостатньо.

Проростання проростків кукурудзи у розчинах нітратів свинцю, кадмію та нікелю супроводжувалося змінами у вмісті альбумінів кореневої меристеми: їх кількість знижувалася протягом проростання (табл. 1). Слід зазначити, що протягом проростання в контролі також відбувалося гальмування накопичення білка, але меншою мірою, ніж у дослідних варіантах.

За окремої дії іонів важких металів показник вмісту водорозчинних білків на 5-ту добу зменшувався порівняно з контролем для плумбуму на 28,8%, для кадмію – на 29,7%, для нікелю – на 35,9%. На 7-му добу проростання спостерігалася схожа тенденція: зниження показника вмісту білків на 26,5% для іонів свинцю на – 20,4% для кадмію та для нікелю – на 46,9%. Для 9-ої доби проростання було характерним суттєве зниження вмісту водорозчинних білків на 39,5% для іонів свинцю та на 47,4% для іонів нікелю. За дії іонів кадмію суттєвих змін у вмісті білка порівняно з контролем не вияв-

лено. За комбінованої дії іонів свинцю, кадмію та нікелю спостерігалася інша тенденція: на 5-ту й 7-му доби зменшувався вміст водорозчинних білків на 38,4% і 9,8%, а на 9-ту добу спостерігалася підвищення вмісту білка на 17% порівняно з контролем. Таким чином, відповідь рослини на стрес полягала в зменшенні інтенсивності експресії синтезу білка. Фізіологічне значення гальмування синтезу білка полягало в тому, що на стадії трансляції, крім збереження самого білоксинтезуючого апарату, може зменшуватись енергетичне навантаження на клітину, відбуватися гальмування ймовірності метаболічного самоушкодження клітин. Одночасно зі зниженням вмісту водорозчинних білків спостерігалися й активні перебудови в їх компонентному складі. У результаті досліджень поліпептидного складу водорозчинних білків на 5-ту добу проростання в кореневій меристемі контрольних зразків

zareєстровано 37 компонентів, на 7-му добу – 36, на 9-ту добу – 40. Їх значення  $M_r$  знаходились у діапазоні від 10,3 до 148 кД. Зміни в поліпептидному складі водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за дії іонів свинцю ( $2 \cdot 10^{-3}$  моль/л) показані в таблиці 2.

Як показав порівняльний аналіз, за дії іонів свинцю характерними були множинні зміни по всьому електрофоретичному спектру водорозчинних білків, які спостерігалися протягом всього періоду проростання. Якщо для 5-ї та 7-ї діб відмічалася поява нових поліпептидів із родин БТШ 60 і 100 кД, то для 9-ї доби характерною була індукція поліпептидів із родин БТШ 16–40 кД (13,2, 14,5, 16,3, 40,8, 50,2) на додаток до поліпептидів із родин БТШ 60 і 100 кД. На 5-ту і 7-му доби проростання стабільно експресувався поліпептид із  $M_r$  115 кД. Для значної кількості білкових компонентів відмічалася зни-

Таблиця 1

**Вміст водорозчинних білків у кореневій меристемі рослин кукурудзи за комбінованої дії іонів важких металів**

Концентрації важких металів, моль/л	5-та доба		7-ма доба		9-та доба	
	Вміст білка, мг/г	Інгібуюча дія, %	Вміст білка, мг/г	Інгібуюча дія, %	Вміст білка, мг/г	Відношення до контролю, %
Контроль	11,7±	–	10,3±	–	7,5±	–
Pb <sup>2+</sup> Ч	7,3±	28,8	6,1±	26,5	4,5±	60,9
Cd <sup>2+</sup> Ч	8,2±	29,7	7,9±	20,4	7,2±	98,5
Ni <sup>2+</sup> Ч	7,5±	35,9	5,5±	46,9	3,9±	72
Pb <sup>2+</sup> +Cd <sup>2+</sup> +Ni <sup>2+</sup>	7,2±	38,4	9,3±	9,8	8,7±	117

Таблиця 2

**Зміни у поліпептидному складі водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за дії іонів свинцю ( $2 \cdot 10^{-3}$  моль/л)**

Термін проростання	Поява поліпептидів, кД	Зникнення поліпептидів, кД	Підвищення вмісту білка в зоні, кД	Зниження вмісту білка в зоні, кД
5 доба	57,6; 66,2; 115,0	28,2; 45,8; 50,2; 52,5; 74,2; 108,0	60,3; 63,1; 64,6; 79,5; 81,3; 85,2; 97,8	30,2; 30,9; 33,9; 36,4; 37,2; 41,7; 42,7; 46,5; 53,7; 70,8; 95,5
7 доба	53,7; 83,2; 115,0	70,8; 79,5; 108,0	19,5; 26,3; 56,3; 64,6	17,8; 20,5; 28,2; 30,9; 52,5; 55,0; 67,7; 87,1
9 доба	13,2; 14,5; 16,3; 40,8; 50,2; 57,6; 69,2; 72,5; 102,0	21,9; 23,5; 24,6; 63,1	56,3	42,7; 49,0; 53,7; 126,0

Таблиця 3

**Зміни у поліпептидному складі водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за дії іонів кадмію ( $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л)**

Термін проростання	Поява поліпептидів, кД	Зникнення поліпептидів, кД	Підвищення вмісту білка в зоні, кД	Зниження вмісту білка в зоні, кД
5 доба	52,5; 89,2; 91,2	37,2	34,7; 36,5; 47,9; 55,0; 57,6; 60,3; 72,5	19,4; 39,0; 97,8
7 доба	69,2; 79,5; 81,3; 91,2	28,2; 52,5; 60,3; 72,5; 85,3; 118,0; 121,0	47,9	19,5; 20,9; 22,4; 23,5; 36,5; 39,0; 42,7; 44,7; 57,6; 63,1; 64,6; 66,1; 74,2; 77,7; 95,5
9 доба	21,5; 70,8; 83,2; 87,1; 91,2	19,5; 24,4	34,7; 47,9; 72,5	23,5; 39,0; 126,0

ження їх вмісту, особливо для 5-ї та 7-ї діб проростання кукурудзи.

Іони кадмію також викликали зміни в компонентному складі білків протягом всього періоду проростання (табл. 3).

Для кожної стадії розвитку (5-та, 7-ма й 9-та доби) характерним був свій пул білків. De novo індуквалися поліпептиди, в основному з високою молекулярною масою. Для 5-ї доби характерним було підвищення вмісту білка в електрофоретичних зонах та поява нових білків, а для 7-ї доби – зникнення або зниження накопичення білків з визначеними значеннями  $M_r$ . Для всіх періодів проростання відмічена поява нового поліпептиду з  $M_r$  91,2 кД, зникнення компонента з  $M_r$  32,0 кД, підвищення накопичення білка з  $M_r$  47,9 кД.

Дослідження впливу іонів нікелю на індукцію синтезу білків (табл. 4) показало, що на 5-ту добу проростання в складі фракції водорозчинних білків з'являються 6 поліпептидів, які були характерними для всіх дослідних варіантів: 10,2; 11,4; 15,5; 18,7; 36,4; 51,4 кД. Вони не зареєстровані в контролі.

На 7-му добу залежно від концентрації металу виявлено від 2 до 5 нових компонентів, причому для всіх варіантів досліду характерними були поліпептиди з  $M_r$  28,2 і 30,9 кД. Для зразків, вирощених із додаванням іонів нікелю в концентрації  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л, відмічалася поява високомолекулярних компонентів 93,4 і 97,8 кД. Найвище накопичення білка спостері-

галось в зоні з  $M_r$  97,8 кД. На 9-ту добу для всіх варіантів досліду характерною була поява поліпептида з  $M_r$  10,1 кД. Під час дії іонів нікелю відмічалось зникнення ряду поліпептидів, що є загальною рисою для 5-ї доби.

Зміни в поліпептидному складі водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за комбінованої дії важких металів представлені в таблицях 5–8.

За комбінованого впливу іонів важких металів на склад водорозчинних білків на 5-ту добу виявлено відсутність поліпептиду з  $M_r$  148 кД, синтез якого на 7-му добу знов активувався, а на 9-ту добу – загальмувався.

На 5-ту добу проростання спостерігалось зниження/підсилення експресії білків із середньою молекулярною масою. Відбувалося підсилення синтезу поліпептидів сімейств БТШ 60 і 90 кД. На 7-му добу виявлено зниження накопичення поліпептиду з високою молекулярною масою 121 кД. Поліпептидний склад 9-ї доби за сумісної дії важких металів характеризувався загальним зниженням рівня накопичення білка по всьому спектру водорозчинних білків (від низько- до високомолекулярних компонентів білків), та відсутністю двох поліпептидів з низьким значенням  $M_r$  (10,3; 11,0 кД) і одного з  $M_r$  148 кД.

Встановлено, що за наявності хімічного стресу підсилюється експресія білкових компонентів із низькими та середніми значеннями  $M_r$  (5-та та

Таблиця 4

**Зміни у поліпептидному складі водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за дії іонів нікелю ( $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л)**

Термін проростання	Поява поліпептидів, кД	Зникнення поліпептидів, кД	Підвищення вмісту білка в зоні, кД	Зниження вмісту білка в зоні, кД
48 год	10,2; 11,4; 15,5; 18,7; 36,4; 51,4	14,8; 15,2; 19,5; 20,5; 44,7; 47,8; 55,0; 64,6	10,0; 10,2; 13,2; 15,5; 16,6; 23,5; 30,9; 33,3; 43,7; 47,9; 51,4; 129,0; 142,0	11,0; 11,4; 12,1; 16,3; 17,4; 18,2; 21,9; 25,2; 37,2; 42,7; 58,9
96 год	28,2; 30,9; 30,9; 42,7	46,8	14,8; 18,2; 18,7; 27,6; 28,2; 36,4; 51,4; 129,0	37,2; 39,0; 42,7; 43,6; 43,7; 52,5; 142,0; 148,0
144 год	10,1	–	11,0; 11,3; 12,9; 14,8; 15,2; 16,3; 16,6; 17,8; 18,2; 19,1; 25,2; 30,9; 33,2; 42,7; 43,7; 129,0; 142,0	28,2; 37,2; 38,1; 52,5

Таблиця 5

**Зміни у поліпептидному складі водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за сумісної дії іонів важких металів**

Термін проростання	Поява поліпептидів, кД	Зникнення поліпептидів, кД	Підвищення вмісту білку у зоні, кД	Зниження вмісту білку у зоні, кД
5 доба	–	148,0	52,5; 67,7; 74,3	27,6; 56,3; 58,9; 63,1; 79,5; 124,0
7 доба	148,0	–	–	121,0
9 доба	–	10,3; 11,0; 148,0	50,2; 55,0; 63,1; 70,8; 79,6; 87,1	12,4; 13,5; 15,2; 18,3; 20,0; 21,4; 23,0; 24,0; 25,8; 26,3; 39,9; 44,7; 57,6; 61,7; 66,1; 69,2; 74,2; 81,4; 97,8; 113,0; 121,0; 126,0; 129,0

7-ма доби) і низьких, середніх та високомолекулярних поліпептидів (9-та доба). Слід відзначити, що іони нікелю викликають експресію білків, які були характерні для контрольних зразків на інших стадіях розвитку проростків кукурудзи. Так, поліпептиди з молекулярною масою 10,2; 11,4; 36,4 кД з'являються в результаті дії іонів нікелю на 5-ту добу проростання. У той же час ці білки зареєстровані в контролі на 7-му добу, а в дослідних зразках інтенсивність їх накопичення зростає. Таким чином, кожний етап розвитку проростків кукурудзи супроводжувався як якісними, так і кількісними перебудовами фракції водорозчинних білків меристеми кореня в результаті токсичної дії іонів нікелю. Для іонів нікелю характерними були зміни в області низькомолекулярних білків, причому це стосується як індукції, так і гальмування процесу синтезу білків. Основні зміни у спектрі функціональних білків спостерігалися на 5-ту добу проростання. Відмічалася поява 6 нових

поліпептидів, зникнення 8 компонентів та значне зниження накопичення білка 11 компонентів. У той же час у значній кількості компонентів (13) спостерігалася підвищення рівня їх експресії.

На 7-му добу проростання кукурудзи основні зміни у спектрі водорозчинних білків стосувалися рівня накопичення білків в електрофоретичних зонах (підвищення/зниження). Відмічалася індукція поліпептидів тільки з сімейства БТШ 16 – 40 кД. Для 9-ї доби основні зміни відбувалися в області гальмування процесу синтезу білка (вміст білка у 17 компонентів був знижений). Крім того, відмічалася поява одного поліпептиду з  $M_r$  10,1 кД та підвищення вмісту білка в чотирьох компонентах із середньою молекулярною масою.

Таблиця 7

**Вміст водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за сумісної дії іонів важких металів на 7-му добу проростання**

$M_r$ , кД	Контроль	$Pb^{2+} + Cd^{2+} + Ni^{2+}$
168,0	0,01	0,65
155,0	0,11	0,44
139,0	0,35	1,40
124,0	0,12	0,39
108,0	0,45	–
89,2	8,18	6,14
81,3	5,23	5,15
70,8	1,25	0,96
69,2	–	0,46
67,7	1,77	–
63,1	2,87	0,98
56,3	–	3,10
53,7	5,03	–
52,5	12,07	10,33
46,8	7,56	6,42
41,7	1,40	2,11
39,9	0,16	0,63
39,0	–	0,01
37,2	1,40	2,09
36,4	1,96	0,38
33,9	0,88	–
30,2	10,76	14,11
27,6	1,53	–
25,3	8,48	14,63
22,4	0,03	0,98
20,0	3,71	1,00
19,5	1,94	–
16,6	3,63	–
15,5	9,94	12,54
14,8	6,25	6,59
14,2	1,39	2,96
11,3	1,02	–
10,9	0,65	0,51
10,2	0,33	0,64
10,1	0,51	0,16

Таблиця 6

**Вміст водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за сумісної дії іонів важких металів на 5-ту добу проростання**

$M_r$ , кД	Контроль	$Pb^{2+} + Cd^{2+} + Ni^{2+}$
168,0	0,79	–
155,0	0,70	0,98
139,0	0,57	–
132,0	1,11	–
108,0	8,85	12,57
105,0	1,69	0,03
87,1	1,15	0,33
81,3	–	3,66
74,2	14,48	14,76
69,2	3,16	–
64,6	2,60	–
63,1	5,01	1,88
58,9	1,47	0,33
56,3	5,93	3,70
46,8	7,31	12,19
40,8	5,64	7,89
36,4	3,34	–
33,9	8,02	19,56
29,6	0,08	–
28,2	–	0,85
27,6	0,27	–
25,3	5,70	4,60
22,4	0,95	0,97
20,0	1,25	2,67
14,2	1,22	0,51
12,9	–	0,83
12,4	7,80	0,80
11,3	3,06	1,84
10,9	–	5,99
10,2	2,68	–
10,1	5,16	3,05



Таблиця 8

**Вміст водорозчинних білків апікальної меристеми кореня кукурудзи за сумісної дії іонів важких металів на 9-ту добу проростання**

$M_r$ , кД	Контроль	$Pb^{2+} + Cd^{2+} + Ni^{2+}$
168,0	2,12	2,19
155,0	0,22	–
124,0	0,57	0,49
108,0	4,03	4,42
105,0	4,52	5,91
91,2	4,18	2,28
83,2	0,87	0,32
74,2	1,37	1,49
69,2	11,86	9,82
64,6	–	1,07
61,7	0,84	0,95
56,3	0,08	0,51
53,7	–	0,04
49,0	5,06	5,75
46,8	1,59	0,95
40,8	12,36	14,56
36,4	9,93	11,02
31,7	0,17	10,38
29,6	4,92	3,08
25,3	3,33	0,99
22,4	3,43	0,18
21,4	6,74	3,83
19,5	3,44	3,08
17,8	0,98	0,52
16,6	0,55	–
15,2	0,55	0,35
13,9	0,97	0,96
12,4	–	0,55
11,3	11,29	3,63
10,9	–	1,16
10,2	–	–
10,1	4,04	9,55

Таким чином, отримані результати показали, що за дії іонів кадмію протягом всього періоду проростання токсична дія важкого металу зменшувалася за показником вмісту водорозчинних білків клітин апікальної меристеми кореня. Знижувалася також інгібуюча дія іонів нікелю, але на 9-ту добу вона ще

була значною. Токсична дія свинцю з часом підсилювалася. За спільної дії на останній стадії розвитку проростків встановлено стимулювання процесу синтезу водорозчинних білків, що свідчить про антагоністичний характер взаємодії трьох важких металів у вивчених концентраціях. Зміни загального їх вмісту супроводжувалися активними перебудовами компонентного складу. Якщо за дії кадмію протягом усього періоду проростання та за дії свинцю на 5-ту та 7-му доби характерними були зміни в компонентному складі білків із високомолекулярної області значень  $M_r$ , то за дії нікелю на всіх стадіях проростання та для свинцю на 9-ту добу спостерігалася індукція білків із родини БТШ 16–40 кД, найбільш динамічної системи яка, можливо, забезпечує виконання процесів, пов'язаних із детоксикацією фітотоксикантів. Комбінований вплив важких металів на поліпептидний склад водорозчинних білків суттєво відрізнявся від їх окремої дії. Так, загальним проявом спільного впливу іонів свинцю, кадмію та нікелю були зміни в накопиченні білків: відмічалось інгібування синтезу білків по всьому електрофоретичному спектру водорозчинних білків кореневої меристеми, причому цей процес підсилювався протягом проростання. Синтез *de novo* поліпептиду з  $M_r$  148 кД був помітний тільки на 7-му добу проростання. Зареєстрована також значна активація накопичення поліпептидів із високою молекулярною масою.

**Висновки.** Білкова система зони твірних тканин кореня виявилася доволі чутливою до дії іонів важких металів. Інкубація рослин кукурудзи на середовищі з іонами важких металів знижує інтенсивність синтезу водорозчинних білків клітин меристеми кореня на ранніх етапах онтогенезу на 38 і 10% відповідно до терміну проростання (5-та та 7-ма доба), а на більш пізніх (9-та доба) – підвищення на 17% порівняно з контролем. За дії важких металів, як окремо, так і сумісно, крім зменшення/підвищення наявної кількості білків відбувається активація/гальмування накопичення ряду нових білків. Незважаючи на далеко не повне з'ясування функції стресових білків та білків адаптації, виявлено значний ряд захисних функцій, серед яких гальмування активного метаболізму клітин, захист біомакромолекул та структур від пошкоджень, заміна нестабільних білків, участь у процесах репарації.

**Література**

1. Щербаченко О.І. Важкі металт як токсичний фактор забруднення природного середовища. Стійкість і адаптація рослин до їх впливу. *Наукові записки державного природознавчого музею*. 2014. Вип. 30. С. 157–182.
2. Алексеев Ю.А. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л. : Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. 142 с.
3. Вакерич, М. М., Ніколайчук, В. І. До вивчення шляхів зниження фітотоксичної дії важких металів на розвиток рослин. *Науковий вісник Ужгородського національного університету: Біологія*. 2009. Вип. 25. С. 59–61.
4. Довгалюк А. І., Каліняк Т. Б., Блюм Я. Б. Оценка фито- и цитотоксической активности соединений тяжелых металлов и алюминия с помощью корневой апикальной меристемы лука. *Цитология и генетика*. 2001, № 1. С. 3–9.
5. Евсеева Т. И., Майстренко Т. А., Гераськин С. А., Белых Е. С. Влияние Cd и K на уровень цитогенетических эффектов, индуцируемых  $^{232}Th$  в корневой меристеме *Allium cepa* L. *Цитология и генетика*. 2006. № 6. С. 50–58.
6. Воробець Н. М., Микієвич І. М. Сумісна дія свинцю та селену на проростання та ріст соняшника. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2000. Вип. 26. С. 159–165.

7. Колупасв Ю.Є. Стресові реакції рослин (молекулярно-клітинний рівень). Харків : ХДУ, 2001. 173 с.
8. Гришко В. М., Демура Т. А. Інтенсивність акумуляції кадмію і нікелю та рівень їх фітотоксичності за сумісної дії на проростки. *Доп. НАН України*. 2008. № 5. С. 161–167.
9. Jama-Rodzeńska A., Nowak W. Nickel and lead uptake by willows (*Salix viminalis* L.). *Polish J. Agronomy*. 2012. N 11. P. 29–33.
10. Mleczek M., Łukaszewski M., Kaczmarek Z. et al. Efficiency of selected heavy metals accumulation by *Salix viminalis* roots. *Environ. Exp. Bot.* 2009. Vol. 65. N 1. P. 48–53.
11. Fernández S., Poschenrieder C., Marcenò C. et al. Phytoremediation capability of native plant species living on Pb-Zn and Hg-As mining wastes in the Cantabrian range, north of Spain. *J. Geochemical Exploration*. 2017. N 174. R. 10–20.
12. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal. Biochem.* 1976. P. 248–254.
13. Laemmli U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 / U. K. Laemmli. *Natura*. 1970. V. 227, N 52–59. P. 680.
14. Косаківська І. В. Фізіолого-біохімічні основи адаптації рослин до стресів. Київ : Сталь, 2003. 192 с.
15. Косаковская И. В. Стрессовые белки растений. Киев : УФЦ, 2008. 200 с.
16. Терек К. В., Юркевич М. С., Речевська Н. Я. Нагромадження кадмію проростками кукурудзи та їх реакція на токсичну дію металу. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2000. Т. 32, № 6. С. 506–511.

## ОЦІНКА СТАНУ МІСЬКИХ ҐРУНТІВ ЯК ЗАСІБ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ УРБОЕКОСИСТЕМИ

Василенко О.В.<sup>1</sup>, Балабак О.А.<sup>2</sup>, Балабак А.В.<sup>1,2</sup>, Нікітіна О.В.<sup>1</sup>, Гурський І.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уманський національний університет садівництва  
вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань

<sup>2</sup>НДП «Софіївка» Національної академії наук України  
вул. Київська 12А, 20300, м. Умань

vsolga05@gmail.com, A.V.Balabak@ukr.net, ooolga@ukr.net,  
gurskiyvet@gmail.com, o.a.balabak@ukr.net

Наслідки прогресуючої урбанізації загрожують екологічній стабільності урбоєкосистем. Розуміння того, що якість довкілля впливає на здоров'я та тривалість життя міських жителів, призвело до появи концепції екологічної безпеки житлових територій як однієї із ключових факторів, що враховуються майбутніми мешканцями при виборі житла. Ґрунт є найбільш інертним з усіх природних тіл. У ґрунті відбувається постійне накопичення забруднюючих речовин, що осідають з повітря або принесені опадами. Тому дана стаття присвячена оцінці ступеня забруднення міських ґрунтів м. Умань та вивченню інтенсивності розкладання органічної речовини в межах даної урбоєкосистеми.

Дослідження ґрунту м. Умань проведено з метою отримання даних досліджень щодо концентрації важких металів та оцінки впливу їх наявності на ефективність розкладу органічної речовини. Оскільки міські ґрунти м. Умань переважно характеризуються лужною реакцією середовища (в середньому 7,24), таке інтенсивне залуження потенційно призводить до деяких екологічних проблем, насамперед, зменшення рухомості важких металів і їх фіксації ґрунтами.

Результати аналізу вмісту рухомих форм Cu та Zn в ґрунті урбоєкосистеми м. Умань дозволяють зробити висновок, що у більшості випадків дані показники в межах норми, а от вміст свинцю у ґрунті м. Умань склав в середньому 2,85 при ГДК 2 мг/кг. На окремих локаціях його вміст досягав 8,6–9,0 мг/кг (мова йде про території, що межують із автомагістралями Е95 і М-12 та локації розміщення автозаправних станцій). Крім того, доведено, що спостерігається значна негативна кореляція між показниками розкладу та наявності в ґрунті міді. В середньому відсоток розкладу органічної речовини в ґрунті локацій, де був високий вміст міді, становить 20,1, що в 2,2 рази менше ніж показник розкладу в локаціях з низьким вмістом міді. Отже, в мовях урбоєкосистеми, де присутній фактор забруднення ґрунту важкими металами, зокрема міддю, органічна речовина розкладається довший період, ніж у природних умовах, що, в свою чергу, суттєво впливає на родючість такого ґрунту. *Ключові слова:* урбоєкосистема, важкі метали, міські ґрунти, розклад органічної речовини.

### **Defining the state of urban grounds as a means of preserving the ecological stability of an urban ecosystem. Vasilenko O. V., Balabak O. A., Balabak A. V., Nikitina O. V., Hurskiy I.M.**

The effects of progressing urbanization endanger the ecological stability of urban ecosystems. Realizing the fact that the quality of the environment influences city-dwellers' health and longevity has led to appearing the conception of the residential area ecological safety as one of the key factors considered by future inhabitants when choosing their dwelling. The ground is the most inert of all natural bodies. A steady accumulating of polluting substances subsiding from the air or coming with precipitation occurs in the ground. That's why the article is devoted to determining the degree of polluting urban grounds in Uman City and researching the intensity of organic substance decomposition within the given urban ecosystem.

Researching the ground in Uman City has been carried out to receive the research data pertaining heavy metals content and the defining of the influence of their existence on the organic substance decomposition effectivity. Since the urban grounds in Uman are mainly characterized as the environment with alkaline reaction (7,24 in average), such an intensive alkalizing leads potentially to some ecological problems, the decreasing of heavy metals mobility and their fixation by grounds.

The results of the analysis of Cu and Zn movable forms in the ground of Uman's urban ecosystem can lead to the conclusion that in most cases the given figures are within the norm while the lead content in Uman's ground constituted 2,85 while the permitted content is 2 mg/kg. in some areas its content reached 8,6-9,0 mg/kg (the areas neighbouring E 95 and M- 12 motorways and the ones having filling stations on).

Apart from that it is proved that a considerable negative correlation is observed between the decomposition indicators and lead existence in the ground. In average the percentage of organic substance decomposition in the ground of the areas with a high copper content makes up 20,1 which is 2,2 times as little as the decomposition indicator in the areas with a low copper content. So, under the condition of an urban ecosystem considering the factor of polluting the ground with heavy metals, especially copper, an organic substance takes a longer period to decompose than it does under natural conditions, which in its turn makes a substantial influence on the ground fertility. *Key words:* urban ecosystem, heavy metals, urban grounds, organic substance decomposition.

**Постановка проблеми.** В умовах безперервної урбанізації проблема забруднення міських ґрунтів стає дедалі гострішою у всьому світі. На кінець ХХ століття більше половини населення світу вже проживало в містах, а зараз площа міських тери-

торій в світі щорічно збільшуються на 476 000 га [1]. Екологічна ситуація в містах кардинально відрізняється від фонові. Осідання викидів з повітря поширюються далеко за межі міста. Таким чином, не тільки міські, але й приміські ґрунти відрізняються

від своїх фонових аналогів [2]. Як наслідок, міста суттєво впливають на регіональні та, ймовірно, глобальні системи [3].

Наслідки прогресуючої урбанізації та зміна клімату небезпечним чином поєднуються і це загрожує екологічній стабільності урбоєкосистем. Важливе значення має зміна складу та вмісту органічної речовини в міських ґрунтах. Це багато в чому залежить від історії конкретної міської території та управління міським ландшафтом [4]. Варіація властивостей контролюється не тільки ступенем забруднення ґрунту, а й ландшафтним озелененням.

**Актуальність дослідження.** Масштабне будівництво нових житлових районів, накопичення великої кількості сміття, нові виробничі підприємства, зростання кількості торгових центрів і мультиплексів, широке використання автомобілів і великовантажних транспортних засобів – усе це призводить до збільшення негативного впливу на міське середовище: забруднення атмосфери, поверхневого шару ґрунту, поверхневих і підземних вод, все це стало неминучим через розвиток міст. Розуміння того, що якість довкілля впливає на здоров'я та тривалість життя міських жителів, призвело до появи концепції екологічної безпеки житлових територій як однієї із ключових факторів, що враховуються майбутніми мешканцями при виборі житла.

Ґрунт є найбільш інертним з усіх природних тіл. У ґрунті відбувається постійне накопичення забруднюючих речовин, що осідають з повітря або принесені опадами. На фоні змін якості постає також проблема ефективного надходження та розкладу органічної маси в ґрунті в умовах змін клімату. Тому метою цього дослідження є оцінка ступеня забруднення міських ґрунтів м. Умань та вивчення інтенсивності розкладання органічної речовини в межах даної урбоєкосистеми.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Представлені результати дослідження є висновками із проведеної наукової роботи, що виконувалась в межах комплексних досліджень кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва за темою: «Розробка методологічних підходів і практичного механізму екологічно-збалансованого природокористування», державний номер реєстрації – 0108U009772.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Структура, склад і використання міських ґрунтів значно змінилися під впливом людини за останні роки. Хоча неможливо охопити всю літературу, написану в цій галузі, вивчення ґрунтового покриву міст як правило здійснюється з урахуванням усіх функцій і широкого діапазону факторів впливу на процеси ґрунтоутворення. Концентрація небезпечних елементів у ґрунті є важливим показником для оцінки якості і стану навколишнього середовища [5].

Тривале накопичення ризикових елементів у ґрунті становить велику загрозу для здоров'я людини і сталого розвитку екосередовища [6, 7]. Тому помітно, що дослідженню ґрунтів урбанізованих територій та оцінці їх екологічного стану приділяють велику увагу. Воно ведеться досить інтенсивно і під різними кутами зору [8–10].

Українськими науковцями проаналізовані зміни міських ґрунтів за останні десятиріччя та проведена діагностика ґрунтів різних населених пунктів, переважно великих міст [11–16], а от малі міста, наприклад м. Умань, залишаються недостатньо вивченими. Але на фоні останніх подій в країні, такі міста досить часто стають місцями розселення внутрішньо переміщених осіб, а отже зростає кількість жителів та потреба в екологічно безпечному середовищі для них.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** В даній статті проаналізований ступінь забруднення міських ґрунтів м. Умань важкими металами та інтенсивність розкладання органічної речовини в межах даної урбоєкосистеми. Вперше вивчено процес трансформації органічної речовини в ґрунті міста в контексті впливу на цей процес забруднення важкими металами.

**Новизна.** На основі проведених власних досліджень обґрунтовано особливості інтенсивності розкладання органічної речовини в межах урбоєкосистеми залежно від забруднення важкими металами.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Для вирішення поставлених завдань дослідження проведено аналіз забруднення ґрунтів важкими металами та аналіз впливу їх на розклад органічної речовини в ґрунті. Представлені дослідження дозволяють наблизитись до прийняття адміністративних рішень щодо розв'язання проблем стійкості міського середовища, а саме до планування еколого-компенсаційних заходів спрямованих на покращення стану едафотопів.

**Викладення основного матеріалу.** Дослідження по вивченню ґрунтів урбоєкосистеми м. Умань проводились протягом періоду 2022 р. Ґрунтово-кліматичні умови даної зони є типовими для Черкаської області, яка характеризується помірно-континентальним кліматом з нестійким зволоженням.

Екологічний стан міських ґрунтів не є рівномірний і визначається не тільки їх початковою неоднорідністю та впливом антропогенних факторів, а й природними особливостями рельєфу і умовами експлуатації зелених насаджень. Загалом, функціями ґрунту є фільтрація та очищення ґрунтових вод, випаровування води, розміщення рослинного покриву та зберігання органічного вуглецю. Значне ущільнення знижує функції ґрунту в мегаполісах. Але одна із найбільших проблем – забруднення ґрунтів важкими металами.

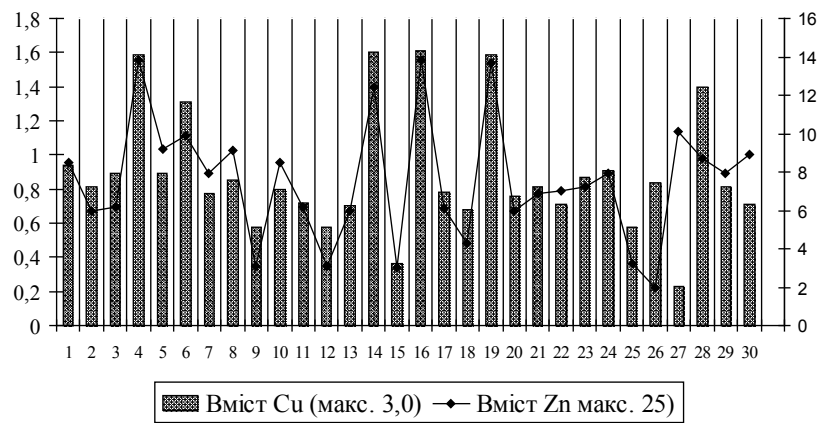


Рис. 1. Вміст рухомих сполук Cu та Zn у ґрунті в межах м. Умань, мг/кг

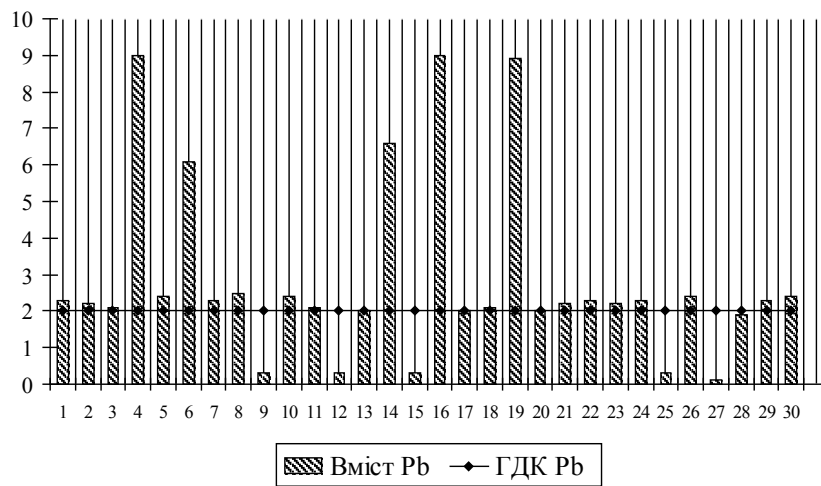


Рис. 2. Вміст рухомих сполук Pb у ґрунті в межах м. Умань, мг/кг

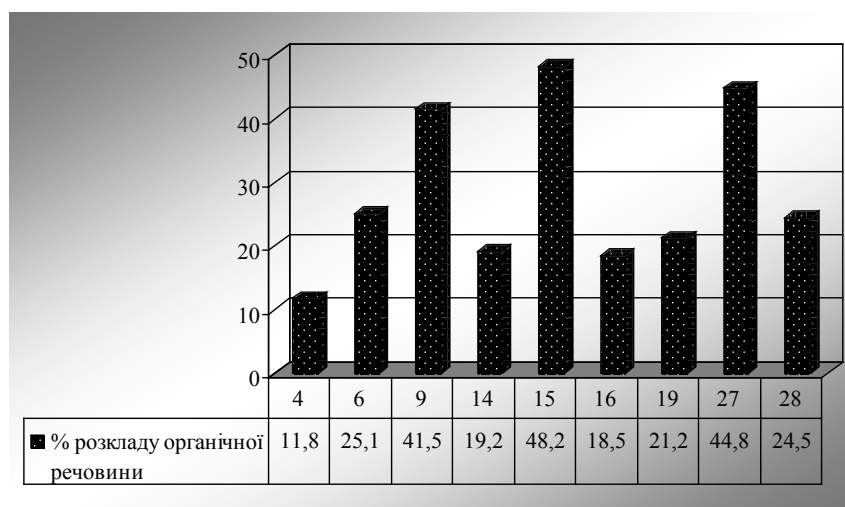


Рис. 3. Ефективність розкладу органічної речовини в межах певних моніторингових локацій, %

Оскільки міські ґрунти м. Умань переважно характеризуються лужною реакцією середовища (в середньому 7,24), таке інтенсивне залуження потенційно призводить до деяких екологічних проблем, насамперед, зменшення рухомості важких металів і їх фіксації ґрунтами.

У виробничій діяльності транспортних засобів найчастіше використовуються такі хімічні елементи як мідь та цинк. Ці елементи становлять серйозну небезпеку через їх токсичні властивості та високу активність. Важливість визначення саме рухомої форми даних важких металів полягає в тому, що вона є найбільш небезпечною, тому що елементи в цій формі виносяться за межі локальних ділянок.

Для визначення даного виду забруднення нами було визначено 30 моніторингових локацій по всьому місту Умань. Перевага надавалась ділянкам, що межують із центральними автодорогами та перехрестями, автовокзалом, залізничним вокзалом, великими паркувальними майданчиками біля торговельних центрів.

Результати аналізу вмісту рухомих форм Cu та Zn в ґрунті урбоєкосистеми м. Умань дозволяють зробити висновок, що у більшості випадків дані показники в межах норми, тобто не перевищують граничнодопустимих концентрацій визначених державними нормативами (рис. 1).

Але, якщо вміст в ґрунті Cu та Zn в даній урбоєкосистемі в межах норми, то, якщо вміст свинцю – більш спірне питання. Як правило, в ґрунтах свинець концентрується вздовж автомобільних шляхів внаслідок того, що він додається до пального як антидетонатор і з вихлопними газами потрапляє в повітря, а потім осідає на земну поверхню. Якщо врахувати, що м. Умань розміщене на перетині автомагістралей, то потенційне забруднення свинцем дуже ймовірне.

Нашими дослідженнями встановлено, що на багатьох моніторингових локаціях його вміст перевищував норму (рис. 2).

Отже, вміст свинцю у ґрунті м. Умань склав в середньому 2,85 при ГДК 2 мг/кг. На окремих локаціях його вміст досягав 8,6–9,0 мг/кг. Ми проаналізували дані місця і виявили, що то території, що межують із автомагістралями Е95 і М-12 та локації розміщення автозаправних станцій. Вважаємо, що проблема загострилася саме в період 2022 року через черги на АЗС, що були спричинені дефіцитом пального.

Згідно з дослідженнями іноземних науковців [17] забруднення глинистих ґрунтів певними важкими металами впливає на процеси розкладання органічної речовини. Найбільше – вміст міді. Тому нами проаналізована ефективність розкладання органічної маси в чорноземах м. Умань в межах моніторингових ділянок, де вміст міді був найбільший. Ситуація загострюється ще тим фактором, що це відкриті, незатінені ділянки в межах приміагістральних ландшафтів, а, отже, температура ґрунту там підвищена, а вологість занижена, що також впливає

на швидкість розкладу органіки.

Для цього ми проаналізували ефективність розкладу листків липи серцелистої в межах найбільш забруднених міддю моніторингових ділянок № 4, 6, 14, 16, 19, 28 та тих ділянок, що мають найменше подібне забруднення – № 9, 15, 27 (рис. 3).

За результатами аналізу ефективності розкладу органічної маси в ґрунті можна зробити висновок, що спостерігається значна негативна кореляція між показниками розкладу та наявності в ґрунті міді. В середньому відсоток розкладу органічної речовини в ґрунті локацій, де був високий вміст міді становить 20,1, що в 2,2 рази менше ніж показник розкладу в локаціях з низьким вмістом міді.

Отже, в мовах урбоєкосистеми, де присутній фактор забруднення ґрунту важкими металами, зокрема міддю, органічна речовина розкладається довший період, ніж у природних умовах. В результаті можна зробити висновок, що цей фактор є одним із визначальних для процесів ґрунтоутворення в межах урбоєкосистеми.

**Головні висновки.** Постійне збільшення темпів урбанізації призводить до появи нових промислових технологій, конструкційних матеріалів і техніки. Мегаполіси та міські території найбільш сприйнятливі до цього впливу, як при освоєнні нових територій, так і при експлуатації існуючих промислових і житлових комплексів. Ґрунт є найбільш інертним з усіх природних тіл. У ґрунті відбувається постійне накопичення забруднюючих речовин, що осідають з повітря або принесені опадами. Дослідження ґрунту м. Умань проведено з метою отримання даних досліджень щодо концентрації важких металів та оцінки впливу їх наявності на ефективність розкладу органічної речовини. Результати аналізу вмісту рухомих форм Cu та Zn в ґрунті урбоєкосистеми м. Умань дозволяють зробити висновок, що у більшості випадків дані показники в межах норми, а от вміст свинцю у ґрунті м. Умань склав в середньому 2,85 при ГДК 2 мг/кг. На окремих локаціях його вміст досягав 8,6–9,0 мг/кг (мова йде про території, що межують із автомагістралями Е95 і М-12 та локації розміщення автозаправних станцій). Крім того, доведено, що спостерігається значна негативна кореляція між показниками розкладу та наявності в ґрунті міді. В середньому відсоток розкладу органічної речовини в ґрунті локацій, де був високий вміст міді становить 20,1, що в 2,2 рази менше ніж показник розкладу в локаціях з низьким вмістом міді. Отже, в мовах урбоєкосистеми, де присутній фактор забруднення ґрунту важкими металами, зокрема міддю, органічна речовина розкладається довший період, ніж у природних умовах, що, в свою чергу, суттєво впливає на родючість такого ґрунту.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати досліджень, викладені в даній статті, дозволяють стверджувати, що екологічний стан ґрунтів м. Умань характеризується підвище-

ною небезпекою для всієї урбоєкосистеми та здоров'я міських мешканців. Тому метою подальших досліджень має стати окреслення реальних та невід-

кладних заходів щодо покращення стану ґрунтів для подальшого розвитку та розширення промислових та житлових районів міста.

### Література

1. Pouyat R., Groffman P., Yesilonis I., and Hernandez L. Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems. *Environ. Pollut.* 2002. 116. P. 107–118.
2. Pickett S. T. A., Cadenasso M. L., Grove J. M., Nilon C. H. Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 2001. 32. P. 127–157.
3. Vasenev V. I., Prokofeva T. V., Makarov O. A. The development of approaches to assess the soil organic carbon pools in megapolises and small settlements. *Eurasian Soil Sci.* 2013. 46 (6). P. 685–696. doi: 10.7868/S0032180X13060117
4. Byrne L. B. Habitat structure: a fundamental concept and framework for urban soil ecology. *Urban Ecosyst.* 2007. 10. P. 255–274.
5. Liu Y., Xiao T., Baveye P.C., Zhu J., Ning Z., Li H. Potential health risk in areas with high naturally-occurring cadmium background in southwestern China. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2015. 112. P. 122–131.
6. Dong R., Jia Z., Li S. Risk assessment and sources identification of soil heavy metals in a typical county of Chongqing Municipality, Southwest China. *Process Safety and Environmental Protection.* 2018. 113. P. 275–281.
7. Qing X., Yutong Z., Shenggao L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2015. 120. P. 377–385.
8. Hanfi M.Y., Mostafa M.Y.A., Zhukovsky M.V. Heavy metal contamination in urban surface sediments: Sources, distribution, contamination control and remediation. *Environ. Monit. Assess.* 2020. 192.
9. Salomon M.J., Watts-Williams S.J., McLaughlin M.J., Cavagnaro T.R. Urban soil health: A city-wide survey of chemical and biological properties of urban agriculture soils. *J. Clean. Prod.* 2020. 275.
10. Moreno-Alvarez J.M., Orellana-Gallego R., Fernandez-Marcos M.L. Potentially toxic elements in urban soils of Havana, Cuba. *Environments.* 2020. 7. 43.
11. Хохрякова А.І. Особливості будови профілю ґрунтів у межах міста Одеси. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник.* Вип. 90. Харків: ННЦ “ІА ім. О.Н. Соколовського”. 2020. С. 86–90. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-09>.
12. Кармазиненко С.П., Кураєва І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). К.: Інтерсервіс, 2014. 168 с.
13. Позняк С.П., Телегуз О. Г. Антропогенні ґрунти. Навчальний посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 200 с
14. Тітенко Г. В. Оцінка екологічного стану міських ґрунтів як засіб оптимізації території міста. *Вісник СумДУ.* Суми. 2007. № 275. С. 149–152.
15. Тітенко Г. В., Кулик М. І. Гумусовий горизонт міських ґрунтів, як геохімічний бар'єр в урболандшафті. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2012. № 1–2. С. 130–136.
16. Криштоп Є. А., Волощенко В. В. Міські ґрунти як невід'ємний елемент урбанізованих і техногенно забруднених територій. *Вісник ХНАУ.* 2013. № 2. С. 200–206.
17. Enyu Osim, Heaney Natalie, Iniama Grace, Lin Chuxia. Effects of heavy metals on organic matter decomposition in inundated soils: Microcosm experiment and field examination. *Science of The Total Environment.* 2020. 724. 138–223. 10.1016/j.scitotenv.2020.138223.

## АГРОЕКОЛОГІЧНА КОНТРАСТНІСТЬ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ В УМОВАХ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ

Михайлюк В.І.

Одеський державний аграрний університет  
вул. Пантелеймонівська, 13, 65012, Одеса  
[mykhailiukv@osau.edu.ua](mailto:mykhailiukv@osau.edu.ua)

Проаналізована неоднорідність ґрунтового покриття і властивостей чорноземів південних середньосуглинкових у зв'язку із підвищеним ксероморфізмом і нерівномірним ерозійним процесом, що зумовлений перерозподілом і скиданням вологи через систему мікронизень – улоговин і папіляр стоку в умовах слабологих схилів південного степу України. Встановлення факторів неоднорідності ґрунтового покриття на схилі землях може бути корисним при кадастровій оцінці земель, землевпорядному проектуванні (формуванні робочих ділянок), ампелоекологічній класифікації, систематиці і картографії земель тощо. Об'єктом дослідження є часткова контрастність ґрунтового покриття (окремих властивостей ґрунтів) на земельному масиві в Одеському районі – схилі південної експозиції, стрімкістю 1,3–1,8°, що має вузьку улоговину стоку і розлогі мікроулоговини – папіляри стоку. На різних елементах мікрорельєфу досліджені ґрунти – гранулометричний склад на глибину 2 м, будова ґрунтів, вміст і запаси органічної речовини, склад увібраних катіонів, рН, вміст загальних і активних карбонатів по профілю ґрунтів. Встановлено, що розосередження поверхневого стоку на слабологих схилах в умовах південного степу України є помітним фактором агроекологічної диференціації ґрунтового покриття за окремими властивостями ґрунтів. Чорноземи південні середньосуглинкові плоских мікронизень мають коротший на 12–21% гумусовий горизонт (Н+Нр) і менші на 11% запаси органічної речовини в профілі (Н+Нр+Ph) завдяки зносу ґрунтового матеріалу по схилу. Ґрунти схилів улоговин стоку формуються в умовах підвищеної ксероморфності і розвитку ерозії різного ступеня від слабого до сильного. Ґрунти папілярів стоку і міжпапілярних просторів не диференціюються за складом увібраних основ і лужністю. Найбільша диференціація ґрунтового покриття спостерігається за вмістом у ґрунтах загальних і активних карбонатів. Окрім диференціюючої ролі мікрорельєфу певне значення має місцезнаходження ґрунтів на схилі. *Ключові слова:* мікрорельєф, розосереджений поверхневий стік, ерозія ґрунтів, неоднорідність ґрунтового покриття, ампелоекологічна оцінка ґрунтів.

### Agro-ecological contrast of soil cover in conditions of distributed surface runoff. Mikhaylyuk V.

The heterogeneity of the soil cover and the properties of the medium-loamy chernozems of the south was analyzed in connection with the increased xeromorphism and the uneven erosion process, which is caused by the redistribution and discharge of moisture through the system of micro-downgrade – the narrow hollow and papillary runoff in the conditions of gently sloping slopes of the southern steppe of Ukraine. Establishing factors of soil heterogeneity on sloping lands can be useful in land cadastral assessment, land management planning (formation of working plots), ampelo-ecological classification, systematics and cartography of lands, etc. The object of the study is the partial contrast of the soil cover (individual soil properties) on the landmass in the Odesa region – a slope of southern exposure, with a steepness of 1.3–1.8°, which has a narrow hollow and wide micro-hollow – drainage papillae. On different elements of the microrelief, the soils were studied - granulometric composition to a depth of 2 m, soil structure, content and reserves of organic matter, composition of absorbed cations, pH, content of total and active carbonates in the soil profile. It was established that the dispersion of surface runoff on gently sloping slopes in the conditions of the southern steppe of Ukraine is a noticeable factor in the agro-ecological differentiation of the soil cover according to individual soil properties. The southern medium-loamy chernozems of flat micro-slopes have a 12–21% shorter humus horizon (H+Hr) and 11% less reserves of organic matter in the profile (H+Hr+Ph) due to the erosion of soil material along the slope. The soils of the slopes of the narrow hollow are formed in conditions of increased xeromorphism and the development of erosion of varying degrees from weak to strong. The soils of the drainage papillae and interpapillary spaces are not differentiated by the composition of absorbed bases and alkalinity. The greatest differentiation of the soil cover is observed by the content of total and active carbonates in the soil. In addition to the differentiating role of the microrelief, the location of the soil on the slope is of some importance. *Key words:* microrelief, dispersed surface runoff, soil erosion, soil heterogeneity, ampelo-ecological assessment of soils.

**Постановка проблеми.** Складність структури, просторова строкатість ґрунтового покриття є важливими показниками якості сільськогосподарських земель і мають велике практичне значення для їх агроекологічної типізації. Наявність на робочих ділянках ґрунтів, які відрізняються за властивос-

тями, утруднює технологію вирощування сільськогосподарських культур, призводить до вимушеного порушення агротехніки і, в кінцевому рахунку, до зниження продуктивності земель. На схилі землях, у тому числі на прибережних і прилиманних схилах півдня України із незначною (до 3°) стрім-



кістю провідним фактором ускладнення ґрунтового покриву є нерівномірний розвиток ерозії, зумовлений перерозподілом і скиданням вологи через систему мікрознижень – папіляр стоку [1–3]. Ґрунти схилів в умовах розосередженого формування та скидання вод поверхневого стоку характеризуються виразними морфологічними відмінностями, насамперед кольором поверхні (вмістом органічної речовини), різною потужністю гумусового горизонту та висотою залягання карбонатного горизонту, що може свідчити про їхній різний рівень родючості. Схиліві землі, особливо із ґрунтами полегшеного гранулометричного складу, характеризуються також підвищеною ксероморфністю, що також відображається у зменшенні потужності гумусового горизонту, запасів органічної речовини, більш високому заляганні карбонатного горизонту.

**Актуальність дослідження.** Більше 50% сільськогосподарських земель України зазнають негативного впливу ерозії, що призводить до значних незворотних еколого-економічних наслідків деструкції ґрунтового покриву [4]. Контрастність ґрунтів і ґрунтового покриву території внаслідок ерозійних процесів, особливостей міграції і перерозподілу речовин за елементами мікрорельєфу, перерозподілу вологи в умовах недостатнього вологозабезпечення є важливими факторами для агроекологічної оцінки земель, особливо для виділення ампелокологічних груп ґрунтів на півдні України і обґрунтування виділення мікрозон вирощування тут винограду, який досить вибагливий до окремих властивостей ґрунтів [5].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Локальне протікання ґрунтоутворювальних процесів є одним із факторів корегування моделей родючості ґрунтів. Облік неоднорідності ґрунтового покриву у зв'язку із локальними проявами ерозії та ксероморфності ґрунтів є актуальним питанням, в тому числі при кадастровій оцінці земель, землевпорядному проектуванні – формуванні робочих ділянок, при ампелокологічній класифікації, систематиці і картографії земель тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Суттєвим чинником диференціації ґрунтового покриву на схилах є його морфографічні особливості мікрорельєфу. Нерівномірний ерозійний процес на схилі землях зумовлений у тому числі перерозподілом і скиданням вологи через систему мікрознижень – папіляр стоку [1; 2]. При цьому, система мікрознижень, як апарат розосередженого формування та скидання вод поверхневого стоку, є одночасно природним механізмом захисту схилістих ґрунтів від ерозії [2]. У той же час вважається, що суттєвим фактором формування ґрунтів на схилах є їхній ксероморфізм [2; 3]. Внаслідок впорядкованого природою ксероморфізму на схилах формуються вкорочені профілі ґрунтів порівняно з плато і, в той

же час, змиті ґрунти в днищах папіляр як природних маршрутах руху поверхневого стоку. Різноманітна будова схилів, їхня крутизна, експозиція, гранулометричний склад ґрунтів, характер атмосферних опадів і сніготанення тощо зумовлюють певну строкатість території за вологозабезпеченістю, потужністю ґрунтів і запасами органічної речовини, розподілом по профілю карбонатів, кислотно-основними властивостями, вмістом елементів живлення.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Для умов південного степу України – у так званій «північній» зоні виноградарства – приділяється значна увага ампелокологічному зонуванню території на мезорівні з оцінкою часткової контрастності ґрунтового покриву [5]. Дана робота виконана з метою встановлення часткової контрастності ґрунтового покриву в умовах підвищеного ксероморфізму слабологих схилів і ерозійного процесу різного ступеня інтенсивності на різних мікроформах рельєфу, в тому числі зумовленого перерозподілом та скиданням вологи через розгалужену систему мікрознижень.

**Новизна.** Проаналізована неоднорідність ґрунтового покриву і властивостей середньосуглинкових ґрунтів у зв'язку із підвищеним ксероморфізмом і нерівномірним ерозійним процесом, що зумовлений перерозподілом і скиданням вологи через систему мікрознижень – улоговин і папіляр стоку в умовах слабологих схилів південного степу України.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Діагностика і картографування слабозмитих ґрунтів є вкрай проблематичною; в окремих класифікаціях вони навіть не виділяються через незначні відмінності їх будови і властивостей порівняно з повнопрофільними ґрунтами. Особливо проблемним є виділення слабозмитих ґрунтів в умовах локальних процесів змиву-намиву на фоні відносної укороченості профілів ґрунтів через більшу ксероморфність схилістих земель [3]. Неврахування локального характеру ґрунтоутворення може призвести до помилкових висновків при картографуванні ґрунтів, агроекологічної оцінки земель тощо.

**Викладення основного матеріалу.** Об'єктом дослідження є часткова контрастність ґрунтового покриву (окремих властивостей ґрунтів) на земельному масиві площею 48 га, що знаходиться на східній околиці с. Калаглія Одеського району і примикає до еродованої долини Дністровського лиману. Територія є слабологим схилом південної експозиції, стрімкістю 1,3–1,8°, із слабохвилястою поверхнею – з розлогими мікроулоговинами із відсутніми ознаками розмиву і вузькою улоговиною стоку, глибиною 0,4–0,6 м, з ознаками ерозійного процесу, а також стрімкими обочинами і короткими улоговинами стоку вздовж балки на західній межі ділянки (рис. 1, табл. 1).

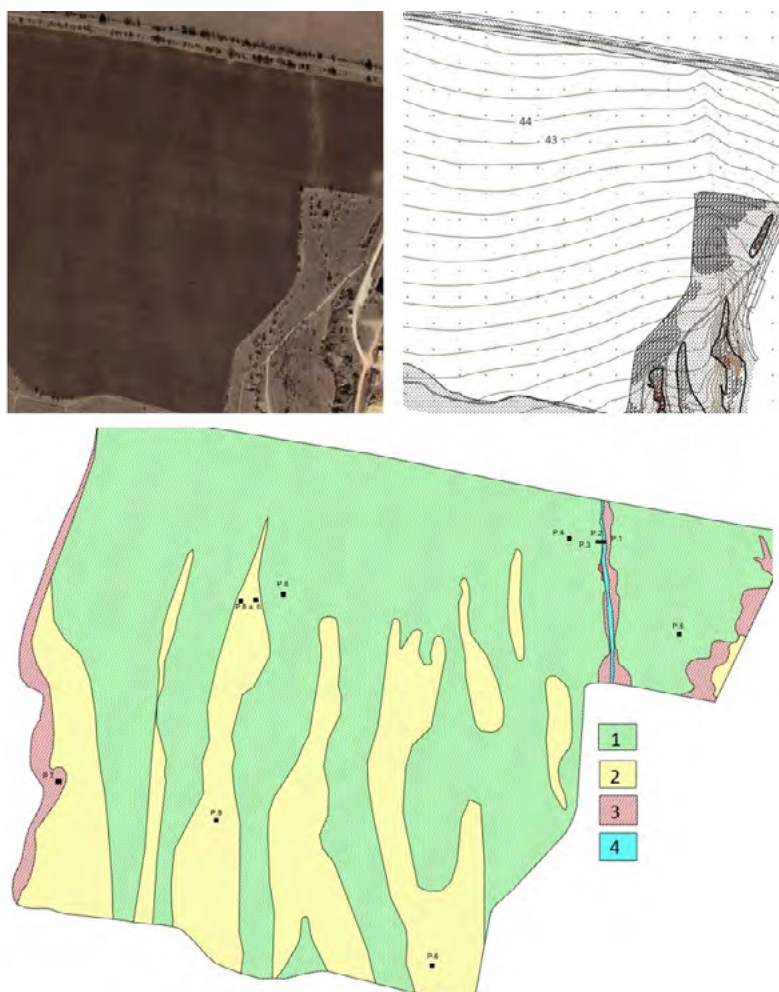


Рис. 1. Рельєф і ґрунти території обстеження:

1. Повнопрофільні ґрунти міжпапілярних просторів із грубизною гумусового горизонту 48–55 см; 2. Укорочені ґрунти папіляр стоку із грубизною гумусового горизонту 79–88% від повнопрофільних; 3. Короткопрофільні ґрунти, у тому числі схилів улоговин стоку із грубизною гумусового горизонту 38–61% від повнопрофільних ґрунтів; 4. Повнопрофільні ґрунти днища улоговини стоку із ознаками намиву ґрунтового матеріалу

Таблиця 1

**Характеристика основних ґрунтових розрізів**

№	Назва ґрунту	Форма рельєфу	Координати
1	Чорнозем південний слабогумусний середньосуглинковий мулувато-крупнопилуватий на шаруватому намивному суглинку	Днище улоговини стоку	46°16'55" пн.ш. 30°23'20" с.д.
5	Чорнозем південний слабогумусний неглибокий середньосуглинковий піщано-пилуватий	Прямолінійний схил	46°16'53" пн.ш. 30°23'21" с.д.
6	Чорнозем південний слабогумусний неглибокий (укорочений) середньосуглинковий піщано-пилуватий	Мікро-уловина (папіляр стоку)	46°16'37" пн.ш. 30°23'11" с.д.
7	Сильнозмитий карбонатний середньосуглинковий піщано-пилуватий ґрунт	Схил улоговини стоку	46°16'45" пн.ш. 30°23'21" с.д.
8	Чорнозем південний слабогумусний неглибокий середньосуглинковий піщано-пилуватий	Міжпапілярний простір схилу	46°16'52" пн.ш. 30°22'47" с.д.

Використаний порівняльно-аналітичний метод при закладанні 14 ґрунтових розрізів і напіврозрізів. Ґрунтовий покрив території представлений чорноземом південним, в тому числі повнопрофільним (порівнюючи з ґрунтами плакору) і укороченим по розлогих мікроулоговинах, а також слабо-, середньо- і сильнозмитими ґрунтами на схилах улоговин стоку і обочині ділянки, що примикає до балки.

Ґрунти території обстеження сформовані на однорідному лесі, що характеризується на глибині 180-200 см середньосуглинистим піщано-пилуватим гранулометричним складом і містить 20–21% вуглекислого кальцію. Поверхневі горизонти чорноземів мають той же гранулометричний склад при зменшенні вмісту фізичної глини на 4-6% за рахунок зменшення мулистості і збільшення піщаної фракції. Винятком є ґрунти в днищі вузької улоговини стоку, де їхній поверхневий горизонт за гранулометричним складом ідентичний ґрунтоутворюючій породі (табл. 2).

Головною і виразною відмінністю території є поширення повнопрофільних і укорочених відмін чорнозему південного на різних формах мікрорельєфу (рис. 2). Відносно більш потужні ґрунти сформовані в днищі улоговини стоку, явно через більшу вологозабезпеченість і намів ґрунтової маси у минулому (до прокладання дороги по північній межі поля). Про останнє свідчать шарувата плямистість у нижній частині профілю – с глибини

40 см і, особливо виразна, з 60 см. Найменш потужними є ґрунти схилів улоговини стоку із грубузною гумусового горизонту біля 32 см (розріз 2) і ґрунти розлогих видолинків із гумусовим горизонтом, товщиною біля 41–42 см (розрізи 8.2, 6). Однозначно еродованими і відносно ще менш потужними є ґрунти стрімких обочин балки і коротких улоговин стоку із вмістом органічної речовини менше 2% (розріз 7). Ґрунти міжпапілярних просторів мають потужність гумусового горизонту 48–55 см, а всього профілю – 62–70 см.

Аналізуючи структуру ґрунтового покриву схилів земель у залежності від їх орографії можна допустити, що короткопрофільність ґрунтів на відносно стрімких схилах вузької улоговини може бути результатом ксероморфності, але більш короткі профілі на розлогих мікрозниженнях із однаковою стрімкістю порівняно з міжпапілярними просторами і, певно, кращим вологозабезпеченням засвідчують змив ґрунтової маси по схилу. Отже, ерозійний процес є провідним в даному випадку в розлогих мікрознаженнях на пологому схилі із відносно легким гранулометричним (середньосуглинковим піщано-пилуватим) гранулометричним складом. Про це може додатково свідчити розподіл мулистості фракції у поверхневих горизонтах ґрунтів – меншої кількості мулу у верхніх горизонтах ґрунтів видолинків і міжпапілярних просторів, порівняно з ґрунтоутво-

Таблиця 2

Гранулометричний склад чорноземів південних слабогумусних

№ розрізу	Генетичні горизонти	Глибина, см	Розмір фракцій в мм; вміст, %						
			1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
1	H	0-20	0,18	19,91	40,32	6,75	12,78	20,06	39,59
5	H	0-20	0,14	25,58	38,29	7,89	11,62	16,48	35,99
6	H	0-20	0,16	22,85	43,03	5,23	12,97	15,76	33,96
	Pk	180-200	0,06	19,78	40,40	3,26	16,34	20,16	39,76
7	HPk	0-21	0,25	21,10	45,93	7,51	11,76	13,45	32,72
8	H	0-20	0,14	18,46	46,19	7,08	12,10	16,03	35,21
	Pk	180-200	0,04	14,84	45,64	4,11	13,98	21,39	39,48

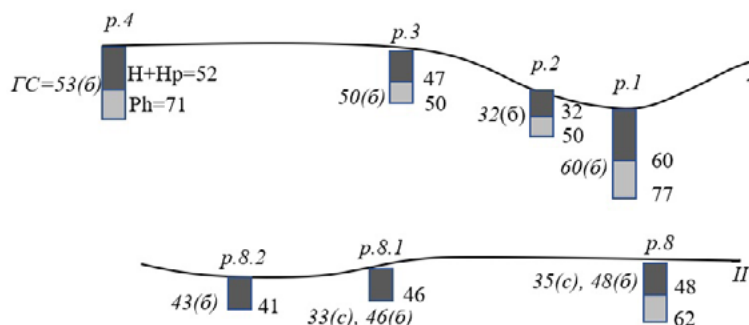


Рис. 2. Структура ґрунтового покриву схилу залежно від його орографії: I. Поперечний розріз схилу із улоговиною стоку; II. Поперечний розріз із папілярном стоку. H+Hp – гумусовий горизонт ґрунту, його нижня межа, см; Ph – нижня межа гумусованої частини профілю, см; GC – глибина скипання ґрунту (см) від 10% HCl із слабким степенем (с) і бурхливим (б)

Таблиця 3

## Характеристика хімічних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів

№ розрізу	Генетичні горизонти	Глибина, см	Органічна речовина, %	КВАГ	Увібрані катіони			рН
					Сума, ммоль/100 г ґрунту	Na <sup>+</sup> , % від суми	Ca <sup>2+</sup> / Mg <sup>2+</sup>	
1	H	0-20	2,22	0,56	19,22	1,1	4,4	7,7
	H	20-40	1,93					
	Hp	40-60	1,93	19,97	1,1	2,4		
	PhK	60-80	1,74	16,46	1,3	5,5	7,8	
5	H	0-20	2,42	0,67	18,21	1,2	4,5	7,6
	H	20-37	2,12					
	Hp	37-55	1,35	19,53	1,4	3,1		
	Phk	55-70	1,35	18,01	1,4	3,4	7,9	
6	H	0-20	2,32	0,68	17,71	1,2	2,5	7,6
	Hp	20-42	1,93		18,23	1,3	6,2	
	Phk	42-63	1,35		15,18	1,2	4,5	7,9
7	HPk	0-21	1,74	0,53	16,19	1,2	3,9	7,8
	Phk	21-33	1,16					8,0
8	H	0-20	2,42	0,69	19,43	0,9	5,4	7,9
	H	20-35	2,22					
	HPk	35-48	1,93	18,69	1,0	5,2	7,9	

Таблиця 4

## Кількісні показники родючості чорноземів південних середньосуглинкових в умовах розосередженого поверхневого стоку

Назва ґрунту і місцезнаходження	Горизонт	Нижня межа, см	Запаси гумусу, т/га	Фізична глина, %	CaCO <sub>3</sub> , %	Активні карбонати, %
Чорнозем південний міжпапілярних просторів	H+Hp	48-55	133-164	36	2-11	1-9 (11)
	Phk	62-71	27		17-18	15-17
	PK	115		39,5-39,8	20-21	15-17
Чорнозем південний папілярів стоку	H+Hp	41-42	106-131	34-35	9-10	1-9
	Phk	62-63	38		11-18	16-19
	PK	107-115		39,5-39,8	20-21	15-17
Чорнозем південний сильнозмитий схилу улоговини стоку	HPk	21	42	33	15	15
	Phk	33	17			10
	PK	72			20	15-17
Чорнозем південний днища улоговини стоку	H+Hp	60	151	39,6	0-7	10-12
	PhK	80	47		37	18

рюючою породою, і верхніми горизонтами ґрунтів днища вузької улоговини із ознаками наміву ґрунтового матеріалу в профілі.

Орні шари досліджуваних повно- і короткопрофільних середньосуглинкових відмін чорнозему південного характеризуються відносно невисоким вмістом органічної речовини – 2,22–2,42%. При цьому найменший вміст гумусу виявлений в середньо- і сильнозмитих ґрунтах крутосхилів (1,74%), але й також в ґрунтах днища вузької улоговини з ознаками наміву ґрунтової маси (2,22%). За запасами органічної речовини в гумусовому горизонті (106-164 т/га) ґрунти папілярів стоку і міжпапілярних просторів із різною потужністю розрізняються більш виразно (табл. 3, 4). В цілому, гумусовий стан ґрунтів засвідчує низький гумусоутворювальний

і гумусонокопичувальний потенціал їхнього середньосуглинкового піщано-пилуватого гранулометричного складу, про що засвідчує коефіцієнт відносної акумуляції гумусу (КВАГ), який відповідає типовим значенням для чорноземів південних слабогумусоакумулятивних зони Степу Південного помірно-сухого і знаходяться у межах 0,55–0,66.

Повнопрофільні і укорочені ґрунти досліджуваного масиву не солонцюваті при підвищеному вмісті увібраного натрію і невиразно вузькому співвідношенні увібраних кальцію і магнію (4,4–5,4). При цьому ґрунти мають більш високі рівні лужності порівняно з модальними чорноземами південними зони дослідження: в їх гумусовому горизонті рН становить 7,6–7,9, в підгумусовому біля 7,9, в ілювіально-карбонатному типові значення – 8,0–8,2.

Між ґрунтами різного ступеня ксероморфності і еродованості спостерігаються виразні відмінності за вмістом загальних і активних карбонатів, який є важливим показником при ампелоекологічній оцінці земель. Глибина сильного скипання ґрунтів від 10% НСІ в цілому характеризує грубізну їх гумусового горизонту. Середньо- і сильноеродовані ґрунти (розріз 7) скипають з поверхні і в орному шарі містять біля 15% загальних і біля 15% активних карбонатів. Повнопрофільні і укорочені ґрунти міжпапілярних просторів і розлогих видолинків в гумусовому горизонті містять вуглекисле вапно в кількості від 1–2% до 10–11%; більш карбонатні ґрунти приурочені до нижньої третини схилу досліджуваного масиву. Ґрунти днища вузького папіляру стоку в гумусовому горизонті не карбонатні, а в підгумусовому вміст карбонатів типовий для ілювіально-карбонатних горизонтів чорноземів південних (у основному розрізі, що характеризував ці ґрунти, визначили 37%  $\text{CaCO}_3$ ). Вміст активних карбонатів у гумусовому горизонті (Н+Нр) повнопрофільних і укорочених ґрунтів складає максимально 11% і тримається в діапазоні 1–11%. У перехідному горизонті (Phk) ґрунтів міститься 16–19%, а в ілювіально-карбонатному горизонті (РК) – 15–17% активних карбонатів. У гумусовому горизонті (Н+Нр) ґрунтів днища вузького папіляру стоку активного вапна 10–12%, а в ілювіально-карбонатному горизонті (РК) – до

18%. Таким чином, наявність на слабоболотних схилах складної системи мікрознижень – улоговин і папіляр стоку, в тому числі плоских із відсутніми ознаками розмиву, зумовлює у середньосуглинкових піщано-пилуватих ґрунтах високу строкатість за рівнем залягання карбонатного горизонту, вмістом загальних і активних карбонатів.

**Головні висновки.** Перерозподіл і скидання вологи на слабоболотних (до 2°) схилах через систему мікрознижень – улоговини стоку, глибиною 0,4–0,6 м, і плоских мікрознижень (папіляри стоку) – є помітним фактором агроєкологічної диференціації ґрунтового покриву за окремими властивостями ґрунтів. Чорноземи південні середньосуглинкові плоских мікрознижень мають коротший на 12–21% гумусовий горизонт (Н+Нр) і менші на 11% запаси органічної речовини в профілі (Н+Нр+Ph) завдяки зносу ґрунтового матеріалу по схилу. Ґрунти схилів улоговин стоку формуються в умовах підвищеної ксероморфності і розвитку ерозії різного ступеня від слабкого до сильного. Ґрунти папілярів стоку і міжпапілярних просторів не диференціюються за складом увібраних основ і лужністю. Найбільша диференціація ґрунтового покриву спостерігається за вмістом у ґрунтах загальних і активних карбонатів. Окрім диференціюючої ролі мікрорельєфу певне значення має місцезнаходження на схилі.

#### Література

1. Волощук М.Д. Ерозійна деградація чорноземів південно-західної частини України і республіки Молдова. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2016. № 42 (4). С. 41–51.
2. Природний механізм захисту схилувих ґрунтів від водної ерозії: монографія / М. І. Полупан та інш.; ННЦ «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського»; за ред. М. І. Полупана. К.: Фенікс, 2011. 142 с.
3. Achasov A. B., Achasova A. A., Titenko A. V. Soil erosion by assessing hydrothermal conditions of its formation. *Global J. Environ. Sci. Manage.* 5(SI): 12-21, 2019. <https://doi.org/10.22034/GJESM.2019.05.SI.02>
4. Пічура В.І., Потравка Л.О., Дудяк Н.В., Рутта О.В. Моделювання водно-дефляційної деструкції степових ґрунтів України. *Екологічні науки*. 2022. Вип. 5 (44). С. 121–129. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.17>.
5. Власов В.В. Экологические основы формирования виноградных ландшафтов. Арциз : ФОП Петров О.С., 2013. 248 с.

## CONSTRUCTIVE-GEOGRAPHICAL AND ENVIRONMENTAL RESEARCH OF LAND RESOURCES: METHODOLOGICAL PRINCIPLES

Sopov D.S.<sup>1</sup>, Sopova N.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Luhansk Taras Shevchenko National University  
Koval str., 3, 36003, Poltava

<sup>2</sup>Uman National University of Horticulture  
Institutska str., 1, 20305, Uman

lnu.sopov@gmail.com, lnu.sopova@gmail.com

The problems of land use are both geographical and ecological in nature, since the peculiarities of land resources are their territorial limitations and the impossibility of replacing them with other means of production. Any plot of land is confined to a specific fragment of geospace characterized by certain natural conditions. These conditions largely determine the place of the territory in the structure of land resources and its assessment from the point of view of probable crop yields. Therefore, the issue of land use falls within the competence of both geographical and environmental sciences. Among the methodological principles of research of land use problems, the leading places are occupied by dialectics, system approach, fundamental provisions of modern constructive geography and ecology. An important role in the study of geographical aspects of land use issues is played by logical methods of cognition – analysis, synthesis, induction, deduction. It is important to take into account the latest research approaches in geography – ecoevolutionary, synergetic, noosphere. In particular, the concepts of modern ecology are an important component of the methodological basis for research on land use problems. Also, it is necessary to note the ideas of G. O. Bachinsky, M. M. Moiseev, Y. Odum, M. F. Reimers and other scientists, the essence of which is to find ways to achieve harmonious relations between man and nature. An important part of the methodological basis of the study is the theory of genetic soil science, since it is the soil that determines the possibility of using land in agricultural production. We believe that the most important practical measures in the development of an environmentally sound land use strategy in a particular region are the development of a land cadastre system, the identification of geospatial features in the manifestation of adverse effects of irrational land use on the landscape, the development of the main directions for improving the territorial structure of the region's economy in order to improve the ecological situation and preserve the diversity of natural and economic landscape systems, as well as the rationalization of the land structure. *Key words*: land use, constructive-geographical research, systematic approach, methodology, scientific approach, method.

**Конструктивно-географічні та екологічні дослідження земельних ресурсів: методологічні засади. Сопов Д.С., Сопова Н.В.**

Проблеми землекористування є як географічними так і екологічними за своєю суттю, оскільки особливостями земельних ресурсів є їхня територіальна обмеженість і неможливість заміни іншими засобами виробництва. Будь-яка ділянка землі приурочена до конкретного фрагменту геопростору, що характеризується певними природними умовами. Цими умовами великою мірою визначається місце території у структурі земельних ресурсів та її оцінка з позиції ймовірної врожайності сільськогосподарських культур. Тому питання землекористування належить до компетенції і географічних і екологічних наук. Серед методологічних засад досліджень проблем землекористування провідні місця посідають діалектика, системний підхід, фундаментальні положення сучасної конструктивної географії та екології. Важливу роль у вивченні географічних аспектів питань землекористування відіграють логічні методи пізнання – аналіз, синтез, індукція, дедукція. Вагоме значення має врахування новітніх дослідницьких підходів у географії – ековолюційного, синергетичного, ноосферного. Зокрема, важливою складовою методологічної основи досліджень проблем землекористування є концепції сучасної екології. Також, слід відзначити ідеї Г. О. Бачинського, М. М. Моїсєєва, Ю. Одума, М. Ф. Реймерса та інших учених, суть яких полягає в пошуку шляхів досягнення гармонійних взаємин людини з природою. Вагомою частиною методологічної основи дослідження є теорія генетичного ґрунтознавства, оскільки саме ґрунт визначає можливості використання земель у сільськогосподарському виробництві. Найважливішими практичними заходами при напрацюванні екологічно обґрунтованої стратегії землекористування в певному регіоні ми вважаємо розроблення системи кадастру земельних угідь, виявлення геопросторових особливостей у прояві несприятливих для ландшафту наслідків нераціонального землекористування, розроблення головних напрямків удосконалення територіальної структури господарства регіону з метою поліпшення екологічної ситуації та збереження різноманіття природно-господарських ландшафтних систем, а також раціоналізацію структури землекористування. *Ключові слова*: землекористування, конструктивно-географічні дослідження, системний підхід, методологія, науковий підхід, метод.

**Relevance of research.** A feature of the methodology of constructive-geographical and environmental studies of land resources is that, unlike other types of natural resources, they have certain exclusive properties. Among the latter, the feature that land resources are geographically limited and cannot be replaced by other means of production deserves special attention

[20; 22]. In addition, land resources are associated with natural conditions that determine their quality. At the same time, the rational use of land resources can not only preserve them, at least partially, but also improve their characteristics. First of all, this will be possible with a reasonable approach to the formation of the land use structure.

These features inherent in land resources determine the particular importance of the problem we have raised for many regions of our country. Land resources of Ukraine are marked by a high level of land withdrawal from agricultural production, which is associated with the action of both objective and subjective factors. In addition, the natural conditions of the territory as a whole, cause intensive development and erosion processes, which, in turn, causes significant problems associated with land use. All this determines the pronounced relevance of our chosen topic.

**The purpose of the article** is to formulate the methodological foundations of constructive-geographical and environmental studies of land use problems in connection with their features inherent in many regions of our country.

On the way to achieve the goal of our scientific research, we set ourselves the following tasks (figure 1).

**Presentation of the main material.** The fundamental methodological basis of geographical studies of nature management are the laws and principles of dialectics.

In particular, the law of unity and struggle of opposites is manifested through the interaction of natural preconditions of agriculture and socio-historical factors of its development. Often the influence of these factors is opposite in its consequences (for example, in the presence of fertile soils, irrational land use can lead to deterioration of their properties; the result is a steady decline in crop yields). The mentioned law also applies to the following example: anthropogenically enhanced water erosion, the scale of which significantly exceeds natural values, is usually a consequence of the dominance of certain social relations in the agricultural sector; therefore, there are grounds to assert the dialectic of natural and social in the phenomenon of nature use and its research.

An example of the law of transition of quantitative changes into qualitative ones can be a gradual decrease in soil fertility due to constant cultivation of monoculture (in particular, in Ukraine, sunflower is actually such a monoculture on large areas); eventually, the land loses its fertility so much that it is no longer possible to grow wheat and other crops. Another example is the increase in the area of arable land on slopes steeper than  $2^\circ$ , which leads to the emergence or intensification of erosion processes and, consequently, to soil degradation.

The law of negation of negation, in our opinion, is manifested in the way that as a result of bringing the

land occupied for grain crops to unusability, the relevant plots do not completely lose their economic value and can be further used for growing less demanding crops or for pastures, hayfields, etc.

The core principle of research on land use problems is a systematic approach. As noted by Professors S. A. Moroz, V. I. Onoprienko and S. Yu. Bortnyk, the systematic approach is a concept that "in general reflects a strategic attempt to give research a comprehensive nature, to link the discovered and rediscovered facts and patterns into a system, to present knowledge in the form of a logically consistent single system or scheme" [12, p. 118]. Back in the first half of the twentieth century, a number of concepts were developed that had a distinctly systemic nature – in particular, about the landscape (L. S. Berg [2]), about the geographical shell (A. O. Grigoriev [6]), about the noosphere (E. Le Roy [27] and P. Teilhard de Chardin [24]), about the biosphere and the noosphere (V. I. Vernadsky [3; 4]). In the second half of the last century, the concepts of nature management (M. F. Reimers [19]), supported development (eco-evolution [15; 16; 18]), the idea of synergy (G. Hacken [25]), I. Prigozhin and I. Stengers [17] were developed, and allowed to improve systemological research in geography.

Significant contribution to the development of the systematic approach in the context of its application in natural geography was made by R. Chorley and B. Kennedy [26], J. Demek [7], E. Nef [13], V. B. Sochava [23] and other scientists.

A striking example of the application of a systematic approach in the study of the problem we have chosen can be the analysis of the structure and dynamics of land. These lands, consisting of pastures, hayfields, arable land, and the latter, in turn, of crops, are a complex object (hence, it can be considered as a system) with its characteristic properties (complexity, hierarchical structure, emergence, etc.).

A systematic approach in the study of land use problems is also manifested in the analysis of the correlation of spatial and temporal patterns of formation of the modern structure of land resources.

An important component of the methodological basis for research on land use problems is the concept of modern ecology. In particular, it should be noted the ideas of G. O. Bachinsky [1], M. M. Moiseev [11], Y. Odum [14], M. F. Reimers [19], the essence of which is to find ways to achieve harmonious relations between man and nature. Thus, M. M. Moiseev wrote: "...gradually came the understanding that man – his way of life, his destiny – is also inseparable from the environment and is its integral part. And his relationship with nature: the impact on nature in the process of life, especially production activities and, of course, the reverse impact of impoverished nature on man and the development of society – all this should be the subject of special study. Thus, a "parallel" science began

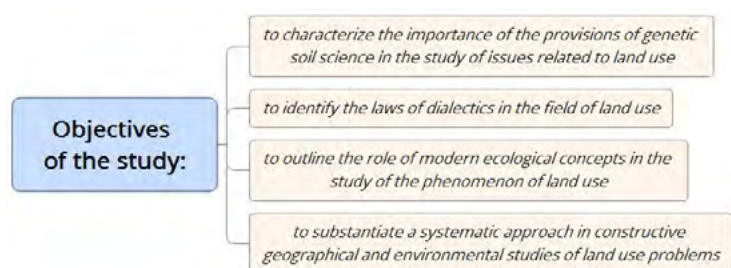


Fig. 1. Objectives of the study

to emerge – human ecology" [11, p. 4] (our translation – D. S., N. V.).

An important part of the methodological basis of our study is the theory of genetic soil science, developed in the late nineteenth century by V. V. Dokuchaev in his works "Russian Chernozem" [9] and "Our steppes before and now" [10]. The mentioned outstanding scientist formulated the definition of soil, which has not lost its relevance to this day: "Soils are ever-changing functions of: a) climate (water, temperature, oxygen, carbon dioxide, etc.); b) parent rocks; c) plant and animal organisms – especially lower ones; d) relief and altitude of the area and, finally, e) soil, and partly geological, age of the country..." [8; 21, p. 16] (our translation – D. S., N. V.). Another well-known definition of "soil" belongs to W. R. Williams: "When we speak of soil, we understand the loose surface horizon of the globe's land, capable of producing crops. The concept of soil and its fertility are inseparable. Fertility is an essential property, a qualitative feature of the soil, regardless of the degree of its quantitative manifestation. We oppose the concept of fertile soil to the concept of barren stone, or, in other words, to the concept of massive rock" [5; 21, p. 19] (our

translation – D. S., N. V.). Synthesizing both of the above definitions, B. Rozanov offers his own definition of soil: "Soil is a complex polyfunctional open four-phase structural system in the surface part of the weathering crust of rocks, which is a complex function of rocks, organisms, climate, relief and time and is characterized by fertility" [21, p. 27] (our translation – D. S., N. V.).

It is the soil that determines the possibility of using land in agricultural production. Accordingly, the territories occupied by the most fertile soils should under no circumstances be withdrawn from the category of agricultural land. On the contrary, the areas with less fertile soils should be used for non-agricultural needs (industrial production, construction, laying of roads, etc.).

**Conclusions.** The methodological basis of constructive-geographical and ecological studies of land use problems consists, on the one hand, of a philosophical component represented by the laws of dialectics and a systematic approach that define the general features of the study, and, on the other hand, of specific scientific natural (soil, ecological) concepts and ideas, the application of which allows to improve certain regional and methodological aspects of the study of these problems.

#### References

1. Бачинский Г. А. Социэкология : теоретические и прикладные аспекты. К. : Наук. думка, 1991. 152 с.
2. Берг Л. С. Опыт разделения Сибири и Туркестана на ландшафтные и морфологические области. *Сборник в честь семидесятилетия профессора Дмитрия Николаевича Анучина*. М. : Издание Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, состоящего при Московском университете, 1913. С. 117–153.
3. Вернадский В. И. Размышления натуралиста : в 2 кн. Кн. 2. Научная мысль как планетное явление. М. : Наука, 1977. 192 с.
4. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. М. : Наука, 1988. 520 с.
5. Вильямс В. Р. Почвоведение. М., 1947. 402 с.
6. Григорьев А. А. Предмет и задачи физической географии. *На методологическом фронте географии и экономической географии*. М.; Л., 1932. С. 45–59.
7. Демек Я. Теория систем и изучение ландшафта. М. : Прогресс, 1977. 224 с.
8. Докучаев В. В. К учению о зонах природы. СПб., 1899. 402 с.
9. Докучаев В. В. Русский чернозём. М., 1936. 452 с.
10. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь (почвоведческий очерк). 2-е изд. М., 1953. 152 с.
11. Моисеев Н. Н. Экология человека глазами математика. М. : Молодая гвардия, 1988. 254 с.
12. Мороз С. А. Методология географической науки. К. : Заповіт, 1997. 334 с.
13. Нееф Э. Теоретические основы ландшафтоведения. М. : Прогресс, 1974. 220 с.
14. Одум Ю. Экология : В 2-х т. Т. 2. М. : Мир, 1986. 376 с.
15. Пащенко В. М. Методология постнеклассического ландшафтознания : монография. К., 1999. 284 с.
16. Пащенко В. М. Землезнавння : Кн. 1. Методология природничо-географічних наук. К., 2000. 320 с.
17. Пригожин И. Время, хаос, квант : пер. с англ. М. : Издательская группа «Прогресс», 1999. 268 с.
18. Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Женева : Центр «За наше общее будущее», 1993. 70 с.
19. Реймерс Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник. М. : Мысль, 1990. 640 с.
20. Розанов Б. Г. Основы учения об окружающей среде. М. : Изд-во МГУ, 1984. 372 с.
21. Розанов Б. Г. Морфология почв : Учебник для высшей школы. М. : Академический проект, 2004. 432 с.
22. Розов Н. Н. Почвенный покров мира. М., 1979. 290 с.
23. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1978. 320 с.
24. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М. : Прогресс, 1965. 296 с.
25. Хакен Г. Синергетика. М. : Мир, 1980. 404 с.
26. Chorley R. J. Physical Geography. A System Approach. Prentice-Hall International Inc., London, 1971. 202 p.
27. Le Roy E. Les origines humaines et l'évolution de l'intelligence. Paris : Ancienne Librairie Furne Boivin & C°, 1928. 375 p.



## ПАРАМЕТРИ КОРЕНЕВИХ СИСТЕМ БОБОВИХ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВ ЯК ЧИННИК ВПЛИВУ НА АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТУ

Ткачук О.П., Врадій О.І.

Вінницький національний аграрний університет  
вул. Сонячна, 3, 21008, м. Вінниця  
tkachukop@ukr.net

Досліджено індивідуальні параметри кореневих систем шести видів бобових багаторічних трав: люцерни посівної (*Medicago sativa*), конюшини лучної (*Trifolium pratense*), еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), буркуну білого (*Melilotus albus*), лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та козлятника східного (*Galega orientalis*) у динаміці їх чотирирічного росту і розвитку: сумарна довжина, площа поверхні, об'єм та маса кореневої системи, а також комплексно-групові параметри: об'єм і маса кореневих систем усіх рослин на площі 1 га.

Зазначені індивідуально-групові параметри кореневих систем були співставлені з агроекологічними показниками ґрунту, що були досягнуті при вирощуванні бобових багаторічних трав: вміст гумусу, азоту легкогідролізованого, фосфору рухомого, калію обмінного, величина гідролітичної кислотності, реакція ґрунтового розчину рН, вміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку.

Встановлено, що коренева система конюшини лучної (*Trifolium pratense*) відзначається великою сумарною довжиною та площею поверхні, але найменшою масою; коренева система лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) має найменші загальну довжину, площу поверхні, об'єм та масу; коренева система козлятника східного (*Galega orientalis*) має найбільшу довжину та масу; коренева система буркуну білого (*Melilotus albus*) має найбільший об'єм, але найменшу сумарну довжину; коренева система еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) характеризувалась найбільшими сумарною довжиною, площею поверхні та об'ємом.

Найбільший об'єм, площа поверхні та сумарна довжини кореневої системи еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) на кінець другого року вегетації серед усіх видів бобових багаторічних трав забезпечує накопичення у ґрунті найвищого вмісту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію, а також найменший вміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку. *Ключові слова:* бобові багаторічні трави, кореневі системи, індивідуальні параметри, ґрунт, агроекологічний стан, взаємозв'язок.

### Parameters of the root systems of perennial legumes as a factor of influence on the agro-ecological condition of the soil. Tkachuk O., Vradii O.

The individual parameters of the root systems of six types of leguminous perennial grasses were studied: alfalfa (*Medicago sativa*), meadow clover (*Trifolium pratense*), sand safflower (*Onobrychis arenaria*), white burdock (*Melilotus albus*), horned licorice (*Lotus corniculatus*) and oriental goat's milkweed (*Galega orientalis*) in the dynamics of their four-year growth and development: total length, surface area, volume and mass of the root system, as well as complex group parameters: volume and mass of root systems of all plants on an area of 1 ha.

The specified individual and group parameters of the root systems were compared with the agroecological indicators of the soil, which were achieved during the cultivation of leguminous perennial grasses: the content of humus, easily hydrolyzable nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium, the amount of hydrolytic acidity, the reaction of the soil solution pH, the content of mobile forms of heavy metals: lead, cadmium, copper and zinc.

It was established that the root system of meadow clover (*Trifolium pratense*) is characterized by a large total length and surface area, but the smallest mass; the root system of lotus (*Lotus corniculatus*) has the smallest total length, surface area, volume and mass; the root system of *Galega orientalis* has the largest length and mass; the root system of the white gorse (*Melilotus albus*) has the largest volume, but the smallest total length; the root system of sand safflower (*Onobrychis arenaria*) was characterized by the largest total length, surface area and volume.

The largest volume, surface area and total length of the root system of sand safflower (*Onobrychis arenaria*) at the end of the second year of vegetation among all types of leguminous perennial grasses ensures the accumulation in the soil of the highest content of humus, easily hydrolyzed nitrogen, mobile phosphorus and exchangeable potassium, as well as the lowest content mobile forms of heavy metals: lead, cadmium, copper and zinc. *Key words:* leguminous perennial grasses, root systems, individual parameters, soil, agroecological condition, relationship.

**Постановка проблеми.** Відомо, що багаторічні бобові трави комплексно впливають на поліпшення показників родючості ґрунту, залишаючи у ньому сухі кореневі рештки масою від 40 до 120 ц/га. У кореневій системі бобових багаторічних трав міститься 2,5–4,0% азоту в перерахунку на суху

речовину. Після відмирання та розкладання кореневих систем бобових багаторічних трав запаси азоту в ґрунті збільшуються на 150–300 кг/га [1; 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Залежно від виду вирощуваної культури та рівня сформованої нею біологічної маси, змінюється кількість

рослинних решток, які повертаються в ґрунт, як субстрат, з якого утворюється гумус. Найбільша кількість біомаси серед усіх культурних рослин, яка поступає в ґрунт з кореневими рештками, відмічається після вирощування бобових багаторічних трав. У результаті розкладу органічних решток з них у ґрунті накопичується гумус, кількість якого тим більша – чим більше в ґрунт поступило біомаси рослин [3; 4].

Біологізація ґрунту під травостоєм бобових багаторічних трав найбільше залежить від накопичення запасів органічної речовини. Підземну біомасу бобових багаторічних трав складають підземні пагони, дрібні корінці з великою кількістю бульбочок із бульбочковими бактеріями, старе коріння і стерня. Уже починаючи з другого року вегетації бобових багаторічних трав, унаслідок ущільнення ґрунту сповільнюються процеси мінералізації органічної речовини в ґрунті, що призводить до поступового утворення гумусу [5; 6].

Зростання вмісту органічної речовини в ґрунті під травостоєм бобових багаторічних трав має пряму залежність не тільки з надземною біомасою рослин, але й з накопиченням корневих та стерневих решток у ґрунті [7].

Процеси, що відбуваються у надземних органах рослин мають прямий зв'язок із функцією їх підземної частини. Встановлено, що чим більший об'єм і протяжність кореневої системи рослини – тим більша сформована маса її надземної частини, оскільки розвинена коренева система сприяє ефективному поглинанню поживних речовин та вологи з ґрунту [8; 9].

Утворений гумус з корневих систем бобових багаторічних трав сприяє зростанню у ґрунті не лише вмісту азоту, але й фосфору, калію, кальцію, мікроелементів, поліпшує агрофізичні та фітосанітарні властивості. Встановлено, що вирощування бобових багаторічних трав зумовлює зниження вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті [10; 11].

**Мета роботи.** Відома беззаперечна та визначальна роль потужних корневих систем бобових багаторічних трав у поліпшенні агроекологічного стану ґрунту, проте не встановлені безпосередні індивідуальні та комплексно-групові параметри корневих систем бобових багаторічних трав, які здійснюють визначальний вплив на стан ґрунту, зокрема такі як сумарна протяжність кореневої системи, площа її поверхні, об'єм та маса кореневої системи однієї рослини. А з урахуванням того, що на площі 1 га кількість рослин кожного виду бобових багаторічних трав буде різною, відбуватимуться зміни і у кількісних параметрах корневих систем.

**Методологія.** Дослідженнями передбачалось вивчити вплив динаміки параметрів корневих систем бобових багаторічних трав на зміну агроекологічних показників ґрунту. Вивчали шість видів бобових багаторічних трав: люцерна посівна (*Medicago sativa*), конюшина лучна (*Trifolium pratense*), еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*), буркун

білий (*Melilotus albus*), лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus*) та козлятник східний (*Galega orientalis*). Досліджували наступні параметри корневих систем у розрізі однієї рослини бобових багаторічних трав: сумарна довжина, площа поверхні, об'єм та маса. Також об'єм та масу корневих систем усіх рослин перераховували на площу 1 га. Визначали наступні агроекологічні показники ґрунту після вирощування бобових багаторічних трав: вміст гумусу, азоту легкогідролізованого, фосфору рухомого, калію обмінного, кальцію, гідролітичну кислотність, реакцію ґрунтового розчину рН, вміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку.

Повторність дослідів чотириразова. Облікова площа ділянки польового дослідів – 50 м<sup>2</sup>, загальна площа ділянки – 70 м<sup>2</sup>. Варіанти у досліді розміщуються систематично у 6 блоків. Бобові багаторічні трави висівали 2013 року весною, безпокритим способом на дослідних ділянках Науково-дослідного господарства «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету на сірих опідзолених середньосуглинкових ґрунтах. Щорічно травостій бобових багаторічних трав скошували на зелену масу. Дослід тривав з 2013 по 2018 рр.

Агрохімічний склад ґрунту дослідної ділянки до початку проведення дослідів мав такі показники: вміст гумусу – 2,0%, азоту легкогідролізованого (за Корнфілдом) – 13,3 мг/100 г, рухомого фосфору (за Чіріковим) – 39,0 мг/100 г, обмінного калію (за Чіріковим) – 6,4 мг/100 г, кальцію – 13,0 мг /100 г, кислотність гідролітична – 0,53 мг-екв./100 г, реакція ґрунтового розчину рН<sub>сол.</sub> 7,0.

Визначення досліджуваних агроекологічних показників ґрунту здійснювали у сертифікованих та акредитованих лабораторіях: Випробувальному центрі Вінницької філії Державної установи «Держґрунтохорона» Інституту охорони ґрунтів України Міністерства аграрної політики та продовольства України та Науково-вимірвальній агрохімічній лабораторії кафедри екології та охорони навколишнього середовища факультету агрономії та лісівництва Вінницького національного аграрного університету Міністерства освіти і науки України.

Вміст гумусу визначали окисленням органічної речовини розчином двохромовоокислого калію в сірчаній кислоті для визначення органічного вуглецю спектрофотометрично; вміст рухомих форм важких металів – атомно-абсорбційним методом; реакцію ґрунтового розчину рН – вилученням обмінного іону водню з ґрунту хлористим калієм; гідролітичну кислотність – методом Каппена в модифікації ЦІНАО; вміст легкогідролізованого азоту – методом Корнфілда; вміст рухомого фосфору і обмінного калію – методами Чирикова; вміст кальцію – комплексонометричним способом з використанням трилону Б [12].

Спостереження за індивідуальними параметрами корневих систем бобових багаторічних трав передбачали визначення особливостей поширення коренів

у ґрунті методом сухого розкопування з послідовним вимірюванням довжини коренів мірною стрічкою, товщини – штангенциркулем. Площу поверхні кореневої системи визначали розрахунковим способом, а об'єм – зануренням кореневої системи у мірний циліндр, заповнений водою [13].

**Виклад основного матеріалу.** Кореневі системи бобових багаторічних трав впливають на агроекологічний стан ґрунту формуючи певний об'єм у ґрунті, а також накопичуючи біологічну масу, що наповнює ґрунт. У цьому аспекті сформований об'єм кореневої системи бобових багаторічних трав розрихлює ґрунт, а маса коренів є фактичним чинником формування у ґрунті поживних речовин при розкладанні кореневих систем після відмирання рослини. Також сформований розмір кореневої системи впливає на поглинання з ґрунту токсикантів, зокрема важких металів, залишків пестицидів, радіонуклідів, очищаючи його та виконуючи функцію фіторедеміантів. Чим більший розмір кореневої системи – тим більш позитивний вплив на ґрунт можуть чинити бобові багаторічні трави.

Параметри кореневих систем бобових багаторічних трав можна визначити як на одну рослину, так і розрахувати на один гектар, що дасть більш об'єк-

тивні дані щодо впливу на агроекологічний стан ґрунту того чи іншого виду бобових багаторічних трав. Побічними параметрами кореневих систем бобових багаторічних трав, які також можуть впливати на агроекологічний стан ґрунту, є сумарна довжина коренів однієї рослини та площа поверхні усіх коренів однієї рослини. Зазначені параметри значною мірою впливають на поглинальну здатність рослин не тільки поживних речовин і води з ґрунту, але й токсичних речовин разом з ними.

Найбільший об'єм кореневої системи з однієї рослини в кінці першого року вегетації бобових багаторічних трав мали еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*) і буркун білий (*Melilotus albus*) – по 1,25 дм<sup>3</sup>, а найменший – лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus*) – 0,20 дм<sup>3</sup>, що було на 84% менше, ніж у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і буркуну білого (*Melilotus albus*). Решта видів бобових багаторічних трав мали подібну за об'ємом кореневу систему, яка становила 0,37-0,42 дм<sup>3</sup>, що було на 66-70% менше, ніж її об'єм у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і буркуну білого (*Melilotus albus*) (табл. 1).

Найбільшу площу поверхні кореневої системи з однієї рослини бобових багаторічних трав мав еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*) – 200 дм<sup>2</sup>,

Таблиця 1

Параметри кореневих систем бобових багаторічних трав, 2013–2018 рр.

Вид бобових багаторічних трав	Роки вегетації	Сумарна довжина кореневої системи, дм/рослина	Площа поверхні кореневої системи, дм <sup>2</sup> /рослина	Об'єм кореневої системи, дм <sup>3</sup>		Маса кореневої системи	
				однієї рослини	на 1 га	однієї рослини, г	на 1 га, кг
Люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> )	1	840,0	67,2	0,42	17,640×10 <sup>5</sup>	18,17	76314
	2	2369,1	260,6	2,28	45,144×10 <sup>5</sup>	97,00	192060
	3	2888,6	404,4	4,55	26,845×10 <sup>5</sup>	196,61	116000
	4	5694,1	968,0	14,52	17,424×10 <sup>5</sup>	624,35	74922
Конюшина лучна ( <i>Trifolium pratense</i> )	1	1974,0	98,7	0,37	16,354×10 <sup>5</sup>	5,90	26078
	2	2880,0	230,4	1,44	32,256×10 <sup>5</sup>	24,00	53760
Еспарцет піщаний ( <i>Onobrychis arenaria</i> )	1	2500,0	200,0	1,25	24,750×10 <sup>5</sup>	11,88	23522
	2	3407,7	443,0	4,43	76,196×10 <sup>5</sup>	64,01	110097
	3	2301,8	391,3	5,38	28,514×10 <sup>5</sup>	79,62	42199
	4	1244,0	311,0	6,22	16,172×10 <sup>5</sup>	92,37	24016
Буркун білий ( <i>Melilotus albus</i> )	1	793,6	111,1	1,25	42,125×10 <sup>5</sup>	20,90	70433
	2	2565,0	359,1	4,04	74,740×10 <sup>5</sup>	67,00	123950
Лядвенець рогатий ( <i>Lotus corniculatus</i> )	1	666,7	40,0	0,20	9,360×10 <sup>5</sup>	4,50	21060
	2	1633,3	98,0	0,49	13,573×10 <sup>5</sup>	11,27	31220
	3	2000,0	160,0	1,00	14,500×10 <sup>5</sup>	22,45	32553
	4	2266,7	204,0	1,53	11,781×10 <sup>5</sup>	33,81	26034
Козлятник східний ( <i>Galega orientalis</i> )	1	840,0	67,2	0,42	12,180×10 <sup>5</sup>	27,70	80330
	2	2547,8	229,3	1,72	48,848×10 <sup>5</sup>	113,52	322397
	3	1190,0	190,4	2,38	26,656×10 <sup>5</sup>	155,89	174597
	4	807,1	193,7	3,39	30,849×10 <sup>5</sup>	220,35	200519

що забезпечувала велика кількість тонких бічних корінців у нього. Найменшу площу поверхні кореневої системи з однієї рослини мав лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus*) – 40 дм<sup>2</sup>. Це було на 80% менше, ніж площа поверхні кореневої системи однієї рослини у решти бобових багаторічних трав, де вона становила 67,2–111,1 дм<sup>2</sup>, та була на 44–66% менша, ніж площа поверхні кореневої системи у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Сумарна довжина кореневої системи з однієї рослини бобових багаторічних трав була найбільша у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – 2500,0 дм, а найменша – 666,7 дм, визначена у лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*). Це було на 73,3% менше, ніж сумарна довжина усіх коренів з однієї рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Сира маса кореневої системи бобових багаторічних трав з однієї рослини була найбільша у козлятнику східного (*Galega orientalis*) – 27,70 г а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*) – 4,50 г та конюшини лучної (*Trifolium pratense*) – 5,90 г, що було, відповідно, на 83,8% та 78,7% менше, ніж сира маса кореневої системи однієї рослини козлятнику східного (*Galega orientalis*).

На другий рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневих систем однієї рослини зріс і становив 0,49–4,43 дм<sup>3</sup>. Найбільший об'єм кореневої системи однієї рослини зберегли, як і першого року вегетації, еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*) і буркун білий (*Melilotus albus*) – 4,43 дм<sup>3</sup>, а найменший – рослини лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*) – 0,49 дм<sup>3</sup>, що було на 88,9% менше, ніж об'єм кореневої системи однієї рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і буркуну білого (*Melilotus albus*). Така ж залежність щодо об'єму кореневих систем бобових багаторічних трав відмічалась і першого року вегетації рослин.

Площа поверхні кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації складала 98,0–443,0 дм<sup>2</sup>. Вона була найбільша у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 77,9% менше, ніж у рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). Подібна залежність відмічалась і першого року вегетації бобових багаторічних трав.

Сумарна довжина кореневої системи з однієї рослини другого року вегетації бобових багаторічних трав складала 1633,3–3407,7 дм. Найбільша вона була виявлена у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 52,1% менше, ніж у рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). Подібна залежність спостерігалась і першого року вегетації бобових багаторічних трав.

Сира маса кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації складала 11,27–113,52 г. Найбільшу масу кореневої

системи мали рослини козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменшу – рослини лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), що була на 90,1% менша, ніж маса кореневої системи козлятнику східного (*Galega orientalis*). Порівняно з першим роком вегетації бобових багаторічних трав, загальна тенденція зберігалась, проте зростає маса кореневої системи конюшини лучної (*Trifolium pratense*).

На третій рік вегетації бобових багаторічних трав з травостою випадають рослини буркуну білого (*Melilotus albus*) і конюшини лучної (*Trifolium pratense*), які є дворічними культурами. Найбільший об'єм кореневої системи серед трав, які продовжили вегетацію, був у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – 5,38 дм<sup>3</sup>, а найменший – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*) – 1,00 дм<sup>3</sup>, що на 81,4% менше, ніж у рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). Подібна залежність спостерігалась і у попередні роки вегетації бобових багаторічних трав.

Площа поверхні кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав була найбільшою у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*) – 404,4 дм<sup>2</sup>, а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*) – 160,0 дм<sup>2</sup>, що на 60,4% менше, ніж площа поверхні кореневої системи люцерни посівної (*Medicago sativa*). На третій рік вегетації бобових багаторічних трав суттєво зростає площа поверхні кореневої системи люцерни посівної (*Medicago sativa*), порівняно з рослинами еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Сумарна довжина кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав у кінці третього року вегетації становила 1190,0–2888,6 дм. Найбільшою вона спостерігалась у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменшою – у рослин козлятнику східного (*Galega orientalis*), що було на 58,8% менше, ніж у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*). Порівняно з попереднім роком вегетації бобових багаторічних трав, зростає сумарна довжина кореневої системи у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*) та лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), порівняно з рослинами еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і козлятнику східного (*Galega orientalis*).

Сира маса кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на кінець третього року вегетації складала 22,45–196,61 г. Найбільша маса кореневої системи однієї рослини була виявлена у люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), що було на 88,6% менше, ніж маса кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Порівняно з попереднім роком вегетації бобових багаторічних трав, зростає маса кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*), порівняно з рослинами козлятнику східного (*Galega orientalis*).

На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневої системи однієї рослини склав 1,53–14,52 дм<sup>3</sup>. Найбільшим він був у однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменшим – у рослини лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 89,5% менше, ніж об'єм кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Порівняно з третім роком вегетації бобових багаторічних трав суттєво збільшується об'єм кореневої системи рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), порівняно з рослинами еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Площа поверхні кореневої системи однієї рослини досліджуваних бобових багаторічних трав складала 193,7–968,0 дм<sup>2</sup>. Найбільша вона була у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменша – у рослин лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 80,0% менше, ніж площа поверхні кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Подібна тенденція щодо розподілу площі поверхні кореневих систем однієї рослини бобових багаторічних трав спостерігалась і третього року вегетації.

Сумарна довжина кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав була найбільшою у люцерни посівної (*Medicago sativa*) – 5694,1 дм, а найменшою – у рослин козлятнику східного (*Galega orientalis*) – 807,1 дм, що на 85,8% менше, ніж довжина кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Така ж тенденція щодо розподілу між різними видами бобових багаторічних трав загальної довжини кореневої системи відмічалась і попереднього року вегетації.

Сира маса кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на четвертий рік вегетації була найбільшою у люцерни посівної (*Medicago sativa*) – 624,35 г, а найменшою – у рослин лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) – 33,81 г, що на 94,6% менше, ніж маса кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Така ж тенденція щодо розподілу маси кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав відмічалась і попереднього року вегетації.

Загалом, впродовж усіх чотирьох років вегетації бобових багаторічних трав, об'єм кореневої системи однієї рослини усіх видів збільшувався щорічно. Зокрема, на другий рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневої системи однієї рослини зріс у 2,5–5,4 рази. Найінтенсивніше збільшувався об'єм кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменше – рослин лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*).

На третій рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневої системи однієї рослини зріс у 1,2–2,0 рази, найбільше – у рослин лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), а найменше – у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм

кореневих систем однієї рослини зріс у 1,2–3,2 рази. Найбільше зростання об'єму кореневих систем було характерне для рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменше – для рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). Загалом, у всіх видів бобових багаторічних трав найбільше зростав об'єм кореневих систем однієї рослини на другий рік вегетації, а найменше – на третій-четвертий рік.

Площа поверхні кореневих систем однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації зросла у 2,2–3,9 рази, порівняно з першим роком. Найбільше зростання було характерне для рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменше – для рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На третій рік вегетації бобових багаторічних трав площа поверхні кореневих систем однієї рослини зросла у лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та люцерни посівної (*Medicago sativa*) у 1,6 рази, в той час як у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і козлятнику східного (*Galega orientalis*) зменшилась і становила 0,8–0,9 від частки площі кореневої системи однієї рослини другого року вегетації цих бобових багаторічних трав. На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав зросла площа кореневих систем однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*) у 2,4 рази, лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) – у 1,3 рази, а козлятнику східного (*Galega orientalis*) залишилась на рівні третього року вегетації і лише еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – зменшилась у 1,3 рази.

Сумарна довжина кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації, порівняно з першим роком, зросла у 1,4–3,2 рази, найбільше – у рослин буркуну білого (*Melilotus albus*), а найменше – у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На третій рік вегетації довжина кореневої системи однієї рослини зросла в 1,2 рази у люцерни посівної (*Medicago sativa*) та лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та зменшилась у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) в 1,5 рази та козлятнику східного (*Galega orientalis*) – в 2,2 рази. На четвертий рік вегетації сумарна довжина кореневої системи однієї рослини зросла лише у люцерни посівної (*Medicago sativa*) – у 2 рази та лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) – у 1,4 рази. В той же час у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) та козлятнику східного (*Galega orientalis*) сумарна довжина кореневої системи однієї рослини зменшилась, порівняно з третім роком вегетації, відповідно у 1,9 та 1,5 рази.

Сира маса кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації, порівняно з першим роком, зросла у 2,5–5,4 рази. Найбільше зростання маси кореневої системи однієї рослини було характерне для еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменше – для лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*).

На третій рік вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем однієї рослини зросла в 1,3–2,0 рази. Найбільше зростання маси кореневої системи однієї рослини було характерне для люцерни посівної (*Medicago sativa*) та лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), а найменше – для еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав маса кореневої системи однієї рослини зросла у 1,2–3,2 рази, найбільше – у люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменше – у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Загальний вплив кореневих систем бобових багаторічних трав на зміну показників агроекологічного стану ґрунту визначається об'ємом та масою кореневих систем на одиниці площі ґрунту, зокрема на один гектар. Ці параметри включають об'єм контакту кореневих систем усіх рослин з ґрунтом при поглинанні як поживних речовин, так і токсичних важких металів з ґрунту, а також обсяг накопиченої у ґрунті маси органічної речовини, що згодом перетвориться у гумус. Об'єм та маса кореневих систем бобових багаторічних трав у ґрунті визначаються не лише морфологічними розмірами кореневих систем окремих рослин, але й загальною кількістю рослин на одиниці площі.

У кінці вегетаційного періоду першого року життя бобових багаторічних трав об'єм кореневих систем усіх рослин становив  $9,360\text{--}42,125 \times 10^5$  дм<sup>3</sup>/га. Найбільший об'єм кореневих систем усіх рослин у ґрунті формують посіви буркуну білого (*Melilotus albus*), а найменший – посіви лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 77,8% менше, ніж об'єм кореневих систем усіх рослин буркуну білого (*Melilotus albus*).

На кінець другого року вегетації бобових багаторічних трав об'єм усіх кореневих систем рослин на площі 1 га становив  $13,573\text{--}76,196 \times 10^5$  дм<sup>3</sup>. Найбільший об'єм кореневих систем усіх рослин був встановлений на посівах еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменший – на посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 82,2% менше, ніж об'єм кореневих систем усіх рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

На третій рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневих систем усіх рослин становив  $14,500\text{--}28,514 \times 10^5$  дм<sup>3</sup>/га. Найменшим він залишився у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), а найбільшим – у посівах еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), що на 49,2% більше, ніж у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*).

На четвертий рік вегетації об'єм кореневих систем усіх рослин бобових багаторічних трав у ґрунті склав  $11,781\text{--}30,849 \times 10^5$  дм<sup>3</sup>/га. Найбільший об'єм кореневих систем був встановлений у посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменший – у посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 61,8% менший, ніж у посівах козлятнику східного (*Galega orientalis*).

Спостереження за динамікою об'єму кореневих систем усіх рослин бобових багаторічних трав впродовж усіх років вегетації показали, що другого року вегетації бобових багаторічних трав, порівняно з першим роком, об'єм кореневих систем зріс на площі 1 га у 1,5–4,0 рази. Найсуттєвіше збільшився об'єм кореневих систем у посівах козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменше – у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*). На третій рік вегетації бобових багаторічних трав на площі 1 га зріс лише об'єм кореневих систем у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) у 1,1 рази, а у решти бобових багаторічних трав – зменшився у 1,7–2,7 рази. Найсуттєвіше зменшився об'єм кореневих систем у посівах еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав подібна залежність зберіглась, зокрема зменшився об'єм кореневих систем на площі 1 га посівів люцерни посівної (*Medicago sativa*) та еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – у 1,6–1,8 рази, але збільшився об'єм кореневих систем посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та козлятнику східного (*Galega orientalis*) – в 1,2 рази.

Маса кореневих систем усіх рослин бобових багаторічних трав у кінці вегетації першого року становила 21060–80330 кг/га. Найбільшу масу кореневих систем мав посів козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменшу – посів лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 73,8% менше, ніж маса кореневих систем козлятнику східного (*Galega orientalis*).

У кінці другого року вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем усіх рослин становила 31220–322397 кг/га. Найбільша маса кореневих систем була виявлена у посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменша – у посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 90,3% менше, ніж маса усіх рослин з посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*).

У кінці третього року вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем усіх рослин становила 32553–174597 кг/га. Найбільшою вона була у посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменшою – у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 81,4% менше, ніж маса кореневих систем у посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*).

На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем усіх рослин склала 24016–200519 кг/га. Найбільша маса кореневих систем була у посіву люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменша – у посіву еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), що на 88,0% менше, ніж маса кореневих систем у посіву люцерни посівної (*Medicago sativa*).

Аналіз динаміки маси кореневих систем рослин бобових багаторічних трав на площі 1 га показав, що на другий рік вегетації, порівняно з першим роком,

їх маса зростає у 1,5–4,7 рази. Найбільше зростання маси кореневих систем усіх рослин було характерне для посіву еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменше – для посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*). На третій рік вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем на площі 1 га зростає лише на посіві лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) в 1,1 рази, а на решті посівах – зменшилась у 1,7–2,6 рази. Найсуттєвіше зменшилась маса кореневих систем посіву еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав відбулось збільшення маси кореневих систем посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) і козлятнику східного (*Galega orientalis*) в 1,2–1,3 рази та зменшення маси на решті видах бобових багаторічних трав у 1,6–1,8 рази.

Підсумовуючи результати досліджень щодо впливу досліджуваних параметрів кореневих систем бобових багаторічних трав на агроекологічний стан ґрунту, необхідно відмітити наступне: коренева система конюшини лучної (*Trifolium pratense*) відзначається великою сумарною довжиною та площею поверхні, але найменшою масою; коренева система лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) має найменші загальну довжину, площу поверхні, об'єм та масу; коренева система козлятнику східного (*Galega orientalis*) має найбільшу довжину та масу; коренева система буркуну білого (*Melilotus albus*) має найбільший об'єм, але найменшу сумарну довжину; коренева система еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) характеризувалась найбільшими сумарною довжиною, площею поверхні та об'ємом.

На другий рік вегетації бобових багаторічних трав, більшість з досліджуваних видів збільшили сумарну довжину, площу поверхні та об'єм кореневих систем з однієї рослини, крім рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) та буркуну білого (*Melilotus albus*), а масу кореневих систем однієї рослини збільшили всі види бобових багаторічних трав; рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) та буркуну білого (*Melilotus albus*) на другий рік вегетації зменшили, порівняно з першим роком, сумарну довжину, площу поверхні та об'єм кореневої системи, а збільшили лише її масу; найбільш інтенсивно зростає сумарна довжина кореневих систем однієї рослини на другий рік вегетації, порівняно з першим, у рослин козлятнику східного (*Galega orientalis*), площа поверхні та об'єм кореневих систем однієї рослини – у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), маса кореневих систем – у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*); найповільніше зростає на другий рік вегетації сумарна довжина кореневих систем у рослин конюшини лучної (*Trifolium pratense*), площа поверхні та маса кореневих систем – у рослин козлятнику східного (*Galega orientalis*), об'єм кореневих систем – у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*); рослини козлятнику східного (*Galega orientalis*) мали

на другий рік вегетації найбільшу сумарну довжину і площу поверхні кореневих систем; рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*) мали найбільший об'єм, а еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – масу кореневих систем; рослини лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) мали найменший об'єм та масу кореневих систем з однієї рослини.

На основі виявлених залежностей особливостей впливу параметрів кореневих систем бобових багаторічних трав на агроекологічні показники ґрунту, встановлені такі тенденції: коренева система однієї рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) характеризується найбільшим об'ємом, площею та сумарною довжиною на кінець другого року вегетації бобових багаторічних трав. Це зумовило формування найбільшого об'єму кореневих систем еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) на площі 1 га на кінець другого року вегетації бобових багаторічних трав. Найбільший об'єм кореневих систем серед усіх бобових багаторічних трав сприяв накопиченню у ґрунті найбільшого вмісту гумусу на четвертий рік вегетації – 2,30%, легкогідролізованого азоту – 14,2 мг/100 г, рухомого фосфору – 44,4 мг/100 г, калію обмінного – 9,2 мг/100 г, а також найбільшого вмісту на другий рік вегетації: фосфору рухомого – 41,3 мг/100 г та калію обмінного – 8,4 мг/100 г. Потужна коренева система рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) завдяки поглинанню з ґрунту важких металів забезпечила на другий та четвертий роки вегетації бобових багаторічних трав найнижчий вміст у ньому рухомих форм свинцю – по 1,5 мг/кг, кадмію, відповідно 0,02 мг/кг та 0,01 мг/кг, найменший вміст міді та цинку на другий рік вегетації, відповідно 6,0 мг/кг та 2,8 мг/кг (табл. 2, 3).

Також травостій еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) відзначався найменшою масою, об'ємом та сумарною довжиною кореневих систем на площі 1 га на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав та найменшою площею кореневої системи однієї рослини на четвертий рік вегетації, що зумовило найбільший вміст міді – 0,4 мг/кг та цинку – 2,4 мг/кг у ґрунті серед усіх видів бобових багаторічних трав на четвертий рік вегетації.

Коренева система однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*) відзначалась найбільшим об'ємом, площею поверхні, сумарною довжиною та масою на 3–4-й роки вегетації бобових багаторічних трав. Це зумовило накопичення у ґрунті найменшого вмісту міді – 0,1 мг/кг та цинку – 1,1 мг/кг на четвертий рік вегетації. Також сукупність кореневих систем посіву люцерни посівної (*Medicago sativa*) відзначалась найменшим об'ємом на площі 1 га на четвертий рік вегетації. Це зумовило накопиченню найменшого вмісту гумусу на четвертий рік вегетації – 2,10% та азоту легкогідролізованого як на другий рік – 13,0 мг/100 г, так і на четвертий рік вегетації – 13,7 мг/100 г, фосфору рухомого – 42,4 мг/100 г та калію обмінного на четвертий рік вегетації –

8,6 мг/100 г, а також кальцію на другий рік і четвертий рік вегетації – по 13,0 мг-екв./100 г.

Також спостерігалась найменша величина гідролітичної кислотності ґрунту на другий рік вегетації – 0,38 мг-екв./100 г, але найбільша концентрація на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав рухомих форм свинцю – 3,6 мг/кг та кадмію –

0,02 мг/кг, а також на другий рік вегетації міді – 6,8 мг/кг та цинку – 9,1 мг/кг.

Коренева система козлятнику східного (*Galega orientalis*) відзначалась найбільшою масою з однієї рослини першого-третього років вегетації. Це зумовило формуванню найбільшої маси корневих систем на площі 1 га впродовж усіх років вегетації

Таблиця 2

## Агрохімічні показники ґрунту після вирощування бобових багаторічних трав, 2013–2018 рр.

Вид бобових багаторічних трав	Роки вегетації	Вміст					Кислотність гідролітична, мг-екв./100 г ґрунту	Реакція ґрунтового розчину, рНсол
		Гумусу, %	Азоту легкогідролізованого, мг/100 г ґрунту	Фосфору рухомого, мг/100 г ґрунту	Калію обмінного, мг/100 г ґрунту	Кальцію, мг-екв./100 г ґрунту		
До вирощування трав	-	2,00	13,3	39,0	6,4	13,0	0,53	7,0
Люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> )	2	2,03	13,0	40,5	8,0	13,0	0,38	7,3
	4	2,10	13,7	42,4	8,6	13,0	0,40	7,1
Конюшина лучна ( <i>Trifolium pratense</i> )	2	2,01	13,1	40,0	7,7	13,1	0,38	7,3
Еспарцет піщаний ( <i>Onobrychis arenaria</i> )	2	2,02	13,2	41,3	8,4	13,2	0,43	6,6
	4	2,30	14,2	44,4	9,2	13,3	0,39	7,2
Буркун білий ( <i>Melilotus albus</i> )	2	2,02	13,0	40,8	7,6	13,5	0,40	7,2
Лядвенець рогатий ( <i>Lotus corniculatus</i> )	2	2,01	13,3	40,6	8,2	13,3	0,38	7,3
	4	2,10	13,8	43,0	8,7	13,4	0,43	7,0
Козлятник східний ( <i>Galega orientalis</i> )	2	2,05	13,3	41,1	8,2	13,2	0,40	7,2
	4	2,20	14,0	43,5	9,1	13,3	0,32	7,2

Таблиця 3

## Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті після вирощування бобових багаторічних трав, 2013–2018 рр., мг/кг

Вид бобових багаторічних трав	Рік вегетації	Свинець	Кадмій	Мідь	Цинк
До вирощування трав	-	5,9	0,60	6,8	9,1
Люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> )	2	5,7	0,05	6,8	9,1
	4	3,6	0,02	0,1	1,1
Конюшина лучна ( <i>Trifolium pratense</i> )	2	3,0	0,03	6,7	6,6
Еспарцет піщаний ( <i>Onobrychis arenaria</i> )	2	1,5	0,02	6,0	2,8
	4	1,5	0,01	0,4	2,4
Буркун білий ( <i>Melilotus albus</i> )	2	3,6	0,60	6,4	4,3
Лядвенець рогатий ( <i>Lotus corniculatus</i> )	2	2,3	0,50	6,6	4,0
	4	3,4	0,02	0,2	0,9
Козлятник східний ( <i>Galega orientalis</i> )	2	5,9	0,60	6,5	5,4
	4	2,6	0,01	0,1	1,1



бобових багаторічних трав та найбільшого об'єму кореневих систем на площі 1 га третього-четвертого років вегетації. Такий вплив сприяв накопиченню у ґрунті на другий рік вегетації найбільшого вмісту гумусу у ґрунті – 2,05% та азоту легкогідролізованого – 13,3 мг/100 г; найвищого значення гідролітичної кислотності на другий рік вегетації – 0,40 мг-екв./100 г, але найменшого значення – на четвертий рік – 0,32 мг-екв./100 г. Також потужна коренева система козлятнику східного (*Galega orientalis*) на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав забезпечила найнижчий вміст у ґрунті міді – 0,1 мг/кг і цинку – 1,1 мг/кг. Проте на другий рік вегетації козлятник східний (*Galega orientalis*) забезпечив найбільший вміст свинцю – 5,9 мг/кг та кадмію – 0,60 мг/кг у ґрунті. Також кореневі системи однієї рослини козлятнику східного (*Galega orientalis*) характеризувались найменшою сумарною довжиною та площею поверхні на третій-четвертий роки вегетації бобових багаторічних трав.

Посіви конюшини лучної (*Trifolium pratense*) відзначались найбільшою сумарною довжиною кореневої системи однієї рослини першого-другого років вегетації бобових багаторічних трав. В той же вони мали найменшу масу кореневих систем з площі 1 га першого-другого років вегетації, що зумовило накопичення найменшого вмісту гумусу на другий рік вегетації – 2,01% та фосфору рухомого – 40,0 мг/100 г та найменше значення величини гідролітичної кислотності – 0,38 мг-екв./100 г.

Посіви буркуну білого (*Melilotus albus*) відзначалися найбільшою площею і об'ємом кореневої системи однієї рослини та відповідно мали найбільший об'єм кореневих систем на площі 1 га другого року вегетації бобових багаторічних трав. Проте це зумовило накопичення найменшого вмісту легкогідролі-

зованого азоту на другий рік вегетації – 13,0 мг/100 г та калію обмінного – 7,6 мг/100 г але найбільшого вмісту кальцію – 13,5 мг-екв./100 г та найвищої величини гідролітичної кислотності – 0,40 мг-екв./100 г та найбільшого вмісту кадмію на другий рік вегетації – 0,60 мг/кг.

Посіви лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) характеризувались найменшими об'ємом, площею поверхні та масою кореневої системи однієї рослини впродовж усіх років вегетації бобових багаторічних трав. Це сприяло утворенню найменшої сумарної довжини кореневих систем на площі 1 га впродовж першого-другого років вегетації та найменшого об'єму і маси кореневих систем на площі 1 га за усі роки вегетації бобових багаторічних трав. Через це у ґрунті було виявлено найменший вміст гумусу як на другий рік вегетації – 2,01%, так і на четвертий рік – 2,10%, але найбільший вміст легкогідролізованого азоту на другий рік вегетації – 13,3 мг/100 г та кальцію на четвертий рік вегетації – 13,4 мг-екв./100 г. У ґрунті посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) була найменша величина гідролітичної кислотності на другий рік вегетації – 0,38 мг-екв./100 г, але найбільша – на четвертий рік вегетації – 0,43 мг-екв./100 г. Також тут було на четвертий рік вегетації найбільше кадмію – 0,02 мг/кг та найменше цинку – 0,9 мг/кг.

**Головні висновки.** Найбільший об'єм, площа поверхні та сумарна довжини кореневої системи еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) на кінець другого року вегетації серед усіх видів бобових багаторічних трав забезпечує накопичення у ґрунті найвищого вмісту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію, а також найменший вміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку.

### Література

1. Собко М.Г., Собко Н.А., Собко О.М. Роль багаторічних бобових трав у підвищенні родючості ґрунту. *Корми і кормовиробництво*, 2012. Вип. 74. С. 53–57.
2. Кисель В.И. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы. Харьков : Штрих, 2000. 162 с.
3. Кірілеско О.Л. Вплив насичення ланок кормових сівозмін багаторічними травами і проміжними культурами на баланс гумусу в ґрунті. *Корми і кормовиробництво*, 2013. Вип. 76. С. 151–157.
4. Баласв А.Д., Ковальчук О.П., Дорошкевич Н.Ф. Зміна вмісту та запасів гумусу в сірому лісовому ґрунті за застосування різних сидеральних культур як зеленого добрива. *Корми і кормовиробництво*, 2011. Вип. 70. С. 106–110.
5. Квітко Г.П., Ткачук О.П., Гетман Н.Я. Багаторічні бобові трави – основа природної інтенсифікації кормовиробництва та поліпшення родючості ґрунту в Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*, 2012. Вип. 73. С. 113–117.
6. Гетман Н.Я., Квітко Г.П. Агробіологічне обґрунтування ресурсоощадних технологій вирощування фітоценозів багаторічних та однорічних кормових культур у польовому кормовиробництві. *Вісник аграрної науки*, 2013. № 9. С. 44–47.
7. Шевніков М.Я. Бобові культури – фактор стійкості та біологізації землеробства в сучасних умовах. *Корми і кормовиробництво*, 2008. Вип. 62. С. 84–89.
8. Петриченко В.Ф., Квітко Г.П., Царенко М.К. Наукові основи інтенсифікації польового кормовиробництва в Україні. Вінниця : ФОП Данилюк В.Г., 2008. 240 с.
9. Квасніцька Л.С. Продуктивність та енергетична оцінка кормової сівозміни залежно від насичення бобовими багаторічними травами. *Корми і кормовиробництво*, Вінниця. 2013. Вип. 77. С. 202–208.
10. Ткачук О.П. Вплив бобових багаторічних трав на агроекологічний стан ґрунту. *Збалансоване природокористування*, 2017. № 1. С. 127–130.
11. Разанов С.Ф., Ткачук О.П. Динаміка зміни концентрації важких металів у ґрунті при вирощуванні бобових багаторічних трав. *Збалансоване природокористування*, 2017. № 4. С. 140–143.
12. Грицасенко З.М., Грицасенко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К. : ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
13. Мойсейченко В.Ф., Єщенко В.О. Основи наукових досліджень в агрономії. К. : Вища школа, 1994. 334 с.

---

# ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

---

УДК 66.067

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.27>

## STRUCTURE, PROPERTIES, PRODUCTION AND PHOTOCATALYTIC PROCESSES OF TITANIUM (IV) OXIDE

Byts O.V., Ivanenko I.M., Fedenko Yu.M.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Peremogy Ave., 37, 03056, Kyiv

byc.olena@gmail.com, irinaivanenko@hotmail.com, fedenkoyura@ukr.net

Titanium (IV) oxide is an important commercial product today. The titanium (IV) oxide market continues to grow rapidly. This is primarily characterized by the possibility of wide consumption of this compound in various industries. Titanium (IV) oxide is a useful semiconductor material and combines unique characteristics such as low cost, simplicity of use, non-toxicity, and resistance to photochemical and chemical degradation. These advantages allow it to be used widely in industry.

TiO<sub>2</sub> combines interesting properties such as transparency in visible light, UV absorption, and an exceptionally high refractive index. This combination of properties makes TiO<sub>2</sub> a substance suitable for protecting composite, and polymeric materials from the harmful effects of natural ultraviolet radiation.

Titanium (IV) oxide can exist in various polymorphic forms. The best-known natural modifications of TiO<sub>2</sub> are anatase, rutile, and brookite. Only the first two crystalline forms are used in industry.

For photocatalytic purposes, the anatase modification is mainly used. Studies have shown that rutile and brookite can also be highly efficient photocatalysts, but they have not yet gained as much importance as anatase.

The photocatalysis of titanium (IV) oxide is based on its semiconducting properties. The first stage of semiconductor photocatalysis involves the absorption of photons and the associated excitation of electrons from the upper filled edge of the valence band (VB) to the lower free edge of the conduction band (CB) with a higher energy level. A prerequisite for this process is the absorption of irradiation energy that should be greater than or equal to the width of the band gap.

An important application area of titanium (IV) oxide and other semiconductors as photocatalysts is in the field of environmental protection. In the next few decades, the role of water bodies protection, drinking water treatment, and wastewater purification will grow in importance. Another important application area of photoactive semiconductors is the decomposition of pollutants in the air.  
*Key words:* titanium (IV) oxide, anatase, photocatalysis, semiconductor, conduction band, valence band.

### Структура, властивості, отримання та фотокаталітичні процеси титан (IV) оксиду. Биць О.В., Іваненко І.М., Феденко Ю.М.

Титан (IV) оксид на сьогоднішній день виступає важливим комерційним продуктом. Ринок титан (IV) оксиду продовжує стрімко розвиватися. В першу чергу це характеризується можливістю широкого споживання даної сполуки в різних областях промисловості. Титан (IV) оксид є корисним напівпровідниковим матеріалом і поєднує в собі унікальні характеристики, такі як низька вартість, легкість експлуатації, нетоксичність і стійкість до фотохімічного та хімічного руйнування. Ці переваги дозволяють широко використовувати його в промисловості.

TiO<sub>2</sub> поєднує в собі цікаві властивості, такі як прозорість у видимій частині світла, поглинання УФ-випромінювання та винятково високий коефіцієнт заломлення. Дана комбінація властивостей робить TiO<sub>2</sub> речовиною, придатною для захисту композитних і полімерних матеріалів від шкідливого впливу природнього ультрафіолетового випромінювання.

Титан (IV) оксид може перебувати в різних поліморфних формах. Найвідомішими природними модифікаціями TiO<sub>2</sub> є анатаз, рутил і брукіт. В промисловості використовують лише перші дві кристалічні форми.

Для фотокаталітичних цілей використовується переважно модифікація анатазу. Дослідження показали, що рутил та брукіт також можуть бути високоєфективними фотокаталізаторами, однак вони досі не набули такого великого значення, як анатаз.

Фотокаталіз титан (IV) оксиду ґрунтується на його напівпровідникових властивостях. На першому етапі напівпровідникового фотокаталізу відбувається поглинання фотонів та, пов'язане з цим, збудження електронів від верхнього заповненого краю валентної зони (VB) до нижнього вільного краю зони провідності (CB) з вищим енергетичним рівнем. Передумовою цього процесу є поглинання енергії випромінювання, яка є більшою або дорівнює ширині забороненої зони.

Важливою областю застосування титан (IV) оксиду та інших напівпровідників як фотокаталізаторів є охорона навколишнього середовища. У найближчі кілька десятиліть роль захисту водних об'єктів та очищення питних і стічних вод зростатиме. Ще однією важливою областю застосування для фотоактивних напівпровідників є розкладання полутантів, що містяться в повітрі. *Ключові слова:* титан (IV) оксид, анатаз, фотокаталіз, напівпровідник, зона провідності, валентна зона.

**Introduction.** Titanium (IV) oxide is an inorganic white compound that has been used by industry for over 100 years. Today it is an important commercial product. Global production of TiO<sub>2</sub> amounted to 5080 thousand

tons in 2004. The titanium (IV) oxide market continues to develop rapidly. First of all, it is characterized by the possibility of wide consumption of this compound in various industries [1–2].

Table 1

Properties of TiO<sub>2</sub> modifications [14–16]

Characteristics	Rutile	Anatase	Brookite
Band gap, eV	3,0	3,2	3,1
Crystal lattice	Tetragonal	Tetragonal	Orthorhombic
Crystal lattice parameters			
a, nm	0.459	0.379	0.918
b, nm	0.459	0.379	0.545
c, nm	0.296	0.951	0.525
Density, g/cm <sup>3</sup>	4.21	4.06	4.13
Refractive index (at 550 nm)	2.7	2.5	2.6

Titanium (IV) oxide is a useful semiconductor material that combines unique characteristics such as low cost, simplicity of use, non-toxicity, and resistance to photochemical and chemical degradation [3]. These advantages allow it to be widely used in industry. TiO<sub>2</sub> is mainly used as a pigment in the production of paints, cosmetics, paper, and even as a food additive [4–5]. In addition, it is used as a nanomaterial in many technical fields, such as photocatalysis, electricity generation and storage, and sensor technology [6–7]. Its use is based on the material's properties or on its interaction with other materials or light. For example, the strong opacity of titanium (IV) oxide is due to its high refractive index (>2.5) [5], so it can be used in sunscreen products due to the absorption and scattering of ultraviolet light.

TiO<sub>2</sub> combines interesting properties such as transparency in the visible light, UV absorption, and an exceptionally high refractive index. These material characteristics depend on the respective crystal form, which is described in more detail below. In addition, titanium (IV) oxide is extremely resistant to chemicals and is only soluble in fluoride or hot sulfuric acid [8]. This combination of properties makes TiO<sub>2</sub> a substance suitable for protecting composite and polymeric materials from the harmful effects of natural ultraviolet radiation [10–11].

#### Modifications of titanium (IV) oxide crystals

Titanium (IV) oxide can exist in various polymorphic forms. The best-known natural modifications of TiO<sub>2</sub> are anatase, rutile, and brookite. Only the first two crystalline forms are used in industry [11].

Among the three modifications, rutile is the most thermodynamically stable form. It is formed from anatase and brookite when heated to a temperature of 600–800°C depending on the atmosphere [5]. Anatase and rutile belong to tetragonal crystal systems, while brookite belongs to orthorhombic crystal systems. In all three modifications, oxygen atoms are arranged around titanium atoms in the form of curved octahedra. In rutile, the oxygen atoms have a hexagonal tight packing, while in anatase and brookite, they have a cubic tight packing. Half of the octahedral spaces in rutile and tetrahedral spaces in anatase are occupied by titanium cations [12–13].

Table 1 shows some of the properties of TiO<sub>2</sub> modifications. The characteristics of the phases strongly depend on the production conditions. In addition, crystalline TiO<sub>2</sub> is a metal oxide with anisotropic optical and electrical properties. The strength of the anisotropy depends on the crystal structure. For example, rutile exhibits stronger anisotropy than anatase.

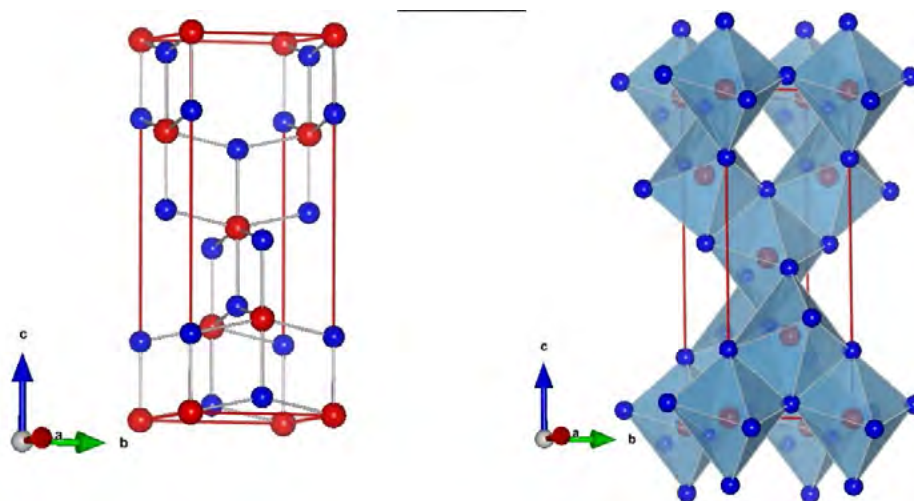


Fig. 1. Schematic representation of a unit cell (left) and a fragment of the crystal structure (right) of anatase. Oxygen atoms are represented by blue spheres, titanium atoms by red ones [16]

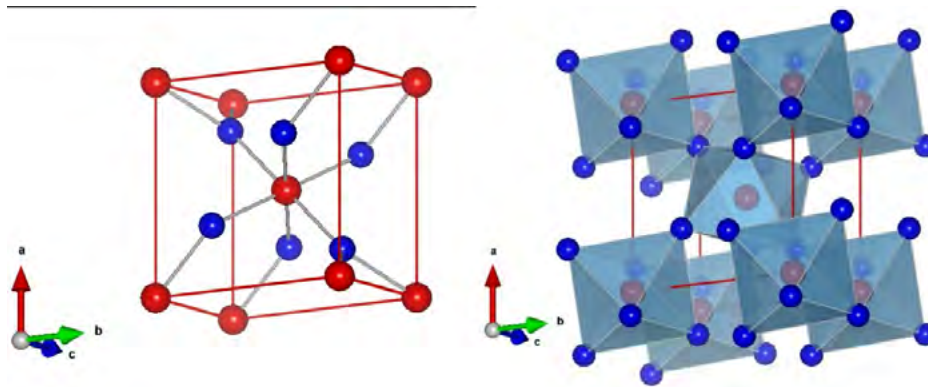


Fig. 2. Schematic representation of a unit cell (left) and a fragment of the crystal structure (right) of rutile. Oxygen atoms are represented by blue spheres, titanium atoms by red ones [16]

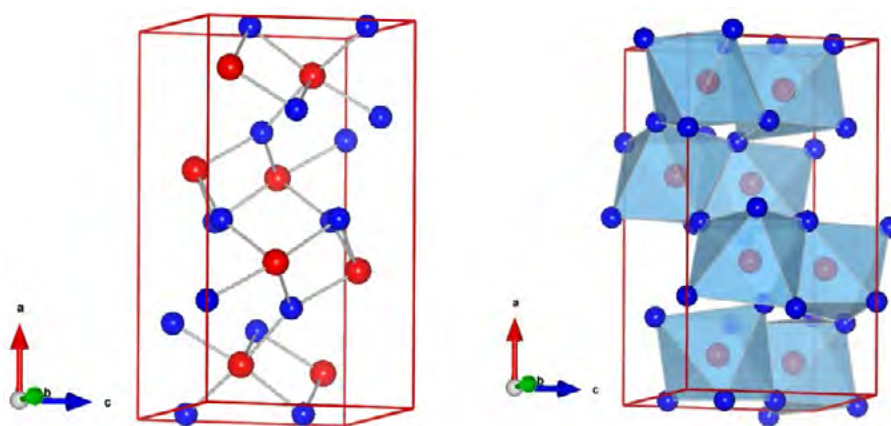


Fig. 3. Schematic representation of a unit cell (left) and a fragment of the crystal structure (right) of brookite. Oxygen atoms are represented by blue spheres, titanium atoms by red ones [16]

Figs. 1–3 schematically depict the unit cells and crystal structure sections of the three  $\text{TiO}_2$  modifications. For photocatalytic purposes, the modification of anatase is mainly used. Studies have shown that rutile and brookite can also be highly efficient photocatalysts, but they have not yet gained as much importance as anatase [17–18].

Photocatalytic activity depends on many factors. One of them is the width of the band gap. Titanium (IV) oxide is a semiconductor material and, therefore, has a band gap. For example, the energy gap between the conduction band and the valence band of anatase is 3.2 eV, and that of rutile is 3.0 eV [19–20]. However, energy values were found that differ from those determined earlier. For example, for brookite, the width of the band gap was found to be both smaller and larger than the value of the anatase band gap. Since the exact width of the band gap is unknown, the position of the valence band and conduction band cannot be determined precisely [21]. The upper edge of the valence band determines the oxidation potential, and the lower edge of the conduction band determines the reduction potential (Fig. 4).

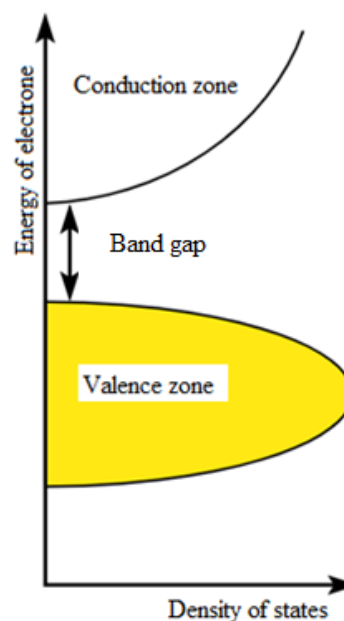


Fig. 4. Band structure of semiconductors [22]

In the case of anatase, it is assumed that the energy levels correspond to the redox potential of the adsorbed molecules. This facilitates the transfer of electrons from titanium (IV) oxide to the adsorbed molecule. Other effects, such as surface and crystal properties, also play a role. The experiments described in [23] showed that a decrease in the recombination rate due to a high degree of crystallinity and an improvement in adsorption capacity due to surface properties may mean that brookite can also be a promising photocatalyst.

#### Mechanism of photocatalytic processes

The heterogeneous photocatalytic process can be carried out in various media, such as a gas phase, a pure liquid organic phase, and aqueous solutions. Classical heterogeneous photocatalysis can be divided into the following sub-steps [24]:

- 1) transportation of reagents to the photocatalyst surface;
- 2) adsorption of reagents on the surface;
- 3) the chemical reaction itself;
- 4) desorption of products to the surface;
- 5) removal of products from the photocatalyst surface.

Photocatalysis of titanium (IV) oxide is based on its semiconductor properties. At the first stage of semiconductor photocatalysis, photon absorption and the associated excitation of electrons from the upper filled edge of the valence band (VB) to the lower free edge of the conduction band (CB) with a higher energy level occur. A prerequisite for this process is the absorption of radiation energy that is greater than or equal to the width of the band gap. In the case of  $\text{TiO}_2$  in the anatase modification, the energy difference between the conduction band and the valence band corresponds to near-infrared radiation (315–400 nm). The absorption of radiation leads to an increase in the energy of the electron in the conduction band ( $e_{CB}^-$ ). At the same time, a defect appears in the valence zone with a positive charge ( $h_{VB}^+$ ). Negative and positive charges form electron-hole pairs (excitons) due to the Coulomb attraction forces. If the recombination of opposite charges has not yet occurred inside or on the surface of the semiconductor, they are available

on the surface to react with adsorbed organic and inorganic compounds [25]. Fig. 5 shows a simplified model of the photocatalytic process using titanium (IV) oxide as an example.

The main reason for the excellent photocatalytic properties of titanium (IV) oxide is the high oxidizing activity of photogenerated  $h^+$  charges in a semiconductor whose redox potential at pH 7 is about +2.53 V relative to a standard hydrogen electrode [25]. The redox potential of the corresponding electrons is only -0.52 V relative to a standard hydrogen electrode, but this is sufficient for the formation of superoxide radicals ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) and hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Positive charges  $h^+$  either react directly with the adsorbed organic compounds or initially with water, whereby hydroxyl ions are oxidized to hydroxyl radicals ( $\text{OH}^\bullet$ ). These, in turn, can combine to form reactive hydrogen peroxide. The formation of singlet molecular oxygen is also possible  $^1\text{O}_2$ . All reactive radicals formed are capable of decomposing pollutants [25]. The radicals either react directly on the  $\text{TiO}_2$  surface with adsorbed compounds (heterogeneous photocatalytic process) or transfer to the gas phase and initiate the decomposition of gaseous reagents there (homogeneous catalytic process).

#### Application of the photocatalytic processes onto $\text{TiO}_2$

An important area of application for titanium (IV) oxide and other semiconductors as photocatalysts is environmental protection. In the next few decades, the role of water bodies protection, drinking water treatment, and wastewater purification will grow in importance. Another important application area of photoactive semiconductors is the decomposition of pollutants in the air. In the case of titanium (IV) oxide, many applications have been described. Test facilities already exist to investigate the industrial use of the photocatalytic process. Titanium (IV) oxide is also used in the construction sector. Photoactive facades, glass, roof tiles and similar products can, in addition to preserving the aesthetics of a building, help reduce the level of air pollutants. Some examples of the use of photocatalytic processes on  $\text{TiO}_2$  are presented below.

Nitrogen oxides  $\text{NO}_x$  represent an important group of air pollutants that accumulate in cities with heavy traffic. By using titanium (IV) oxide as a photocatalyst, these gases can be oxidized and converted into harmless compounds. Building facades can be used as catalyst application surfaces. In the case of  $\text{NO}_x$  oxidation, it is adsorbed on the  $\text{TiO}_2$  surface and oxidized to nitrate by superoxide and hydroxyl radicals, which are also adsorbed. Nitrate is then desorbed from the surface in the form of nitric acid or bound to the main components of building materials [23]. A diagram of this process is shown in Fig. 6.

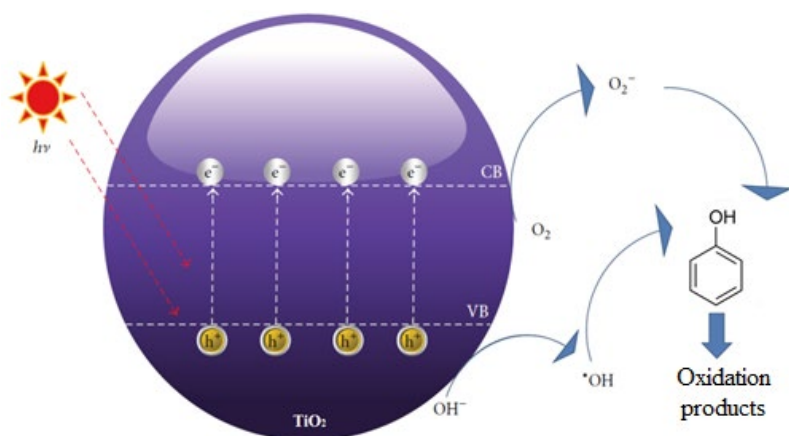


Fig. 5. Scheme of the photocatalytic process on the example of  $\text{TiO}_2$  [26]

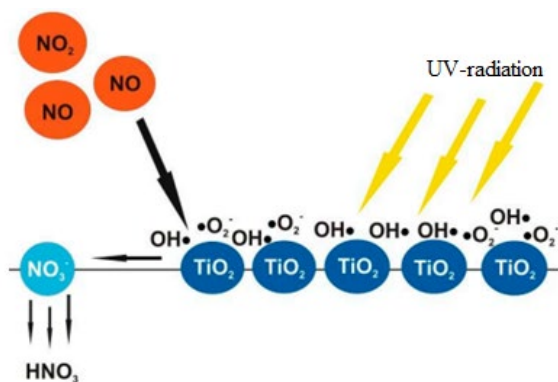


Fig. 6. Schematic representation of  $\text{NO}_x$  oxidation by titanium (IV) oxide under sunlight [28]

Similar to the oxidation of  $\text{NO}_x$ , another hazardous air pollutant, formaldehyde, is also decomposed. The photocatalytic decomposition of formaldehyde is similar to the process described above [25]. It is also adsorbed on the surface of the semiconductor, where it is decomposed by radicals, forming the final products – carbon dioxide and water. In [25], results were presented in which a building material containing titanium dioxide acts as a photocatalyst in the decomposition of hydrocarbons in the gas phase. Titanium (IV) oxide can also be successfully used to remove fluorinated hydrocarbons from the air, which are present in large quantities in the atmosphere [26].

The treatment of drinking and process water is another area of application for photocatalysis on  $\text{TiO}_2$ . For example, [25] shows that various pollutants in wastewater can be broken down using titanium (IV) oxide.  $\text{TiO}_2$  can also be successfully used as a photocatalyst in the treatment of drinking water [26]. Not only the decomposition of organic pollutants, but also the decomposition of microorganisms using titanium (IV) oxide has been studied. In addition to the decomposition of pollutants in aqueous solutions and in the gas phase, the self-cleaning properties of  $\text{TiO}_2$  are also used in various products. These self-cleaning surfaces are based on the superhydrophilicity of  $\text{TiO}_2$ , for example, mirrors on which moisture does not condense.

For the purposes presented, particles consisting of a core and a shell can also be used. Since photocatalysis is a surface phenomenon,  $\text{TiO}_2$  can be coated on the surface of the core, and thus the particle will have the same properties as pure titanium (IV) oxide. If the core is made of an inexpensive, readily available inert material (an industrial by-product, such as silica dust), the price of the photocatalyst will decrease without reducing its functionality [24]. Another advantage of using a core is the ability to introduce new properties into the system. For example, it is possible to make the core from a material that has magnetic properties, which will help to separate the photocatalyst more easily from the process solution to be purified. Several promising approaches are presented in [25–26].

Treatment of waste, drinking and process water is one of the most important applications for titanium (IV) oxide photocatalysis. In addition, building materials containing  $\text{TiO}_2$  can contribute to environmental protection as they can decompose air pollutants such as  $\text{NO}_x$ .

#### Water purification from organic pollutants by $\text{TiO}_2$

Water pollution has become a serious environmental problem around the world today [24]. Wastewater treatment is based on various mechanical, biological, physical and chemical processes. Once the particles are removed in suspension, biological treatment remains the ideal process for wastewater treatment, especially at low pollutant concentrations. However, some organic pollutants are not biodegradable. Despite their low concentration, these pollutants cause serious health problems due to their high ability to disrupt the endocrine system and genotoxicity [25]. Therefore, the effective removal of these pollutants is of great interest.

One of the most promising methods of wastewater treatment is heterogeneous catalysis due to mild operating conditions, a wide range of pollutants capable of decomposition, and its high efficiency until the complete mineralization of organic matter to carbon dioxide and water [26]. Titanium (IV) oxide is the most widely used photocatalyst. It shows high efficiency in the complete mineralization of various biologically persistent organic substances, such as organochlorine compounds, organic acids, pesticides, herbicides, and dyes [23].

In [24], the photocatalytic decomposition of tetracycline, a widely used antibiotic in the world, was analyzed. Photocatalysis removes more than 95% of tetracycline within 40 minutes under UV radiation. The concentration of tetracycline was  $40 \text{ mg/dm}^3$  and the concentration of  $\text{TiO}_2$  was  $1000 \text{ mg/dm}^3$ . The efficiency of antibiotic decomposition improved in the presence of dissolved oxygen. Within 60 minutes, 60% of total organic carbon was also removed. The degradation of tetracycline includes electron transfer, hydroxylation, open ring reactions, and cleavage of the central carbon. One of the end products of degradation is  $\text{NH}_4^+$ .

The effect of the pollutant concentration was studied in [25–26] using the methylene blue dye as an example. The photocatalytic decomposition of the pollutant decreased with an increase in the initial concentration of the dye from  $5$  to  $20 \text{ mg/dm}^3$ . This is because ultraviolet light passes through the titanium (IV) oxide irradiation solution more easily when the initial dye concentration is lower. At high concentrations, a large amount of the pollutant is adsorbed to the  $\text{TiO}_2$  particles, which prevents the dye molecule from reacting with free radicals and electron holes. With an initial concentration of methylene blue of  $5 \text{ mg/dm}^3$ , its residual concentration after 5 hours is zero.

Phenolic compounds are major environmental pollutants due to their widespread use in various industries. They are highly toxic with carcinogenic and mutagenic properties at low concentrations. Photocatalysis

is a promising method for the destruction of phenols in wastewater [24]. With an increase in the concentration of phenol, its degree of decomposition decreases: with a pollutant content of 100 mg/dm<sup>3</sup> in wastewater, the degree of decomposition is 18%, with a content of 10 mg/dm<sup>3</sup> – 88% [26].

### References

1. Ola O., Maroto-Valer M. Review of material design and reactor engineering on TiO<sub>2</sub> photocatalysis for CO<sub>2</sub> reduction. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. 2015. № 24. P. 16–42.
2. Strini A., Cassese S., Schiavi L. Measurement of benzene, toluene, ethylbenzene and o-xylene gas phase photodegradation by titanium dioxide dispersed in cementitious materials using a mixed flow reactor. *Applied Catalysis*. 2005. № 61. P. 90–97.
3. Sharmila Devi R., Venkatesh Dr. R., Rajeshwari S. Dr. Synthesis of Titanium Dioxide Nanoparticles by Sol-Gel Technique. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2014. Vol. 3, № 8, P. 15206–15211.
4. Chen X., Mao S. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications. *Chemical Reviews*. 2007. № 7. P. 2891–2959.
5. Hanaor D., Sorrell C. Review of the anatase to rutile phase transformation. *Journal of Materials science*. 2011. № 46. P. 855–874.
6. Chen X., Liu L., Yu P. Increasing Solar Absorption for Photocatalysis with Black Hydrogenated Titanium Dioxide Nanocrystals. *Science*. 2011. № 331. P. 746–750.
7. Controlling Adsorption Structure of Eosin Y Dye on Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Films for Improved Photovoltaic Performances / F. Zhang et. al. *The Journal of Physical Chemistry*. 2013. № 117. P. 14659–14666.
8. Exploring potential Environmental applications of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles / A. J. Haider et. al. *Energy Procedia*. 2017. № 119. P. 332–345.
9. Brookite versus anatase TiO<sub>2</sub> photocatalysts: phase transformations and photocatalytic activities / T. A. Kandiel et. al. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 2013. Vol. 12, № 4. P. 602–609.
10. Electrochemical and optical properties of TiO<sub>2</sub> nanoparticles/polytyramine composite film / A. Ehsani et. al. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2014. № 713. P. 91–97.
11. Solvothermal Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanocrystal Colloids from Peroxotitanate Complex Solution and Their Photocatalytic Activities / J. Liao et. al. *Journal of Physical Chemistry*. 2009. № 113. P. 18778–18783.
12. Controllable synthesis of spherical hydroxyapatite nanoparticles using inverse microemulsion method / X. Ma et. al. *Materials Chemistry and Physics*. 2016. № 183. P. 220–229.
13. Synthesis of TiO<sub>2</sub> particles by reverse microemulsion method using nonionic surfactants with different hydrophilic and hydrophobic group and their photocatalytic activity / M. S. Lee et. al. *Catalysis Today*. 2005. № 101. P. 283–290.
14. An overview of titanium deposits in Norway / A. Korneliussen et. al. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*. 2000. № 436. P. 27–38.
15. Hydrothermal Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity of Nanosized TiO<sub>2</sub> Based Catalysts for Rhodamine B Degradation / F. Sayilkan et. al. *Turkish Journal of Chemistry*. 2007. № 31. P. 211–221.
16. Progress in the synthesis and applications of hierarchical flower-like TiO<sub>2</sub> nanostructures / Z. Wu et. al. *Particuology*. 2013. № 15. P. 61–70.
17. Monodisperse rutile microspheres with ultrasmall nanorods on surfaces: Synthesis, characterization, luminescence, and photocatalysis / Y. Tian et. al. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2012. № 385. P. 1–7.
18. Solvothermal synthesis of nanocrystalline TiO<sub>2</sub> in toluene with surfactant / C.-S. Kim et. al. *Journal of Crystal Growth*. 2003. № 257. P. 309–315.
19. Landmann M., Rauls E., Schmidt W. The electronic structure and optical response of rutile, anatase and brookite TiO<sub>2</sub>. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2012. № 24. P. 1–6.
20. Hashimoto K., Irie H., Fujishima A. TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects. *Japanese Journal of Applied Physics*. 2005. № 44. P. 8269–8285.
21. Paola A., Bellardita M., Palmisano L. Brookite, the Least Known TiO<sub>2</sub> Photocatalyst. *Catalysis*. 2013. № 3. P. 36–73.
22. Solvothermal Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanocrystal Colloids from Peroxotitanate Complex Solution and Their Photocatalytic Activities / J. Liao et. al. *Journal of Physical Chemistry*. 2009. № 113. P. 18778–18783.
23. Highly photocatalytic activity of brookite/rutile TiO<sub>2</sub> nanocrystals with semi-embedded structure / Y. Cao et. al. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015. № 180. P. 551–558.
24. Ahmed S., Haider W. Heterogeneous photocatalysis and its potential applications in water and wastewater treatment: a review. *Nanotechnology*. 2018. Vol. 29, № 34. P. 1361–1369.
25. Kaneko M., Okura I. Photocatalysis: Science and Technology. *Springer*. 2002. Vol. 3., № 160. P. 225–239.
26. Haider A. J., Jameel Z. N., Al-Hussaini H. M. Review on: Titanium Dioxide Applications. *Energy Procedia*. 2019. № 157. P. 17–29.

## ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Машков О.А., Абідов С.Т., Івашенко Т.Г., Оводенко Т.С., Печений В.Л.  
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
mashkov\_oleg\_52@ukr.net , tvn.prof@gmail.com

Означені особливості екологічного прогнозування в системі підтримки прийняття управлінських рішень, а також запропонована математична формалізація завдання екологічного прогнозування. Аналіз функцій системи екологічного прогнозування дозволив окреслити архітектуру штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень. Побудова штучних інтелектуальних системи екологічного прогнозування в системах підтримки прийняття управлінських екологічних рішень сприяє забезпеченню екологічної безпеки природно-господарських систем, що дає змогу отримати набір рекомендацій щодо ефективного еколого-економічного управління, спрямованого на досягнення розумного компромісу між інтересами підприємств та екологічною безпекою конкретного району чи регіону в цілому. Процедура екологічного прогнозування доцільно використовувати у позастандартних, нестандартних, надзвичайних аварійних та катастрофічних екологічних ситуаціях. В рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки поданої теми слід зазначити, що отримані результати можуть використовуватися у підсистемах екологічного моніторингу техногенно-небезпечних об'єктів, робота яких пов'язана з викидами забруднюючих речовин в довкілля. Крім того, вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктів критичної інфраструктури. Система підтримки ухвалення управлінських екологічних рішень має здатність підвищувати готовність керівників до виконання завдань з попередження та ліквідації наслідків аварії в умовах високого ступеня невизначеності, формувати у них відповідний рівень знань та умінь оцінювати довгострокові прогнози, незважаючи на неповну вихідну інформацію. *Ключові слова:* екологічна безпека, екологічна система, екологічне прогнозування, навколишнє середовище, нейронна мережа, нечітка логіка, системі підтримки прийняття управлінських рішень, управлінські рішення, штучна інтелектуальна система.

**Prospects and problems of creating intelligent support systems for environmental decision-making. Mashkov O., Abidov S., Ivashchenko T., Ovodenko T., Pechenyi V.**

The paper identifies the features of environmental forecasting in the management decision support system and proposes a mathematical formalization of the environmental forecasting task. The analysis of the functions of the ecological forecasting system made it possible to propose an architecture of artificial intelligent systems for supporting the adoption of managerial ecological decisions. The construction of artificial intelligent environmental forecasting systems in support systems for making managerial ecological decisions contributes to ensuring the ecological safety of natural and economic systems and allows obtaining a set of recommendations for effective ecological and economic management, aimed at achieving a reasonable compromise between the interests of enterprises and the environmental safety of a particular district or region in general. It is advisable to use the procedure of environmental forecasting in non-standard, non-standard, emergency and catastrophic environmental situations. As part of the recommendations and prospects for further development of the presented topic, it should be noted that the obtained results can be used in subsystems of environmental monitoring of man-made hazardous objects, the work of which is related to the emission of pollutants into the environment. In addition, they can be the basis for further scientific research on improving the quality of environmental management of the state of the environment and critical infrastructure facilities. The support system for making managerial environmental decisions has the ability to increase the readiness of managers to work on the prevention and elimination of the consequences of an accident in conditions of a high degree of uncertainty, to form their ability to take into account long-term forecasts, despite the vagueness and incompleteness of the initial information. *Key words:* environmental safety, ecological system, ecological forecasting, environment, neural network, fuzzy logic, management decision support system, management decisions, artificial intelligent system.

**Постановка проблеми.** Екологічна безпека екосистем – одна з найважливіших соціальних проблем глобального характеру, що потребує широкого впровадження різних організаційних та технічних заходів, спрямованих на поліпшення стану навколишнього середовища [3–5].

Аналіз сучасних напрямів розвитку систем екологічної безпеки регіонів дозволив зробити висновки про те, що в умовах погіршення екологічної обстановки різних регіонів дослідження завдань управління екологічною безпекою за допомогою інтелектуальних систем підтримки прийняття

управлінських екологічних рішень є актуальним. При цьому огляд поточного стану та можливостей розвитку відповідного науково-методичного апарату штучних інтелектуальних систем вказує на необхідність розробки моделей та методик, заснованих на теорії штучних нейронних мереж та нечіткої логіки. Такий підхід дозволить здійснити облік багатofакторності розв'язуваних екологічних завдань екологічного прогнозування [1; 2].

Екологічне прогнозування передбачає встановлення відповідності наміченої господарської та іншої діяльності екологічним вимогам та здатності



реалізації об'єкта спостереження з метою запобігання можливим несприятливим впливам такої діяльності на навколишнє природне середовище та пов'язаних з ними екологічних та інших наслідків.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Реалізація вимог та директиви Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом передбачають розробку та впровадження ефективної системи управління екологічною безпекою. Створення такої системи відповідає європейським і світовим підходам до екологічного управління та значно розширить можливості міжнародної співпраці України у галузі охорони навколишнього природного середовища, що сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність до європейських і світових вимог. Екологічне прогнозування є складовою системи екологічного управління, сприяє підвищенню екологічної безпеки та формування державної політики сталого розвитку, виконання міжнародних зобов'язань України у природоохоронній сфері. Тому потрібні наукові розробки сучасних технологій екологічного прогнозування при здійсненні екологічного управління [3–6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема створення інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних рішень була розглянута в працях багатьох авторів [1; 2; 7–13].

Питання використання інтелектуальних технологій для реалізації інформаційної підтримки прийняття рішень розглянуто в працях [1; 2].

Так автори [11; 12] описують інструментарій (генетичні та еволюційні алгоритми, нечіткі багатокритеріальні інструменти прийняття рішень, оптимізація на основі рою частинок, моделювання на основі агентів, нейронні мережі) моделювання з використанням нечітких правил, когнікарт, кумулятивних степенів.

Авторами [13] дано обґрунтування побудови експертної системи підтримки прийняття рішень в інтелектуальній системі екологічного моніторингу, наведено результати аналізу, що підтверджують правильність вибору байєсівських мереж довіри як методу побудови експертної системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє їй ефективно функціонувати в умовах невизначеності.

Проведений аналіз свідчить, що на сьогодні залишаються невирішеними питання щодо наукового обґрунтування створення інтелектуальних систем екологічного прогнозування. Порівняльний аналіз з відомими рішеннями запропонованих нових рішень дозволяє визначити інші підходи до екологічного прогнозування в системі управління екологічною безпекою під час застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

**Невирішена раніше частина загальної проблеми.** Підвищення ефективності управління екологічною безпекою, як складової національної безпеки держави можливо здійснювати шляхом впрова-

дження в систему управління екологічною безпекою сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій, глобальних інформаційних мереж, автоматизація технологій отримання, обробки, представлення візуалізації екологічної інформації.

Запропонований підхід дозволить застосовувати інформаційні, організаційні та оперативні управлінські рішення в системах управління екологічною безпекою регіонів під час здійснення екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

**Мета дослідження** полягає у науковому обґрунтуванні перспектив та проблем створення систем екологічного прогнозування для забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища регіонів на основі застосування апарату штучних інтелектуальних мереж.

Об'єктом досліджень є проблеми створення штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки екосистем.

Предметом досліджень є визначення особливостей екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень

**Методологія та методи дослідження.** Для ефективного здійснення досліджень використані ефективні методи відповідних операцій, обробки інформації, теорії управління організаційно-технічними системами та розподілених систем, нечіткої логіки, штучних нейронних мереж.

**Результати досліджень.**

**Особливості екологічного прогнозування в системі підтримки прийняття управлінських рішень**

Екологічне прогнозування ґрунтується на системологічному аналізі проблемної області, а саме визначення специфіки (обсяг та тривалість) прогнозу: оцінка впливу на навколишнє середовище, національний план дій з охорони навколишнього середовища, Стратегія державної екологічної політики України тощо [3–6].

Наукове завдання підтримки прийняття управлінських рішень під час екологічного прогнозування передбачає формалізацію таких процесів: підготовка та отримання початкових даних; формування управлінських дій (алгоритм дій); оцінка прогнозування. При цьому варто зважати на людський фактор: можливі помилки, іноді некомпетентність за відсутності повної та достовірної інформації, непередбачені ситуації як природного, так і техногенного характеру).

Процес побудови автоматизованих систем екологічного прогнозування ґрунтується на результатах аналізу існуючих підходів, враховуючи класифікацію процесів екологічного прогнозування як за територіальною ознакою (місцевість, районування, регіональний підхід, загальнодержавний, континентальний (глобальний) тощо), так і за часовими

ознаками (короткострокові, середньострокові, довгострокові).

Концептуально-методичні основи побудови автоматизованої системи підтримки прийняття управлінських рішень під час екологічного прогнозування передбачають:

- створення структури штучної інтелектуальної системи підтримки прийняття управлінських рішень;
- розробку концепцій прийняття інформаційних, організаційних та оперативних рішень;
- синтез алгоритму прийняття управлінських екологічних рішень.

Створення моделей екологічного прогнозування базується на відповідних концепціях:

- побудова моделей екологічного прогнозування за територіальною ознакою (моделі розвитку екологічних процесів від маленьких територій до глобальних масштабів);
- концепція побудови моделей екологічного прогнозування по часовому признаку (моделі екологічних процесів від короткострокових до тривалих, – зміна клімату);
- концепція побудови моделей екологічного прогнозування за руйнівною ознакою (моделі техногенних та природних катастроф: смерч, повінь, пожежа тощо).

Прогнозуючі моделі мають враховувати також ергатичні особливості автоматизованої системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень. Потрібно визначити вимоги до професійної підготовки особи, яка отримує запропоновані рішення від інтелектуальної системи (час та можливі

помилки) осіб, які задіяні в системі отримання, передачі та обробки екологічної інформації та які приймають рішення).

Технологія застосування моделей екологічних об'єктів під час екологічного прогнозування передбачає:

- якісну оцінку екологічної небезпеки, оцінку екологічних загроз, якісну оцінку компонентів екологічного ризику;
- діагностику екологічних ситуацій на основі аналізу екологічного ризику;
- формування структури комплексу інформаційних процесів в системі підтримки прийняття екологічних рішень (моніторинг, моделювання екологічних процесів і аналіз ризику, діагностика ситуації, візуалізація ситуації).

Запропонований підхід дозволяє визначити архітектуру програмного продукту, модульну декомпозицію програмного продукту, склад і формат вхідних і вихідних даних, опис експерименту, оцінювання результатів експерименту тощо.

Процес екологічного прогнозування може бути представлена у вигляді 5 стадій (рис. 1). Кожна стадія використовує свій час і вимагає інформаційних ресурсів.

1. Планування процесу екологічного прогнозування. На цій стадії враховують такі фактори:

- екологічне прогнозування інформаційних рішень пропонує відповіді на такі запитання:
- які цілі і завдання екологічного прогнозування?
- які цілі мають вищий пріоритет?
- які цілі керівництва, що стоїть вище особи, яка приймає рішення?

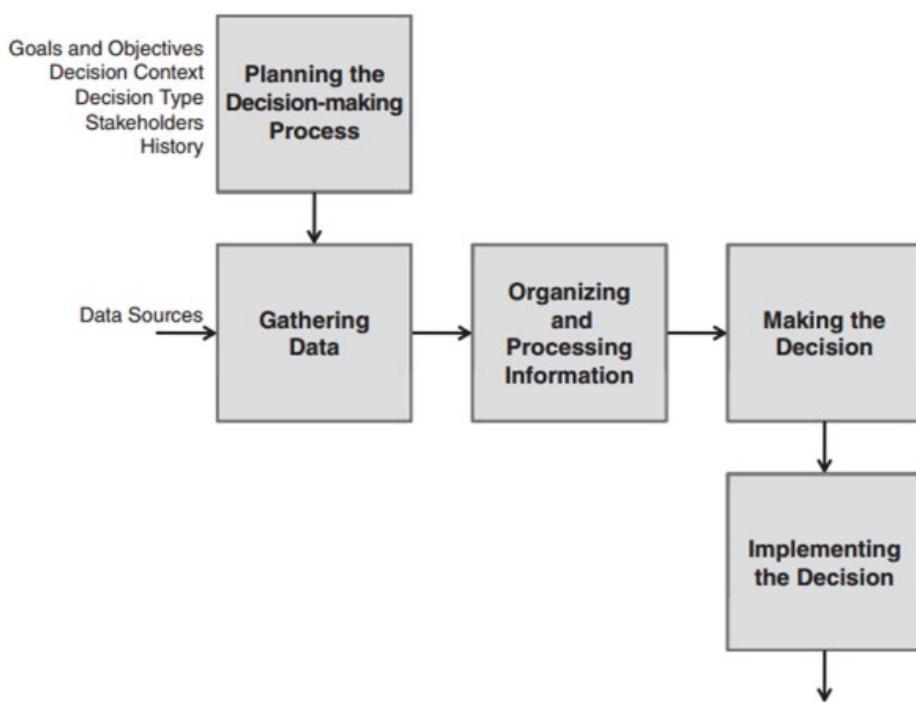


Рис. 1. Схема організації екологічного прогнозування

Екологічне прогнозування організаційних рішень щодо реалізації пропозицій екологічного прогнозування пропонує відповіді на наступні питання:

– чи є рішення подвійним (так/ні), або потрібно вибрати з кількох варіантів (яких)?

– приймається рішення одноосібно, або потрібно досягти консенсусу (хто ще повинен підтвердити рішення)?

Екологічне прогнозування управлінських оперативних рішень пропонує відповіді на наступні питання:

– яка сфера дії екологічного прогнозу – місцеве, регіональне, глобальне?

– яка проблема чи питання привели до необхідності прийняти рішення екологічного прогнозування?

– які технічні можливості здійснення екологічного прогнозу?

– які фінансові можливості реалізації факторів прогнозу (фінансові інструменти та обсяги інвестування)?

– які кадрові ресурси задіяно для впровадження управлінських рішень реалізації екологічного прогнозування?

– які потрібні ділові та технічні процедури, методи та прийоми?

2. Збір даних щодо здійснення екологічного прогнозування.

3. Організація та обробка екологічної інформації.

4. Прийняття управлінських екологічних рішень.

5. Реалізація рішення.

#### **Математична формалізація завдання екологічного прогнозування**

Розглядаючи завдання прогнозування стану довкілля як базового математичного апарату дослідження доцільно вибрати теорію розпізнавання образів та методологію м'яких обчислень. При цьому хороших результатів вдається досягти при поєднанні методологій класичної теорії розпізнавання образів, теорії нечіткої логіки прийняття рішень Л. Заде, теорії впевненості Е. Шортліфа та розвідувального аналізу із синтезом гібридних моделей прийняття рішень у гетерогенному просторі ознак. Такий тип моделей становить основу побудови бази знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень. До складу цієї системи також входять підсистема збору та попередньої обробки даних, що складається з рухомих та стаціонарних станцій, а також система передачі даних.

Інтелектуальним ядром системи є база знань, побудована на основі нечітких гібридних моделей. Основу таких моделей становлять функції впевненості (приналежності) до досліджуваних класів станів довкілля, які агрегуються у проміжні та фінальні правила прийняття рішень з урахуванням структури даних, що характеризують досліджувану екологічну обстановку.

У цьому завданні синтезу гібридних вирішальних правил сприймається як завдання нечіткого поділу

багатовимірних образів з різними класами екологічного стану середовища проживання і стан здоров'я людей, які контактують із цим середовищем.

У такій інтерпретації функції приналежності  $\mu(x_i)$  описують у багатовимірному просторі ознак нечіткий гіперпаралелепіпед, у який «вписано» клас станів  $\omega$ . Приналежність  $U$  класифікації  $\omega$  визначається виразом

$$U = \min [\mu(x_1), \mu(x_2), \dots, \mu(x_n)], \quad (1)$$

де  $n$  – розмірність простору ознак;  $x_i$  –  $i$ -та координата ознак ( $i = 1, \dots, n$ ), що описують стан досліджуваних образів, що визначається за допомогою операції логічного множення.

Апроксимації структур досліджуваних класів станів можна досягти, представляючи кожен із класів безліччю нечітких гіперпаралелепіпедів  $U(k)$ , де  $k=1, \dots, K$ . У такому варіанті впевненість у віднесенні об'єкта до класу визначається виразом

$$U = \max [U(1), U(2), \dots, U(k)], \quad (2)$$

Де кожна складова  $U(k)$  визначається виразом (1). При геометричній постановці задачі нечіткої класифікації крім апроксимації гіперпаралелепіпедами можна використовувати роздільні гіперповерхні щодо яких визначаються функції впевненості в класифікації  $\mu(d)$ , де базова змінна  $d$  визначається як відстань від поверхні, що розділяє, до об'єктів багатовимірному простору ознак. Базова змінна  $d$  визначається виразом

$$\sum_{d=1}^n a_i * x_i$$

де  $a_i$  – вектор параметрів, що визначає орієнтацію гіперплощини в багатовимірному просторі ознак.

Для формалізованого представлення знань у системі запропоновано формувати групу продукційних правил із використанням лінгвістичних змінних. Ці правила та моделі відповідають опису керуючих впливів, спрямованих на зменшення викидів забруднюючих речовин при виникненні аварійної ситуації внаслідок відхилення технологічних параметрів процесів від норми або перевищення викидів забруднюючих речовин на джерелах, що постійно діють.

Для вирішення завдання екологічного прогнозування запропоновано використовувати експертні моделі прийняття рішень на основі методу ранжування альтернатив та порівняння за перевагою. В цьому випадку завдання прийняття рішень щодо оперативного управління екосистемою полягає у пошуку таких альтернативних варіантів керуючих впливів, які забезпечують найменший вплив забруднюючих речовин на навколишнє середовище та персонал у результаті розвитку аварії.

Для вирішення даної задачі пропонується підхід, що включає два основні етапи.

На першому етапі для різних аварійних ситуацій проводиться оцінка значень можливої екологічної та соціальної шкоди і визначаються найбільш небезпечні аварійні ситуації та сценарії їх розвитку з точки зору тяжкості наслідків аварії. Проводиться ранжування альтернатив із використанням методів упорядкування за ступенем збитків.

На другому етапі здійснюється вибір перспективних керуючих впливів і для обраних на 1-му етапі найбільш небезпечних екологічних аварійних ситуацій та сценаріїв їх розвитку. Переважними вважаються керуючі рішення, що забезпечують найменший вплив забруднюючих речовин на екосистему та персонал у разі розвитку аварії з використанням мінімальної кількості ресурсів та реалізовані за мінімальні терміни.

Поруч із оперативним прийняттям рішень слід розглянути підхід до вирішення завдання багатокритеріального вибору заходів, вкладених у зниження впливів забруднюючих речовин під час модернізації (реконструкції) підприємств. Така задача є одним із завдань екологічного прогнозування, вирішення якої спільно із завданнями оперативного прийняття рішень дозволяє досягти якісно нових результатів та актуальне для всіх типів джерел забруднення.

Таким чином, науково-методичний апарат підтримки прийняття рішень при забезпеченні екологічної безпеки регіону включає: структурну модель підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою регіону на основі нечіткої вихідної інформації; методику підтримки прийняття рішень під час управління екологічною безпекою регіону на основі нечіткої вихідної інформації; методику сценарного оцінювання на основі нечітких показників.

#### **Функції системи екологічного прогнозування**

Система екологічного прогнозування виконує кілька функцій.

По-перше, вона призначена для довгострокового зберігання та оперативного використання інформації, моделей, методів, алгоритмів, прикладного програмного забезпечення для прийняття рішень щодо управління якістю атмосферного повітря на територіях, що безпосередньо прилягають до хімічних підприємств. У разі виникнення технологічних відхилень, виробничих та організаційних порушень, що призводять до перевищення концентрацій забруднюючих речовин від джерел, що постійно діють, система видає рекомендації, що дозволяють зменшити ефект від впливу на навколишнє середовище внаслідок залпових і аварійних викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря.

По-друге, система екологічного прогнозування може використовуватися для вироблення довгострокових рішень, пов'язаних з технічними та технологічними нововведеннями, удосконаленнями, спрямованими на поліпшення екологічної обстановки в екосистемі та зменшення негативних впливів, пов'язаних із систематичними викидами забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Під час виведення результату користувач отримує не тільки результати прогнозу, але й одразу всі можливі варіанти вирішення екологічної проблеми, якщо вона є.

Так, при виявленні перевищення значень концентрацій станціях контролю ситуаційно-рекомендуюча система ідентифікує джерело забруднення. Для якіснішого прийняття рішень проводиться прогнозування наслідків розвитку аварійної ситуації чи перевищує викиду та еколого-економічний аналіз. Отримана інформація далі передається до керуючої підсистеми СППР для прийняття рішень, після реалізації яких зміни технологічних параметрів процесу фіксуються в підсистемі збору та зберігання даних.

Штучна інтелектуальна система вирішує такі завдання:

- вибір раціональних схем розміщення стаціонарних станцій спостереження та маршрутів пересування мобільних лабораторій;
- класифікація стану довкілля;
- оцінка ризику розвитку несприятливих екологічних ситуацій;
- оцінка ризику виникнення, розвитку та рецидивів загострення захворювань людини та тварин, що викликаються шкідливим впливом екологічних факторів;
- формування раціональних схем керування екологічною обстановкою.

Основними цілями екологічного прогнозування є:

- збір інформації для прогнозування можливого розвитку аварії та її наслідків;
- мобілізація ресурсів, необхідні ліквідації аварії; розробка спеціальних прогнозів, що дозволяють ефективно реагувати на очікувані наслідки аварії;
- паспортизація та категоризація об'єктів – джерел викидів небезпечних речовин (підприємств, цехів, ділянок, технологічних установок, регіонів тощо).

У безаварійному режимі особи, які приймають рішення з використанням системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень визначають та створюють нормативні, законодавчі та економічні механізми, спрямовані на мінімізацію ризиків та збитків від аварії.

Ефективне екологічне прогнозування має не тільки прогнозувати виникнення можливих аварійних ситуацій, але й передбачати вжиття відповідних превентивних заходів. При цьому слід здійснювати усунення основних причин виникнення екологічних аварій, а не їх наслідків.

Прогнозування виникнення екологічної аварії та превентивне планування дій щодо її запобігання базуються на своєчасній оцінці тенденцій розвитку поточної ситуації в районі спостереження, а також ресурсів, необхідних для її покращення, стабілізації та зниження тяжкості наслідків розвитку аварійної екологічної ситуації.

Відсутність необхідної інформації часто стає основною перешкодою для організації заходів щодо раннього запобігання екологічним аваріям.

Усунення цього недоліку можна здійснити на основі використання аерокосмічних технологій, космічних апаратів дистанційного зондування Землі, безпілотних літальних апаратів, мобільних об'єктів екологічного моніторингу.

Завдання оцінки ефективності прогнозованих заходів полягає у пошуку альтернатив (керівних рішень), що забезпечують мінімізацію викидів забруднюючих речовин за наявності обмежень на витрати з різних видів ресурсів (використання надійних систем управління; заміна обладнання на більш ефективне; модернізація технологічних процесів).

#### **Архітектура штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень**

При визначенні архітектури штучної інтелектуальної системи враховуємо, що процедура екологічного прогнозування має реалізуватися як діалогова комп'ютерна система підтримки ухвалення рішень.

Штучна інтелектуальна система – це комплекс спеціального програмно-інформаційного забезпечення, який допомагає особі, яка приймає рішення, обирати ефективні (раціональні) рішення. Архітектура штучної інтелектуальної системи має ієрархічну структуру. Ієрархія представлена різними робочими рівнями функціонування: рівень підготовки; рівень моделювання; рівень тестування та рівень оптимізації.

Архітектура штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень враховує можливості сучасних біотехнічних технологій, що дозволяють контролювати стан довкілля за допомогою інтелектуальних датчиків, реєструють різні показники ступеня забруднення повітря, води, ґрунту. Ці датчики можуть розміщуватися як на стаціонарних пунктах (постах), так і мобільних лабораторіях.

Інтелектуальні можливості датчиків забезпечують їхню адаптацію до різних умов вимірювань, дозволяють дати користувачу попередню інформацію про стан навколишнього середовища у найзрозумілішій фахівцям екологічній формі. Структурними елементами інтелектуальної системи екологічного прогнозування є:

- інтегровані бази даних і знань, що містять інформацію про допустимі концентрації забруднюючих речовин, механізми їх перетворень та впливів;

- моделі забруднень та прийняття рішень щодо екологічної безпеки та запобігання подальшому надходженню цих речовин у воду, повітря, ґрунт, донні відкладення, рослинний покрив або про необхідність очищення цих об'єктів від вже накопичених у них забруднень;

- блок аналізу інтегрального екологічного техногенного впливу та отримання вторинної інформації про ефективність заходів та ін.

Архітектура штучної інтелектуальної системи складається з наступних основних блоків.

1. Блок взаємозв'язку або блок інтерфейсу (зв'язок між СППР та користувачем, тобто ЛПР).

2. Блок – база даних та блок комп'ютерного моделювання проблеми.

3. Блок чисельного розв'язування проблеми (вирішення проблеми за допомогою процедури векторної чи багатокритеріальної оптимізації).

4. База знань та машиною генерації (виведення) смислових рішень математично неформалізованих завдань.

5. Блок візуалізації рішення (наприклад, використання ГІС).

Система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень під час ліквідації аварій з викидом небезпечних речовин може функціонувати в різних режимах, за якими вирішуються спеціальні завдання на кожній фазі перебігу екологічної аварії на об'єкті.

У стаціонарному (безаварійному) режимі функціонування техногенно небезпечного об'єкта завдання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень полягає у протиаварійному попереджувальному прогнозуванні.

Інтелектуальна система підтримки прийняття екологічних управлінських рішень щодо управління якістю екологічної системи здатна забезпечити вирішення трьох класів завдань екологічного прогнозування.

У рамках першого класу формулюється завдання оптимального оперативного управління екологічною системою у разі виникнення аварійних ситуацій та перевищення граничних значень концентрацій забруднюючих речовин від постійно діючих джерел. Таке завдання екологічного управління в умовах невизначеності окреслюється як пошук оптимальних керуючих впливів, спрямованих на мінімізацію всіх видів збитків для довкілля та персоналу екосистеми.

У межах другого класу формулюється завдання багатокритеріального прийняття рішень, створені задля зменшення викидів забруднюючих речовин постійно діючих джерел забруднення та зниження ймовірності виникнення аварійних екологічних ситуацій з допомогою методів порівняння альтернатив з урахуванням багатокритеріальної теорії корисності.

У межах третього класу завдань синтезується управління екологічної безпекою за умов невизначеності за допомогою сучасних методів штучного інтелекту.

Інтелектуальна комп'ютерна система екологічного прогнозування має інформаційно-моделюючу та керуючу підсистеми.

**Висновки.** У праці означені особливості екологічного прогнозування в системі підтримки прийняття управлінських рішень та запропонована математична формалізація завдання екологічного прогнозування.

Аналіз функцій системи екологічного прогнозування дає змогу запропонувати архітектуру штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Побудова штучних інтелектуальних системи екологічного прогнозування в системах підтримки прийняття управлінських екологічних рішень сприяє забезпеченню екологічної безпеки природно-господарських систем та дозволяє отримати набір рекомендацій щодо ефективного еколого-економічного управління, спрямованого на досягнення розумного компромісу між інтересами підприємств та екологічною безпекою конкретного району чи регіону вцілому.

Процедуру екологічного прогнозування доцільно використовувати у позаштатних, нестандартних, надзвичайних аварійних та катастрофічних екологічних ситуаціях.

В рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки поданої теми слід зазначити, що отримані

результати можуть бути використані в підсистемах екологічного моніторингу техногенно-небезпечних об'єктів, робота яких пов'язана з викидами забруднюючих речовин в довкілля. Крім того, вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктами критичної інфраструктури.

Система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень має здатність підвищувати готовність керівників до роботи з попередження та ліквідації наслідків аварії в умовах високого ступеня невизначеності, формувати у них відповідний рівень знань та уміння враховувати довгострокові прогнози, незважаючи на розпливчастість та неповноту вихідної інформації.

### Література

1. Андон Ф.І., Захарова Е.Г., Резніченко В.А., Яшунін А.Т. *Інтелектуалізація інформаційних систем*. УСiМ, 1987. № 6. С. 84–92.
2. Васильєв В.І., Шевченко О.І. Штучний інтелект: Формування та впізнання образів. Донецьк : Дон. ДНДІ, 2000, 360 с.
3. Іващенко Т.Г. Стратегічна екологічна оцінка документів державного планування : Монографія / Під загальною науковою редакцією д.б.н. Г. Г. Шматкова. К. : Основа. 2021. 60 с.
4. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеєв В.С. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. К. : ДЕА, 2020. № 3(30), 2020. С. 30–38.
5. Машков О.А., Іващенко Т.Г. Проблеми управління екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. *Науковий часопис Академії національної безпеки*. 2020. № 3-4 (27-28). С. 7–34.
6. Машков О.А., Іващенко Т.Г., Мухіна К.С. Застосування аерокосмічних технологій при управлінні екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем. *Науковий часопис Академії національної безпеки*. 2021. № 1-2 (29-30). С. 4–27.
7. Шевченка О.І. Актуальні проблеми теорії штучного інтелекту. Київ, ІППІ, Наука і освіта, 2003. 228 с.
8. Gottinger. H. W., Weinmann. P. Intelligent decision support systems. *Decision Support Systems*. 1992. Vol. 8, No. 4. P. 317–332.
9. Официальный сайт организации-разработчика FuzzyGLIPS Электронный ресурс. URL: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/iit/fuzzy-reasoning.html>. Загл. с экрана.
10. Официальный сайт организации-разработчика EXSYS Электронный ресурс. URL: <http://www.exsysinfo.com/>. Загл. с экрана.
11. Alyoubi B.A. Decision support system and knowledge-based strategic management. *ELSEVIER*. 2015. № 65. С. 278–284.
12. Tripathi K.P. Decision support system is a tool for making better decisions in the organization. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*. 2017. № 21. С. 112–117.
13. Khodashahri N.G, Sarabi M.H. Decision support system (DSS) Singaporean journal of business economics and management studies. 2013. № 6. С. 94–102.

## ЕМПІРИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЕМР ПОЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ MULTI-FIELD EMF METER TM-190

Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Гордій Н.М., Тютюнник О.С.  
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка  
вул. Огієнка, 61, 32302, м. Кам'янець-Подільський  
semerniaoksana@gmail.com, lubin.alex@gmail.com, fedorchuk.ivan@kpnpu.edu.ua,  
nataliagordiy3103@gmail.com, Guslyanka@gmail.com

У статті вперше описано приклад лабораторного практикуму з обов'язкової професійної дисципліни «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища» для бакалавріату з екології. Основна мета статті висвітлити нові методологічні та загальні значення проведення лабораторного практикуму на вимірювання параметрів навколишнього середовища, на прикладі міста Кам'янець-Подільського. Нові підходи проведення лабораторного практикуму на вимірювання параметрів навколишнього середовища формують нові компетентності здобувачів вищої освіти. Публікація актуалізує питання використання нових приладів для вимірювання параметрів навколишнього середовища, які є оцифровані і, тим самим, формують цифрові компетентності в бакалавріаті. Уперше створено лабораторний практикум з дисципліни «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища» на основі професійних приладів і устаткування з екології. Уперше розроблені методичні вказівки до виконання кожної лабораторної роботи із літературою для ознайомлення та питаннями для самоконтролю здобувачів вищої освіти. Показано, що емпіричні методи вимірювання параметрів навколишнього середовища є одним з елементів повноцінного знання з екології загалом. Робота містить огляд однієї лабораторної роботи на вимірювання параметрів навколишнього середовища для міста Кам'янець-Подільського. Удосконалено методіку викладання лабораторних практикумів з екології в аспекті формування нових компетентностей здобувачів вищої освіти. Дістало подальшого вивчення питання прогнозованості параметрів навколишнього середовища міста Кам'янець-Подільського. Основна увага в статті приділяється методології формування компетентностей екологів через розв'язування чітко сформульованих завдань і узагальнень, питань для самоконтролю. Підсумовуючи цей матеріал зазначено, що теоретичне і практичне його значення реалізується в дослідженні та опублікуванні кваліфікаційних робіт студентів галузі 101 Екологія Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Екологію природних ресурсів загалом, розглядаємо в практичній та емпіричній діяльності підготовки бакалаврів і магістрів з 101 Екологія. *Ключові слова:* методи вимірювання параметрів навколишнього середовища, лабораторний практикум, здобувачі вищої освіти, бакалавріат, екологія, компетентності, прилад Multi-field EMf Meter TM-190.

**Empirical methods of measuring environmental parameters. Semernia O., Liubynskiy O., Fedorchuk I., Hordii N., Tiutiunnyk O.**

In the article, the content of the laboratory work on measuring the electric magnetic radiation field using a professional device revealed for the first time. The main idea of this article is to reveal to the reader the importance of forming experimental competences for students of ecology. The study demonstrates to the reader the effectiveness of conducting a laboratory workshop to acquire experimental skills of bachelors in ecology for use in further professional work. The new problem of forming experimental competences of future ecologists revealed through the implementation of a laboratory workshop in the educational process. The analysis of modern publications revealed the problem of studying the electric magnetic radiation field in ecology, not in physics. Environmental scientists did not deal with this issue. The electric magnetic and radiation field of the environment has not been study in ecology, in fact. The best way to solve this problem is to solve tasks of competence content so that students form appropriate experimental competences. These experimental competencies develop the empirical thinking of environmental students, which they need in their further professional activities. Special attention in the research is devoted to laboratory work on the measurement of electric magnetic and radiation field values, because ecology does not actually consider the question of the field, unlike physics. For the first time, a laboratory workshop on the discipline "Methods of measuring environmental parameters" created based on professional devices and equipment from ecology. For the first time, methodical instructions for each laboratory work with literature for familiarization and questions for self-control of students were developed. The methodology of teaching laboratory practicums in ecology based on the formation of new student competencies has been improve. Further study of the issue of predictability of environmental parameters of the city Kamianets-Podilskiy obtained. As a result, we teach students to use professional devices integrated with physics, natural science as well. The result of this article is to reveal to the reader the idea that knowledge has theoretical, practical and experimental components. *Key words:* methods of measuring environmental parameters, laboratory practice, students, environment, ecology, competences, Multi-field EMf Meter TM-190.

**Постановка проблеми.** Україна займає найви- гідніше географічне положення в світі, ми маємо чудову природу, але усе це затьмарюється глобаль- ним потеплінням у світі, яке несе за собою зміну клі- мату і у нашій державі. Екологічний стан (попри всю її красу) якій і так бажав кращого, ще більше погір-

шується: шкідливі викиди в атмосферу, від великої кількості автомобілів, забруднені ґрунтові води, а від- повідно й ґрунти, через використання аграрниками великої кількості мінеральних добрив... Усе це стало причиною погіршення екологічної безпеки в Україні. Але наші екологи, небайдужі люди і волонтери

робили все можливе, аби змінити на краще нашу екологічну ситуацію. Намагалися, намагаються і будуть намагатися все покращити, особливо після чорної дати в календарі усього нашого незламного народу – 24 лютого 2022 року, яке закарбується в пам'яті нашого покоління, як кривава рана на тілі Авеля...

**Актуальність дослідження.** Розпочалися активні бойові дії, наша земля раз за разом здригається від вибухів та пострілів, які погіршують нашу екологічну ситуацію. Дивлячись на її сьогоденний стан, стає зрозумілим лише одне: немає жодного безпечного куточку на нашій рідній землі, адже ракетні удари посягають раз за разом на нашу інфраструктуру, завдають непоправних змін нашій екосистемі. Окрім цього, великої шкоди несе з собою замінування нашої території, де останні дані спеціалістів є зовсім невтішними, адже вони говорять про третину замінованої нашої території. Величезну шкоду нашій екосистемі несуть тіла убієнних і воїнів, і мирних жителів (а їх чимало), які з тих чи інших причин залишилися незахороненими. Їхні рештки не тільки забруднюють атмосферу, а й потрапляють у ґрунти та підземні води, чим і завдають непоправної шкоди нашій екології. Але це ще не все...

Надзвичайно важливим наразі є недоторканність наших АЕС. Недопустимість по них ракетних ударів є першочерговим завданням для наших воїнів, адже ураження хоча б однієї із 4 АЕС (ЧАЕС наразі закрита, але теж не менш небезпечна) принесе масштабну катастрофу не тільки для нас, а й для багатьох країн Європи.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дане дослідження про вимірювання параметрів навколишнього середовища пов'язане з тематикою дослідження кафедри екології Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка [10] під назвою «Еколого-генетичний, біологічний, хімічний, фізико-географічний моніторинг біорізноманіття Поділля і Буковини (0116U006382)», науковий керівник Любинський О.І.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчаючи проблему якості навколишнього середовища, ми побачили, що питання ЕМР поля не достатньо досліджене екологами.

Дослідженням атмосфери і повітря займаються, як-от: [1; 2; 5; 6; 8; 9; 13; 14; 20]. Дослідженням забруднень загально-екологічних явищ займаються, як-от: [2; 8; 9; 12; 14–19]. Дослідженням фізичних параметрів у екології займаються, як-от: [6; 7; 11; 18].

А ЕМР поле, фактично, не досліджують в екології, проте, у фізиці, цим питанням вчені-дослідники рясно займаються і висвітлюють в розділах фізики: електродинаміка, термодинаміка, досліджують електромагнітні поля, радіаційний фон тощо.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Методи вимірювання параметрів навколиш-

нього середовища, зокрема, емпіричні, тісно пов'язані із вміннями використовувати професійні прилади та установки. Саме цій частині фахової роботи ми присвятили розроблення лабораторного практикуму для спеціальності 101 екологія. Здобувачі вищої освіти набувають інтегральну, загальну та спеціальну компетентності під час виконання лабораторних робіт.

**Новизна.** Уперше створено лабораторний практикум з дисципліни «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища» на основі професійних приладів і устаткування з екології. Уперше розроблені методичні вказівки до виконання кожної лабораторної роботи із літературою для ознайомлення та питаннями для самоконтролю здобувачів вищої освіти. Показано, що емпіричні методи вимірювання параметрів навколишнього середовища є одним з елементів повноцінного знання з екології загалом. Удосконалено методику викладання лабораторних практикумів з екології на основі формування нових компетентностей здобувачів вищої освіти. Дістало подальшого вивчення питання прогнозованості параметрів навколишнього середовища міста Кам'янець-Подільського.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Значення даного дослідження реалізується у викладанні обов'язкового професійного курсу «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища» у Кам'янець-Подільському національному університеті імені Івана Огієнка [10]. Методологічне значення статті полягає в звертанні уваги на міжпредметні зв'язки під час викладання професійних навчальних дисциплін. Загальнонаукове значення статті реалізується у висвітленні нових сучасних знань для управління пізнавальною діяльністю здобувачів вищої освіти із окремих навчальних дисциплін обов'язково-професійного характеру бакалавріату 101 Екології.

**Викладення основного матеріалу.** Отже, для дисципліни «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища» маємо:

#### **Тематика лабораторного практикуму**

- Вступне заняття. Первинний інструктаж з охорони праці
- Вимірювання ваги тіла маленької маси за допомогою аналітичних ваг
- Засоби вимірювальної техніки: станція моніторингу якості повітря «ЛУН Місто Air»
- Функції станції моніторингу якості повітря «ЛУН Місто Air»
- Визначення параметрів якості води : рН-метр РН-220
- Дослідження довкілля за допомогою портативного оксиметру MW600
- Аналізування якості ґрунту за допомогою приладу АМТ-300 4 в 1
- Визначення якості повітря за допомогою аналізатора концентрації вуглекислого газу Carbon Dioxide Meter GM8802



ЕМР дані території

№	Назва території	МП, мГ	ЕП, частота/м	РП, мВ/м <sup>3</sup>	Норма МП, мГ	Норма ЕП, Ч/м	Норма РП, мВ/м <sup>3</sup>	Висновок
1.								
2.								
3.								



Рис. 1. Прилад

– Визначення якості повітря за допомогою цифрового шумоміру Venetech GM1356 (SR5451)

– Дослідження ЕМР поля навколишнього середовища за допомогою Multi-field EMf Meter

– Застосування нітрат-тестера Anmez Greentest 2 для дослідження параметрів навколишнього середовища

– Застосування аналізатора концентрації формальдегіду GM8801 для визначення якості повітря

– Дослідження енергетичних параметрів об'єктів навколишнього середовища за допомогою дозиметру МКС-05 ТЕРРА-П

– Вивчення якості повітря за допомогою приладу Air Quality Monitor (PM; O<sub>3</sub>; TV OC; t; Hum)

Розглянемо приклад лабораторного заняття з дисципліни «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища».

**Лабораторне заняття N.** Дослідження ЕМР поля навколишнього середовища за допомогою Multi-field EMf Meter

**Мета:** навчальна: навчитись досліджувати ЕМР (електро-магнітне поле та радіаційний фон) навколишнього середовища за допомогою приладу: Multi-field EMf Meter, формувальна: уміти обирати оптимальні методи та інструментальні засоби для проведення досліджень, збору та обробки даних, виховна: виховувати причинно-наслідкове мислення.

**Обладнання:** Multi-field EMf Meter

**Завдання до лабораторної роботи N:** дослідити ЕМР (електро-магнітне поле та радіаційний фон) навколишнього середовища за допомогою приладу: Multi-field EMf Meter та оформити звіт до роботи.

**Література:** [4].

**Теоретична частина** Опис приладу (рис. 1) [4].

Наприклад, екран: I частина: Hold/ not Hold – запис даних; кнопка режиму включення;

звук; рівень заряду батареї. II частина: Магнітне поле (МП), XYZ, мГ. III частина: Електричне поле (ЕП), Частота V/м. IV частина: Радіаційне поле (РП), mW/m<sup>3</sup>. Кнопки спереду приладу: Hold (оперативний запис даних); Menu. Виконання лабораторного завдання до роботи N1:

0. Здайте допуск до лабораторної роботи, відповідаючи на питання для самоконтролю.

1. Знайдіть досліджувану територію.
2. Увімкніть прилад Multi-field EMf Meter, довгим натисканням круглої кнопки включення.
3. Зачекайте 1 хв. і запишіть отримані дані полів у таблицю 1.
4. Проведіть ще два дослідження територій.
5. Натисніть легко кнопку включення і дослідіть меню приладу Multi-field EMf Meter.
6. Опишіть результати.
7. Зробіть висновок і вимкніть прилад Multi-field EMf Meter, довго утримуючи кнопку включення.
8. Оформіть звіт до роботи.

#### Питання для самоконтролю:

Наприклад. 1. Що вимірює прилад Multi-field EMf Meter?

2. Які норми ЕМР поля встановлені для досліджуваної території?

3. Як визначити чи дана територія безпечна для навколишнього середовища?

Це був приклад лабораторної роботи з дисципліни «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища», який, очевидно, розкриває зміст формування нових компетентностей здобувачів вищої освіти з екології.

**Головні висновки.** Отже, для вимірювання ЕМР поля буде ефективно використати прилад Multi-field EMf Meter. Здобуті професійні компетентності формують емпіричне мислення в здобувачів вищої освіти з екології.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Подальше вивчення проблеми ми вбачаємо в формуванні критичного стилю мислення в екологів під час розв'язування спеціальних інженерних задач на задані компетентності.

#### Література

1. Chugai A.V., Terzeman V.V. Прогнозування забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом азоту. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2022. № 29. С. 95–100. DOI: 10.31481/uhmj.29.2022.08.
2. Dvoretzka I.V., Savenets M.V., Umanets A.P. Оновлені кліматичні норми загального вмісту озону над територією України. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 28. С. 5–15. DOI: 10.31481/uhmj.28.2021.01.

3. Mudrak O.V., Mudrak G.V., Shcherbliuk A.L. Науково-методичні і практичні засади оцінювання ключових територій екомережі Східного Поділля за основними критеріями їх формування. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 28. С. 77–91. DOI: 10.31481/uhmj.28.2021.07.
4. Multi-field EMf Meter TM-190. URL: <http://www.tenmars.com/m/2001-1682-689849,c19132-1.php?Lang=en> (дата звернення 10.01.2023).
5. Ruzhentsev N.V., Zhyla S.S., Pavlikov V.V., Kosharsky V.V., Cherepnin G.S. Бюджетний вимірвач інтегральних параметрів вологи в стовпі атмосфери. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 24–33. DOI: 10.31481/uhmj.27.2021.03.
6. Stepova O., Kornishyna A.V. Дослідження шумового навантаження центральної частини міста Полтава від автомобільного транспорту. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 28. С. 100–110. DOI: 10.31481/uhmj.28.2021.09.
7. Zhuk A.V., Zarochentseva O.D. Особливості світлового забруднення навколишнього середовища Чернівецької області. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 66–75. DOI: 10.31481/uhmj.27.2021.07.
8. Безвесільна О.М., Войцицький А.П., Єльнікова Т.О., Киричук Ю.В. Засоби вимірювання екологічних параметрів : підручник. Житомир : ЖДТУ, 2009. 508 с.
9. Бунякіна Н.В., Пінчук Є.Р., Книш А.І. Методи екологічного контролю і моніторингу якості довкілля. *Тези доповідей 73-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*. (Полтава, 21 квіт. – 13 трав.). Полтава : Нац. ун-т ім. Ю. Кондратюка, 2021. Т. 2. С. 466–467.
10. Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. Кам'янець-Подільський, 2021. URL: <https://krnu.edu.ua> (дата звернення: 08.01.2023).
11. Куленко С.С., Павлов С.В. Актуальність застосування оптико-електронних технологій при екологічному моніторингу. *II-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : збірник статей. Вінниця, 2009. С. 345.
12. Лагода Ю.О. Вплив повномасштабної війни на навколишнє середовище в Україні. *П'ята міжнародна конференція молодих учених: Харківський природничий форум*: збірник тез. (19–20 травня 2022 р., м. Харків). Харків : ХНПУ імені Г.С. Сковороди, 2022. С. 216.
13. Петрівной Д.І. Дослідження експрес-методів аналізу забруднення атмосферного повітря для організації системи моніторингу навколишнього середовища: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 101 – Екологія / наук. кер. С.В. Сидоренко. Суми : Сумський державний університет, 2022. 56 с.
14. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: підручник. Київ : Світ, 2003. 288 с.
15. Радовенчик В.М., Радовенчик Я.В., Качула І.Г. Доступ до екологічної інформації в Україні. *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2016. Вип. 1. С. 75–81.
16. Рашкевич Н.В., Лобойченко В.М., Шевченко Р.І. *Мінімізація наслідків екологічної небезпеки території, внаслідок їх вогневого ураження боєприпасами*: PhD Thesis. 2022.
17. Севідова І.В. Оцінка сучасного стану системи моніторингу довкілля в Україні: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 101 – Екологія / наук. кер. С.В. Сидоренко. Суми : Сумський державний університет, 2020. 48 с.
18. Ситник Л. С.; Шаховалова Є. О. Методи оцінки екологічного впливу антропогенної діяльності на навколишнє середовище. *Економіка і організація управління*, 2021, 71–77.
19. Чугай А.В. Моніторинг довкілля. Методи вимірювань параметрів навколишнього природного середовища: конспект лекцій для студентів напряму підготовки «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Одеса : ТЕС, 2014. 67 с.
20. Яцишин А.В. Методика навчання майбутніх фахівців у галузі екології методам і засобам екологічного моніторингу приземного шару атмосфери. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. Вип. 66. № 4. С. 217–230.

---

# ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

---

УДК 636.085.57

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.30>

## ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ КОНДИТЕРСЬКИХ ФАБРИК ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОМБІКОРМІВ ЯК ЕЛЕМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

Адашевський О.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

[adashevskiyoleg@gmail.com](mailto:adashevskiyoleg@gmail.com)

У статті проаналізовано основні етапи утворення, відмінності у складі, напрямки використання твердих харчових відходів кондитерських фабрик. Обґрунтована економічна та екологічна доцільність їх використання при виробництві комбікормів, що здатне забезпечити продовольчу безпеку України під час військового стану. Такий підхід відповідає ієрархії управління відходами в Україні, директивам Європейського Союзу в сфері поводження з відходами, концепції сталого розвитку країни, проте до цього часу є відносно не затребуваним серед невеликих та середніх виробників комбікормів, що пов'язане з комплексом технологічних та логістичних проблем. Розглянуто основні технологічні та логістичні проблеми, пов'язані з запровадженням технології використання твердих відходів кондитерських фабрик різного типу в якості доданки при виготовленні комбікормів загального призначення. Визначено, що висока вологість, ураження пліснявою та грибами, агломерація, наявність сторонніх домішок – переважно полімерного комбінованого пакування – у складі твердих харчових відходів кондитерських фабрик знижує привабливість цих відходів як вторинної сировини, що призводить до низького відсотку вторинного використання цінних харчових продуктів. Надано рекомендації щодо впровадження системи керування твердими відходами кондитерських фабрик безпосередньо на самих фабриках, в тому числі контролю за їх накопиченням та умовами зберігання. Це дозволить уникати деяких технологічних проблем при їх подальшому використанні в якості доданки при виготовленні комбікормів. В подальшому це сприятиме збільшенню кількості твердих харчових відходів кондитерських фабрик, які підлягають вторинному використанню. *Ключові слова:* тверді харчові відходи, кондитерська фабрика, комбікорм, доданка, вторинне використання, сталий розвиток, ієрархія управління відходами.

**Confectionary factories solid waste using in compound feed production as element of Ukraine's sustainable development.**  
**Adashevskiy O.**

The the main formation stages, differences in composition, using directions of solid food waste from confectionery factories are analysed in the article. Substantiated economic and ecological feasibility of their use in compound feed production, which can ensure Ukraine food security during martial law. This approach corresponds to the waste management hierarchy in Ukraine, the directives of the European Union in the waste management area, the sustainable development concept of the country, but until now it is relatively not in demand among small and medium-sized compound feed producers, which is associated with some technological and logistical problems. The main technological and logistical problems associated with using different solid waste from confectionery factories as an additive in general-purpose compound feed production are considered. It was determined that high humidity, damage by mold and fungi, agglomeration, solid impurities – mainly polymer combined packaging – in confectionery factories solid food waste reduces their attractiveness as a secondary raw material. This leads to a low percentage of secondary valuable food products. Recommendations to provide the solid waste management system for confectionery factories solid food waste directly at the factories themselves, including control over their accumulation and storage conditions are given. This will make it possible to avoid some technological problems during further confectionery factories solid food waste use as an additive in compound feed production. In the future, this will contribute to an increase in the solid food waste from confectionery factories volume that can be used as secondary resource. *Key words:* solid food waste, confectionery factory, compound feed, addition, secondary use, sustainable development, waste management hierarchy.

**Постановка проблеми.** В структурі економіки України тваринницький комплекс є одним з найважливіших секторів, який забезпечує як внутрішні потреби, так й приносить дохід в іноземній валюті завдяки експорту. При цьому ринок експорту м'яса птиці та великої рогатої худоби, а також свинини потерпає від впливу різних кон'юнктурних факторів та є сферою відносно ризикованого бізнесу в Україні, оскільки не завжди попит на внутрішньому ринку здатен принести високий дохід в разі зменшення попиту на зовнішньому ринку [1]. На ціноутворення продукції птахівництва та тва-

ринництва в першу чергу впливає вартість утримання, в структурі якою основні витрати (60–75%) це ціна комбікормів та енергетичні витрати [2]. Вартість комбікормів вітчизняного виробництва в свою чергу залежить від вартості сировини та енергоносіїв. Кожного року спостерігається підвищення кінцевої вартості комбікормів. Зменшення вартості комбікормів може досягатися шляхом оптимізації виробництва та зменшення енерговитрат, а також шляхом додавання до первинної сировини калорійних залишків харчової промисловості.

Кондитерські фабрики є утворювачами великої кількості твердих харчових відходів на різних етапах виробництва. Більшість з цих відходів мають велику енергетичну цінність та можуть бути використані у складі комбікормів. Але на сьогодні такі практики носять не системний характер та не мають суттєвого впливу на систему поводження з відходами в країні в цілому.

Зазначимо, що після 24.02.2022 Україна може зіткнутися з продовольчою кризою, коли сільськогосподарської продукції не вистачає на всі потреби виробників комбікормів. Активні бойові дії на півдні та сході України у 2022 році не дали змоги засіяти в повному обсязі всі сільськогосподарські площі, а 2023 році після деокупації виробники зіткнуться з мінною небезпекою, забрудненням ґрунту та відсутністю сільськогосподарської техніки й робітників.

Для повноцінного харчування раціон дорослих, та особливо дітей, повинен містити м'ясо та вироби з нього, молочну продукцію – тому збереження тваринницького комплексу під час військових дій та цін на їх продукцію в межах доступності для пересічних громадян є запорукою продовольчої безпеки країни [3].

**Актуальність дослідження** Актуальність дослідження полягає в тому, що поширення технології використання твердих відходів кондитерських фабрик в якості доданки до комбікормів здатне суттєво зменшити попит на первинну рослинну сільськогосподарську продукцію та знизити собівартість комбікормів. Використання твердих відходів кондитерських фабрик в якості сировини для комбікормів узгоджується з вітчизняною ієрархією управління відходами, де вторинне використання ресурсів є пріоритетним напрямком та відповідає концепції сталого розвитку [4]. При цьому ряд технологічних та логістичних проблем не дозволяють ефективно впровадити технологію використання твердих харчових відходів кондитерських фабрик для малих та середніх виробників комбікормів.

**Мета роботи.** Метою роботи є індикація технологічних та логістичних проблем використання твердих харчових відходів кондитерських фабрик при виробництві комбікормів та надання дорожньої карти їх вирішення.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Тема роботи відповідає основним напрямкам політики держави в сфері сталого розвитку, а саме Указу Президента «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» (№ 722/2019 від 30.09.2019), проекту закону України «Про Стратегію сталого розвитку України до 2030 року», а також Директиві 2008/98/ЄС про відходи та скасування деяких директив.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [5] запропоновано використовувати побічні відходи консервної промисловості в комбікорми і кормові добавки, зокрема відходи виробництва

томатного соку та томатної пасти. Отримані комбікорми з додаванням томатних вичавок здатні забезпечити кальцієвий дефіцит у курей-несучок. У роботі [6] розглянуто загальні принципи підвищення ефективності процесів переробки відходів харчових і переробних підприємств АПК для виробництва м'ясо-кісткового борошна. Автори [2] описують можливість використання відходів крохмале-паточкового виробництва при виробництві комбікормів для годівлі свиней, зокрема глютен кукурудзяний сухий, сухий кукурудзяний корм, кукурудзяно-фосфатидний концентрат.

**Викладення основного матеріалу.** Активні військові дії на частині територій України після 24.02.2022 не призвели до суттєвих зменшень виробництва на кондитерських фабриках. З найбільш постраждалих вагомих гравців ринку можна відзначити Тростянецьку шоколадну фабрику ПАТ «Монделіс Україна». Харківська корпорація «Бісквіт та шоколад» тимчасово припиняла роботу ліній виробництва печива та вафель, тоді як виробництво шоколадних та інших типів цукерок майже не припинялось. Всі інші потужні виробники кондитерських виробів – такі як Львівська кондитерська фабрика «Світоч» (яка входить в групу компаній Nestle), фабрика «Житомирські ласощі», концерн «АВК», Полтавська кондитерська фабрика «Домінік» зберегли у 2022 році свої виробничі потужності. Отже, в масштабах країни не варто очікувати зменшення обсягу утворення твердих харчових відходів на таких підприємствах. Одночасно частково або повністю було порушення трансфер таких відходів в межах України.

Тверді та напівтверді відходи, що мають харчову цінність, утворюються на кондитерських фабриках на різних етапах, та можуть бути розділені на наступні групи:

I група – це відходи, які утворюються безпосередньо на виробництві. До них відносять обрізки та лом продукції, залишки на технологічному обладнанні напівтвердих відходів типу глазури. Така продукція частково реалізується по заниженим цінам по певним позиціям, але переважно у малих та середніх виробників.

II група – це готова продукція, яка не пройшла перевірку на відповідність стандартам та має не характерний для даної продукції вміст поживних речовин.

III група – протермінована продукція, яка накопичується на складах самих фабрик, так й у дилерів.

IV група – партії товару, у яких внаслідок транспортування або зберігання суттєво порушено індивідуальне пакування на стільки, що реалізація продукції не можлива навіть по заниженим цінам.

До утворення III групи відходів призводять переважно прорахунки у роботі маркетингового відділу та відділу продаж, які не правильно спрогнозували попит на певні види продукції. Утворення відходів IV групи переважно відбувається при транспорту-

ванні вантажівками продукції або нештатних ситуаціях на складах зберіганнях. У 2022 році додався фактор руйнування приміщень внаслідок обстрілів, що за відсутності пожежі в місці попадання снаряду також призводить до утворення IV групи відходів.

Об'єктами дослідження в даній роботі є III та IV групи відходів однієї з великих кондитерських фабрик. У таблиці 1 наведено дані щодо наявних негативних явищ в зразках вторинної сировини, що планувалося використовувати в якості доданки до кукурудзи при виробництві комбікормів. Промисловий майданчик розташований у м. Харків, процес виробництва було започатковано у 2020 році. Усі відходи транспортувалися на відстань понад 1000 км з місця їх утворення (накопичення) до місця переробки.

Аналіз даних табл. 1 свідчить про те, що відходи III та IV групи мають у своєму складі залишки полімерного пакування – це переважно індивідуальне пакування комбінованого типу, що складається з металізованого та полімерних шарів (для вафель та частини цукерок), а також папір. Саме це ускладнює технологічний процес переробки твердих відходів III та IV групи, адже на першому етапі необхідно відокремити пакування від харчових відходів. Для виробників комбікормів це додаткові витрати на обладнання, обслуговування, енергоносії. Середні та малі підприємства застосовують низькопродуктивне ручне відокремлення, що знижує ефективність використання таких відходів. Утворювачі твердих відходів III та IV групи

часто зберігають їх на відкритих ділянках, оскільки ця продукція не буде реалізована за ринковими цінами та не вимагає суворих дотримань умов зберігання. Як наслідок, тривалий термін зберігання на відкритих ділянках та дія факторів погоди, особливо осадів, призводить до появи та розвитку плісняви (яка найчастіше викликається грибами роду *Aspergillus*, *Penicillium* та *Botrytis*), адже харчові залишки є поживним середовищем для неї (табл. 1). Пліснява у вторинній сировині може призвести до зменшення терміну зберігання готового комбікорму, а також до отруєння тварин мікотоксинами. Виробники комбікормів стикаються з необхідністю аналізу відходів на наявність плісняви лабораторними методами, адже не завжди візуальна відсутність свідчить про справжню відсутність, а також розробки технологічного процесу, який дозволяє ліквідувати плісняву в процесі переробки твердих відходів кондитерських фабрик. Надмірна вологість вторинної сировини, яка також спостерігається при зберіганні на відкритих ділянках (табл. 1) призводить у технологічному процесі виготовлення комбікормів до необхідності ще однієї додаткової стадії сушки твердих відходів кондитерських фабрик. Технологічний процес може не включати окрему стадію сушки, натомість переробка проводиться за підвищених температур (понад 150°C), що також може бути використано для боротьби з пліснявою. Обидва рішення збільшують собівартість готового продукту з-за додаткових витрат на енергоносії.

Таблиця 1

**Характеристика вторинної сировини, що надійшла для використання в якості доданки при виробництві комбікормів**

Тип вторинної сировини	Група відходів	Умови зберігання до потрапляння на виробництво комбікормів	Наявні негативні явища, які ускладнюють або унеможливають використання			
			Надмірна вологість	надмірна твердість	пліснява на продукції, яка виявляється візуально	наявність залишків полімерного пакування
Протерміновані вафлі	III	Сухі складські приміщення, осінньо-зимовий період	ні	ні	ні	так
Протерміновані вафлі	III	Зберігання на відкритій місцевості, весняно-літній період	так	ні	так	так
Протерміновані шоколадні цукерки (вагові)	III	Зберігання на відкритій місцевості, весняно-літній період	ні	так	так	так
Протерміноване печиво	III	Сухі складські приміщення, осінньо-зимовий період	ні	ні	ні	так
Протерміноване печиво	III	Зберігання на відкритій місцевості, з січня по червень	так	ні	так	так
Суміш вафель та печива	IV	Зберігання на відкритій місцевості, весняно-літній період	так	ні	так	так

Тривалий термін зберігання на відкритих ділянках призводить до появи плісняви, яка знижує привабливість вторсировини для виробників комбікормів. Поки кондитерська фабрика займається пошуком місця збуту такої втор сировини, вона продовжує зберігатися та накопичуватися, псуватися. Складається ситуація замкненого кола. Тому важливо налагодити систему безперервної швидкої реалізації великих обсягів відходів III та IV групи, що можливо тільки за умови залучення виробників комбікормів з великими потужностями. Для цього необхідно довести привабливість та доцільність використання таких відходів у складі комбікормів та максимально знизити їх ціну при продажі.

Транспортування на великі відстані від місця утворення відходів до місця виготовлення комбікормів є небажаним явищем. По-перше, це призводить до значних витрат на транспортування, а по-друге, небажано з точки зору концепції сталого розвитку, адже вантажівки є пересувним джерелом забруднення повітря. Тим не менш, великі кондитерських фабрики продають відходи II, III груп субпідрядникам, чий підприємства не локалізовані в радіусі 200 км від місця накопичення. Частим є також явище, коли споживач комбікорму, який містить тверді харчові відходи кондитерських фабрик також знаходиться на значній відстані від виробника комбікормів. На перший погляд це логістична

та маркетингова проблема, яка по факту є елементом недбалого ставлення до довкілля та переростає в екологічну проблему.

**Загальні висновки та рекомендації.** Для поширення практики використання твердих харчових відходів кондитерських фабрик необхідно вирішити наступні питання:

1. Зберігати відходи у сухих складських приміщеннях, або суттєво зменшити період зберігання на відкритих ділянках для зменшення небажаних процесів набуття надмірно вологості та появи плісняви.

2. Розробити оптимальну рецептуру та технологічну карту процесу використання вказаних відходів у складі комбікормів для різних рослинних основ. Економічна ефективність буде досягнута тільки за умови використання твердих харчових відходів кондитерських фабрик у кількості більше 30 мас. %.

3. Оптимізувати ланцюг місце накопичення відходів – виробник комбікормів – споживач комбікормів з метою зменшення відстані для транспортування. Зауважу, що оптимізація повинна будуватися за принципом довжини шляху до 300 км, а не проходити в адміністративних межах областей. Якщо це не можливо, то слід розглянути використання залізничного транспорту для перевезення великих обсягів на значні відстані, що зменшить навантаження на довкілля порівняно з перевезенням двадцятитонними вантажівками.

### Література

1. Тюха І. В., Полінчик-Ярова Т. В. Стан, тенденції і перспективи розвитку українського експорту продукції АПК. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. Т. 25. № 1. С. 56–64.
2. Акімов О.В., Церенюк О.М., Косов М.О. Повноцінна годівля свіней. *Агробізнес сьогодні*. № 6 (301). Київ. 2015. С. 56–58.
3. Кручаниця М.І., Миронюк І.С., Розумикова Н.В., Кручаниця В.В., Брич В.В., Кіш В.П. Основи харчування : підручник. Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2019. 252 с.
4. «Про схвалення національної стратегії управління відходами України до 2030 року». Розпорядження КМУ № 820-р від 08.11.2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
5. Єгоров Б.В. Чернега І.С., Кузьменко Ю.Я. Удосконалення технології виробництва комбікормів з використанням томатної кормової добавки. *Зернові продукти і комбікорми*. Том 63. № 1/3. 2016. С. 26–33.
6. Муштрук М.М. Аналіз технологічної бази для виробництва кормового борошна і його сумішей. *Біотехнологія*. Том 10. № 5–6. 2018. С. 52–59.

## DISPOSAL OF ALUMINUM FROM END-OF-LIFE VEHICLES IN UKRAINE: ANALYSIS OF LEGISLATIVE REGULATION

Skuibida O.L.

National University Zaporizhzhia Polytechnic  
64 Zhukovsky Str., 69063, Zaporizhzhia  
eskuibida@gmail.com

End-of-life vehicles form an important waste and materials stream in the context of hazardous substances and secondary raw materials. The transport industry is one of the main consumers of aluminum alloys – the share of aluminum in the construction of vehicles is constantly growing, so a significant amount of the scrap consists of aluminum-based alloys. It is essential to prevent the significant material streams going to the landfill as end-of-life aluminum placed in landfills leads to degradation of natural ecosystems. Aluminum scrap is a valuable production raw material that can be recycled almost indefinitely. In particular, in the European Union end-of-life aluminum is more than 90% recycled in treatment factories. This is primarily facilitated by the adopted legislative regulation of metal waste management. The aim of work is to consolidate and analyze Ukrainian legislation related to the recycling of aluminum, which comes from the transport sector. Thus, the main issues of aluminum waste management and handling in Ukraine are regulated by the Laws of Ukraine “On Waste” (“On Waste Management”), “On Environmental Protection”, “On Ensuring Sanitary and Epidemic Safety of the Population”, “On Scrap Metal”, state classifier DK 005-96 “Waste Classifier”, state standards DSTU 3051-95, DSTU 3052-95, DSTU 2195-99, DSTU 4462.0.01:2005, DSTU 4462.0.02:2005, DSTU 4462.3.01:2006, DSTU 3211:2009, state sanitary rules DSP 201-97, DСанPiN 2.2.7.029-99, etc.. The analysis showed that there is no separate normative document in Ukraine that regulates the process of disposal of products made of aluminum alloys from end-of-life vehicles. It is expedient for our country to use the experience and practical cases of the European Union, where waste has been at the center of the environmental policy initiatives over a long period of time. This causes the need for development of additional legislation and regulatory acts, as well as appropriate technological solutions (in particular, regarding the classification and sorting of scrap, the use of advanced metallurgical processing technologies, and so on). *Key words*: waste management, end-of-life vehicle, recycling, scrap, aluminum.

### Утилізація алюмінієвого брухту від транспортних засобів в Україні: аналіз законодавчого регулювання. Скуїбіда О.Л.

Транспортні засоби, що вийшли з експлуатації, утворюють важливий потік відходів і матеріалів в плані небезпечних речовин та вторинної сировини. Транспортна галузь є одним із основних споживачів алюмінієвих сплавів – частка алюмінію в конструкціях транспортних засобів постійно зростає, тому значну кількість брухту становлять сплави на основі алюмінію. Важливо запобігти надходженню значних потоків матеріалів на звалища, оскільки алюміній із вичерпаним терміном служби, розміщений на звалищах, призводить до деградації природних екосистем. Брухт алюмінію є цінною виробничою сировиною, що може піддаватись повторній переробці практично нескінченно. Зокрема, у Європейському Союзі більше 90% алюмінію, який закінчив термін служби, утилізується на переробних підприємствах. Цьому передусім сприяє прийняте законодавче регулювання поводження з відходами металів. Метою роботи є консолідація та аналіз українського законодавства щодо переробки алюмінію, який походить із брухту та відходів у транспортному секторі. Так, основні питання управління та поводження з алюмінієвими відходами в Україні регулюються Законами України «Про відходи» («Про управління відходами»), «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про металобрухт», державним класифікатором ДК 005-96 «Класифікатор відходів», державними стандартами ДСТУ 3051-95, ДСТУ 3052-95, ДСТУ 2195-99, ДСТУ 4462.0.01:2005, ДСТУ 4462.0.02:2005, ДСТУ 4462.3.01:2006, ДСТУ 3211:2009, державними санітарними правилами ДСП 201-97, ДСанPiN 2.2.7.029-99 тощо. Аналіз показав, що в Україні відсутній окремий нормативний документ, який би регламентував процес утилізації виробів з алюмінієвих сплавів від відпрацьованих транспортних засобів. Нашій державі доцільно використати досвід і практичні кейси Європейського Союзу, де відходи протягом тривалого часу були в центрі ініціатив екологічної політики. Це зумовлює необхідність розробки додаткового законодавства та нормативних актів, а також відповідних технологічних рішень (зокрема щодо класифікації та сортування брухту, використання передових технологій металургійної переробки та ін.). *Ключові слова*: поводження з відходами, відпрацьований автомобіль, переробка, брухт, алюміній.

**Problem statement.** Currently, there is an intensive pollution of the environment (pollution of air, soil, water bodies; alienation of territories) by hazardous components of end-of-life vehicles. Nowadays aluminum alloys are widely used in the transport sector for production of body structures, parts of engine, heat exchangers, transmissions, suspension elements, chassis, wheels, battery, wiring, etc.. Aluminum has application in the electric vehicles transport and automotive industry. The use of 100 kg of aluminum in the automobile construction could save up to 640 l of gasoline per 200 thousand km

and reduce CO<sub>2</sub> emissions by 2000 kg [1–3]. Recycling of aluminum in this regard is of particular importance – on the one hand the use of secondary aluminum in the construction of a car is favorable for the environment and human health; on the other hand there is a large amount of aluminum scrap and waste of the automotive industry, and aluminum can be recycled almost indefinitely. It is essential to prevent the significant material stream going to the landfill, otherwise end-of-life aluminum is placed in landfills and special burial sites that leads to degradation of natural ecosystems.

The analysis [4] had shown that despite the fact that after the signing of the Ukraine – European Union (EU) Association Agreement [5], which provides for compliance with the principles of an integrated approach to pollution prevention and control (Directive 2008/98/EU) [6], the implementation of relevant strategies, concepts and programs on waste management at the state and local levels in Ukraine, the problem of disposal of waste and revitalization of the territories occupied by them continues to remain. About 400 mln t of waste is generated in Ukraine annually and only 6% is recycled, which is almost 7 times lower in comparison with the EU countries [4]. Unprocessed wastes are located at landfills and dumps, more than 5 thousand of which were already overloaded in the beginning of war and nearly 30% did not meet environmental safety standards. Thus, the issue of waste management of end-of-life vehicles is of special importance, and aluminum scrap and waste processing must comply with current legal regulations.

**The aim of the work** is to consolidate and analyze the regulatory framework of end-of-life aluminum recycling in Ukraine. Advantages that increased recycling could bring require strong support of policy makers, collaboration along the whole recycling value chain as well as the implementation of the best world practices in initiatives for Ukraine recovery.

**Analysis of recent research and publications.** Waste management in aluminum production is among topics of the research of Ozmen M., Aydogan E.K., Lia X., Ma B., Warrings R., Fellner J., Lopez-Delgado A., Tayibi H. and others. Such researchers as Cu J., Roven H.J., Lovik A.N., Modaresi R., Kelly S., Muller D.B. had paid attention to recycling of aluminum from end-of-life vehicles. The issues of sorting of aluminum scrap and waste were investigated by Engelen B., DeMarelle D., Diaz-Romero D.J., Gavade S., Kulkarni S., etc.. An extremely important literary source is the work on disposal of aircraft components by Makarenko D.N. [7], who analyzed the relevant normative and technical basis in the aviation industry; the specified work prompted the author to write this article..

The author [8] highlights two classification groups of aluminum waste and scrap in accordance with the Waste Classifier DK 005-96 [9]: the code 2732.2 “Production-technological waste of aluminum, aluminum alloys and rolled aluminum” and the code 2732.3 “Waste of final products of the production of aluminum, aluminum alloys and rolled aluminum”. In particular, it is a slag formed in the processes of aluminum metallurgy; aluminum powder; gas cleaning waste; ash; sludge; scrap and waste of aluminum and its alloys (piece); aluminum semi-finished products and rolled products, which are not suitable for their intended use or unfitted; rolled aluminum scrap; aluminum, aluminum alloys and rolled aluminum, contaminated with radionuclides and (or) harmful (dangerous) substances, etc.. Another option for the classification of aluminum production waste is the data of the State Statistics Service of Ukraine in non-

metal–metal coordinates. Thus, the researcher [9] divides the actual generation of aluminum waste into two groups: waste in the form of a metal – nonmetal mixture and metal waste.

The paper [10] is devoted to the problems of disposal and recycling of end-of-life aircrafts and their components. Thus, the disposal of a medium-class aircraft gives relative to its total weight, 60...70% of aluminum and its alloys, 10...15% of steel, 10% of composite materials and precious metals, including titanium. Peculiarities of proper handling of end-of-life aviation vehicles as well as environmental and economic problems related to the disposal and recycling of aircrafts, their components and aggregates were considered. An analysis of existing methods and technologies aimed at rational handling of used aviation equipment was carried out.

Opportunities for more complete utilization of aluminum scrap are associated with overcoming serious difficulties in the field of aluminum recycling, the main of which are the dispersion of waste and the difficulty of separating aluminum from the rest of the scrap of bodies, cars, household appliances, etc. [11].

In general, waste management operations of industrial enterprises involve the main following components, which can be identified as separate business processes: waste storage, waste transportation, waste processing, waste utilization, and waste disposal [12]. The researchers state that solving economic and environmental problems in terms of waste at industrial enterprises should, first of all, begin with the creation of a waste management system [13; 14].

The reduction of wastes generation, as well as their use as secondary resources, is of key priorities for the implementation of a circular economy. Production and consumption wastes suitable for recycling are secondary production resources. Focus on waste-free production in many technological processes allows to obtain by-products from production waste, the realization of which can reduce costs and bring additional profits to enterprises. The author [14] is convinced that a key role in the further development of resource conservation in Ukraine belongs to regional management, which should ensure the interaction of all business entities of all forms of ownership in the direction of the formation of effective forms of waste-free production in the region.

The researchers [4] had analyzed the experience of industrial cities in Europe and the United States and assumed that the need for coordinated actions of urban economy enterprises on the principles of industrial symbiosis as a condition for ensuring circular production and the leading role of local governments as an organizer of the territory revitalization process in the environmental aspect is of particular importance.

**Presenting main material.** The normative and legal regulation of vehicle disposal processes mainly consists in fulfilling the conditions for the disposal of individual materials that make up their elements. General issues of aluminum waste management and handling in Ukraine are regulated by the following basic documents:



1) Law of Ukraine "On Waste" (1998) [15]; the loss of validity will take place on 09.07.2023, the reason – the adoption of the Law "On Waste Management" [16].

The laws mentioned above provide a key definition in the branch. Waste is any substance, material or object that was formed in the process of production or consumption, as well as goods / products that have completely or partially lost their consumer properties and have no further use in their place formation or detection and which their owner gets rid of, intends to get rid of or must get rid of by disposal or removal. The Law of Ukraine "On Waste" is not applied to economic relationships that arise in the process of collecting, harvesting and carrying out operations with scrap metal.

2) Law of Ukraine "On Environmental Protection" (1991) [17; 18].

According to the Article 48 stimulation within the system of environmental protection should be carried out by means of granting preferential terms of taxation for enterprises when implementing measures on the rational utilization of natural resources and the protection of the environment, converting to low-waste, recycling, resource- and energy-saving technologies, organizing the production and introduction of waste treatment equipment for recovery of pollutants and waste processing, devices for monitoring the environment and the sources of emission and discharge of pollutants, as well as for performing other measures directed at improving the protection of the environment.

In the process of designing, constructing, commissioning of new and modernizing operating enterprises, structures and other facilities, improving the existing and introducing new technologies and equipment, as well as in the process of operating these facilities harmful substances and waste should be trapped, recovered and rendered harmless or completely liquidated, and other requirements shall be complied with as to the protection of the environment and the health of people (Article 51).

Article 55 determines that waste enterprises should take effective measures for reducing the volumes and neutralization, recycling, safe storage or burial of industrial, domestic and other wastes. Storage and disposal of wastes should be allowed by special permits of local councils in defined areas within the range of sanitary and ecological standards by ensuring the possibility of their subsequent economic utilization and safety to the environment and the health of people.

The article 56 ("Environmental safety of transport and other mobile vehicles and installations") is of particular concern; it covers technological and operational issues concerning emissions and discharges of vehicles, but does not cover any regulations or norms for materials used in manufacturing of the transport vehicle / under utilization of the end-of-life vehicle.

3) Law of Ukraine "On Ensuring Sanitary and Epidemic Safety of the Population" (1994) [19]; the loss

of validity will take place on 01.10.2023, the reason – the adoption of the Law "On Public Health System" [20].

4) 4) Law of Ukraine "On Scrap Metal" (1999) [21].

Article 1 provides terms and definitions in the sphere of metal waste processing. Thus scrap metal – products or parts of products unsuitable for direct use, which, according to the owner's decision, have lost their operational value due to physical or moral wear and tear and contain ferrous or non-ferrous metals or their alloys, as well as metal products that have an irreparable defect, remnants of ferrous and non-ferrous metals and their alloys. The main operations with scrap metal are processing, and metallurgical treatment of scrap metal. Scrap metal processing is an activity related to bringing scrap metal by sorting or, if necessary, pressing, bagging, crushing, cutting to a state that meets the requirements of the law; extraction of the metal component from slags of metallurgical processing of ferrous and non-ferrous metals and their alloys.

The procurement of scrap metal is carried out by economic entities. Processing (provision of processing services) of scrap metal should be carried out by specialized or specialized metallurgical processing enterprises only. Metallurgical processing of scrap metal should be carried out by specialized metallurgical processing enterprises only (Article 4).

Article 9 establishes that the export of scrap metal, which was formed in military units, military institutions, military educational institutions of the Armed Forces of Ukraine and other military formations of Ukraine, is prohibited. In connection with this norm, in the near future there will be a need to dispose of a large amount of scrap metal, including aluminum and other non-ferrous metals, generated as a result of the military operations.

5) DSTU 3051-95 (GOST 30166-95) "Resource conservation. General concepts" [22].

6) DSTU 3052-95 (GOST 30167-95) "Resource conservation. Procedure for resource conservation indices establishment in the papers on goods" [23].

7) DSTU 2195-99 (GOST 17.9.0.2-99) "Nature Protection. Waste Treatment. Technical certificate of waste. Make-up, content, writing and alteration rules" [24; 25].

This State Standard establishes a definition of waste classification as the process of organizing waste data, which includes the identification of the type of waste according to its condition, composition and properties through nomenclature name, correlation with a certain process of formation and type of economic activity and assignment to any other active systems of grouping or lists (pollutants, secondary resources, toxicants, etc.), categories of substances, materials and other objects, as well as to the specified types of processing, utilization and disposal of waste. Material / material and energy balance is the ratio of quantitative (mass, volume, etc.) substances (products, substances) and energy carriers that enter the place (process) where waste is generated, and substances (products, substances) that are formed

in this place (process), this includes finished products, semi-finished products and waste. The material / material and energy balance is determined by analyzing the material (material and energy) flows and transformations in technological processes (operations) using accounting, regulatory data and so on. The other important definition in the context of processing aluminum waste is waste utilization – the use of waste as secondary material or energy resource.

8) DSTU 4462.0.01:2005 “Environment Protection. Wastes Management (Handling). Terms and concepts definitions” [26].

Waste classification is sorting of data on wastes by assigning according to certain classification features or a system of features to certain groups or lists in accordance with the established logical structure and format of submission of data on waste. Waste identification is establishing the belonging of waste to certain categories and classification groups, taking into account their origin, composition, condition, dangerous properties, as well as technological methods that ensure their disposal or removal. Standardization of waste generation is establishing of technologically determined specific indicators of waste generation per unit of production, processing of raw materials, obtaining energy, carrying out work, and providing service taking into account the material and raw material balance, as well as the norms of material consumption and work modes. Waste accounting is an activity aimed at collecting, registering, summarizing and storing information about wastes at the stage of formation and the stages of subsequent treatment.

9) DSTU 4462.0.02:2005 “Environment Protection Standards Complex in Sphere of Wastes Management (Handling). General requirements” [27].

10) DSTU 3911-99 (GOST 17.9.0.1-99) “Nature Protection. Waste Treatment. Waste Detection and Submission of the Information Data About Waste. General requirements” [28].

This standard refers to such important in production management and ecological economics terms as life cycle of production, product life cycle, material / material and energy balance, product life cycle stage etc.. The generation of waste is predicted at all stages of the life cycle of products, taking into account the subsequent generation of waste during the use of products by the consumer (operation, repair, renovation) and in the processes of waste processing, as well as during the development of emergency plans and elimination of their consequences. At the stages of research, justification of the development and the development process, the requirements of technical tasks include forecasting the formation and detection of waste in the processes of production and operation (consumption) of products, diversion or minimization of waste generation, the possibility of processing waste that is generated as a result of the loss of consumer properties by products. During the implementation of scientific research works, the possibilities of use of available wastes instead of primary raw materials

in the production of developed products are investigated. With the help of the material and energy balance and other methods of evaluating the processes of production and consumption of the developed products, the generation of waste is predicted and preliminary certification of each type of waste, entering predicted or experimentally obtained data is carried out. It should be noted that replacement of primary aluminum by the secondary one is of particular importance and is needed to be applied not for research only, but the whole industry.

11) DSTU 4462.3.01:2006 “Environment Protection. Waste Management (Handling). Order of operations realization” [29].

The final stage of primary wastes accounting is their certification. It covers the consistent collection, summarization and storage of information about each specific type of waste, its origin, technical, physico-chemical, technological, ecological, sanitary, economic and other indicators, methods of measurement and control, as well as technologies for disposal, processing, recycling or removal. Based on the results of certification, waste passports are drawn. Waste is collected by removing it from the places (objects) of generation, sorting (if necessary) according to specified characteristics into homogeneous components as well as storing it in specialized places (objects) to ensure processing, processing, utilization or removal.

13) DSP 201-97 “State sanitary standards for the protection of atmospheric air of populated areas (from pollution by chemical and biological substances)” [30].

The maximum permissible concentrations (one-time, daily average) are set with an indication of the danger class for such aluminum-based compounds as aluminum-potassium alum (potassium-aluminum sulfate), aluminum-ammonium alum (ammonium-aluminum sulfate), aluminum nitrate, aluminum oxide, aluminum sulfate, aluminum chloride, ammonium-aluminum sulfate, potassium-aluminum sulfate, and aluminum fluoride.

14) DSanPiN 2.2.7.029-99 “Hygienic Requirements of Industrial Waste Management and Definition of their Class of Hazard to Health of Population”. [31].

Accumulation and storage of industrial waste at the company's sites is allowed when using waste in the next technological cycle for the purpose of disposal. All industrial wastes, for which methods of secondary processing and their rational use in the public sector have been developed economically, are to be used as secondary raw materials and should not be taken to landfills.

15) DK 005-96 “Waste Classifier” [9].

The Waste Classifier provides informational support in solving a wide range of issues of state waste management and resource use based on the accounting and reporting system, harmonized with international systems, in particular, in the industry ecology, protection of life and health of the population, labor safety, resource conservation, structural restructuring of the economy, certification products (services) and quality systems. What is especially important, that in the highlight of

European integration course of Ukraine, the use of a waste classifier creates a regulatory framework for conducting comparative analysis of the structure and volume of waste generation of all types of economic activity within the limits of European statistics, including European production statistics, as well as comparative analysis of waste-related services at the inter-sectoral, state and interstate levels.

In the context of aluminum and aluminum alloys utilization, the main groups consist of waste from the basic metals production, waste from the production of metal component products, waste from the production of machinery and equipment, waste from productions of machines and electrical apparatus. Metals production output includes waste generated in the process of metal production, including waste from the production of precious and non-ferrous metals, waste from foundry processes; services specialized in the treatment of waste from the production of precious and non-ferrous metals, which are provided for place of waste generation; services specialized in handling process of waste foundries, which are provided at the place of waste generation, etc. To machinery and equipment production waste belong such classification groups as waste from the production of machines and equipment for general machine-building purposes, agricultural machines and machines for forestry, specialized machines and equipment; waste from the production of military equipment and ammunition; household appliance production waste; services specialized in waste management production of machines and equipment, which are provided at the place of waste generation, etc.

The main classification groups of aluminum scrap and wastes are waste from the production of aluminum, aluminum alloys and rolled aluminum; production and technological waste of aluminum, aluminum alloys and rolled aluminum; scrap and waste of aluminum and aluminum alloys in pieces, formed from the production processes of rolled aluminum (aluminum semi-finished products); semi-finished products of own production of aluminum, aluminum alloys and rolled aluminum or the remains of unfinished production of aluminum, aluminum alloys and rolled aluminum, not suitable for intended use; substandard casting of non-ferrous metals; waste of the final products of the production of aluminum, aluminum alloys and rolled aluminum; rolled aluminum substandard, scrap rolled aluminum; rolled products made of aluminum alloys that are damaged, contaminated or unidentified and cannot be used for their intended purpose; products pressed from aluminum alloys that are damaged, contaminated or unidentified and cannot be used for their intended purpose; products stamped from aluminum alloys that are damaged, contaminated or unidentified and cannot be used for their intended purpose; shavings of aluminum alloys; cuttings of semi-finished products from aluminum alloys; scrap and waste of aluminum and its alloys (e.g. scrap of gliders, airplanes, helicopters).

Special attention is paid to waste from manufacturing vehicles. Thus, group 34 includes waste generated in the process of production of cars, trailers and semi-trailers. This activity is classified into waste from the production of cars, trailers and semi-trailers, as well as services specialized in the management of waste from the production of cars, trailers and semi-trailers, which are provided by the place of waste generation.

16) DSTU 3211:2009 "Non-ferrous metals and alloys and waste. General specifications" [32].

This standard is applied to scrap and waste of non-ferrous metals and alloys intended for further mechanical and metallurgical processing. Scrap and waste, which are delivered to the enterprise or shipped from the enterprise, are necessarily subjected to radiation control, testing for explosiveness, and control of contamination with harmful chemical substances. Each vehicle with scrap metal should be accompanied by a document on radiation and explosion safety. Deactivation of scrap and waste contaminated with radioactive substances is carried out by specialized enterprises that have licenses to carry out these works, on the basis of contracts (agreements) with enterprises that perform operations with scrap metal. Scrap and waste generated at enterprises that use radioactive substances in the production process, as well as vehicles in which such scrap metal is transported, must undergo decontamination and be accompanied by decontamination documents.

When carrying out work with scrap and waste of non-ferrous metals and alloys, to which aluminum and its alloys belong, it is necessary to take into account: the nature of the impact on the human body of harmful substances that are released and formed in the process of collecting and processing scrap and waste of non-ferrous metals and alloys, the class of danger and the maximum permissible concentrations of harmful substances in the air of the working area and in drinking water.

Indicators of the microclimate and the permissible content of harmful substances in working zone air must meet the general sanitary and hygienic requirements for working zone air". Requirements regarding the permissible content of harmful substances of the working zone air should be applied to workplaces regardless of their location (in production facilities, on open sites, vehicles, etc.). Dust of aluminum and its alloys (hazard class III, maximum permissible concentration in the air of the working area – 2 mg/m<sup>3</sup>, maximum permissible concentration of harmful substances in drinking water – 0.5 mg/dm<sup>3</sup>) causes irritation of the mucous membrane of the eyes, nose, mouth, lung damage.

When working with scrap metal and waste of non-ferrous metals and alloys, it is necessary to take into account the explosive properties of some types of waste of non-ferrous metals and alloys, as well as the explosiveness of foreign substances / explosive objects that may accidentally fall into the scrap metal during its collection and preparation. Thus, aluminum dust has a self-ignition temperature of 470°C; the lower con-

centration limit of flame spread is 10 g/m<sup>3</sup> (dry sand, alumina, magnesite powder are effective extinguishing agents). Unloading and checking for explosion safety of aluminum scrap and waste received at the enterprise, as well as removal of explosive objects from them (except undamaged ammunition) must be carried out under the guidance of a pyrotechnician or a controller of scrap and waste of non-ferrous metals who have undergone special training and have the appropriate certification. Atmospheric air protection and control of the content of harmful substances formed during work with scrap metal must be carried out. Wastewater generated during work with scrap metal must be cleaned and removed. Soil protection against contamination by industrial waste must be carried out.

Temporary storage, transportation, disposal and disposal of industrial waste generated during work with scrap metal must be carried out in accordance with the requirements of DSANPiN 2.2.7.029. Scrap and waste should be transported by any mode of transport in accordance with the rules applicable to each mode of transport. Military equipment scrap and aircraft scrap are transported and stored separately from other scrap. Powdered waste of aluminum and its alloys is transported in rubber-cord or metal containers, by agreement of the parties – in semi-trailers. Scrap and waste of non-ferrous metals and alloys subject to primary processing are stored separately by type in accordance with the established classification in boxes, bunkers, compartments and on specially equipped platforms with a hard surface, which makes it impossible for scrap and waste to clog.

In addition to the national normative base of Ukraine it is essential that the role of international organizations (such as United Nations Conference on Environment

and Development UNCED, United Nations Conference on Trade and Development UNCTAD, Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, United Nations Environment Program UNEP) in waste management is nowadays changing and strengthening [33]. In the EU solid waste has been at the center of the environmental policy initiatives for many years to reduce negative effects of inappropriate waste management and to ensure more sustainable use of resources [34]. At the current stage, the EU has a policy of 95% disposal of old cars [8]. Nevertheless the way of implementation regulation for end-of-life vehicles had and continues to have a plenty of challenges as well. For instance, the Directive 2000/53/EC [35] on end-of life vehicles requires obligatory collecting, treatment and recovering (which causes 90% recycling of end-of-life aluminum [36]), having no focus on the quality of the materials. This causes the need for development of additional legislation and regulation, and / or the adoption of appropriate technological decisions (in particular, regarding the classification and sorting of scrap, metallurgical processing stages), which indicates the prospects for further research.

**Main conclusions.** As the analysis showed, there is no separate normative document in Ukraine that regulates the process of disposal of products made of aluminum alloys from end-of-life vehicles; a similar situation is typical for other branches of industry, in particular, aerospace [7]. There is also no separate state law relating to auto-recycling as a whole: basic laws (On Waste, On Waste Management, On Environmental Protection) are supplemented by regulatory documents relating to resource conservation, nature protection, hygienic and sanitary requirements only.

### References

1. Cars on a diet: the material and energy impacts of passenger vehicle weight reduction in the U.S. DSpace@MIT: a digital repository. URL: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/62760> (Last accessed: 30.01.2023).
2. Sato F.E.K., Nakata T. Analysis of the impact of vehicle lightweighting on recycling benefits considering life cycle energy reductions. *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 164. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105118
3. FACTBOX – Some facts about aluminium and steel in cars. *REUTERS*. URL: <https://www.reuters.com/article/idINIndia-51665120100922> (Last accessed: 30.01.2023).
4. Melnykova M., Boichenko M., Ragulina N., Kocheshkova I. The Task of “recycling-revitalization” as a Priority of Sustainable Development of Ukrainian Industrial Cities. *European Journal of Sustainable Development*. 2022. No. 11 (1). P. 212–229. DOI: 10.14207/ejsd.2022.v11n1p212
5. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони / Верховна Рада України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text) (Last accessed: 30.01.2023).
6. Директива Європейського Парламенту і Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року про відходи та про скасування деяких директив / Верховна Рада України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_029-08#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text) (Last accessed: 30.01.2023).
7. Макаренко Д.М. Утилізація компонентів летальних апаратів: аналіз нормативно-технічної бази забезпечення якості. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 3/2 (23). С. 27–31.
8. Гнатюш В.А. Світові тенденції ринку вторинної переробки відходів та брухту алюмінієвих сплавів. *Процеси луття*. 2020. № 3. С. 56–69.
9. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96 (Розділи А.21–А.30) / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va089217-96#Text> (Last accessed: 30.01.2023).
10. Бойченко С.В., Іванченко О.В., Яковлева А.В. Рециклінг і утилізація авіаційної техніки: світові тенденції та особливості впровадження. *Науковий технологічний журнал*. 2017. № 2 (34). С. 140–149.
11. Лавринюк З.В. Управління та поводження з відходами. Конспект лекцій для здобувачів освіти освітнього рівня бакалавр, спеціальності 101 Екологія, освітньо-професійної програми «Екологія». Луцьк: «Вежа Друку», 2022. 74 с. URL: <https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/21236/1/upravl.pdf> (Last accessed: 30.01.2023).

12. Грицишен Д.О. Система поводження з відходами на промислових підприємствах. *Глобальні проблеми економіки та фінансів* : збірник тез наукових робіт II Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ – Прага – Відень, 28 травня 2015 р.). Київ : ТОВ «Фінансова Рада України», 2015. С. 21–24.
13. Грицишен Д.О. Розробка аналітичного забезпечення управління системою поводження з відходами. *Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу*. 2015. Вип. 2 (32). С 106–125.
14. Потапова Н.М. Еколого-економічні аспекти регіональної організації безвідходного виробництва в Україні. *Reporter of the Priazovsky State Technical University*. 2018. Issue 36. С. 273–276. URL: [http://journals.uran.ua/ves\\_pstu/article/view/169653](http://journals.uran.ua/ves_pstu/article/view/169653) (Last accessed: 30.01.2023).
15. Закон України «Про відходи» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр#Text> (Last accessed: 30.01.2023).
16. Закон України «Про управління відходами» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (Last accessed: 30.01.2023).
17. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (Last accessed: 30.01.2023).
18. Law of Ukraine “On Environmental Protection”. URL: [https://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Ukraine/UA\\_Law\\_Environmental\\_Protection.pdf](https://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Ukraine/UA_Law_Environmental_Protection.pdf) (Last accessed: 30.01.2023).
19. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text> (Last accessed: 30.01.2023).
20. Закон України «Про систему громадського здоров'я» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#Text> (Last accessed: 30.01.2023).
21. Закон України «Про металобрухт» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/619-14#Text> (Last accessed: 30.01.2023).
22. ДСТУ 3051-95. Ресурсозбереження. Основні положення. Київ, 1996. 15 с. ГОСТ 30166-95.
23. ДСТУ 3052-95. Ресурсозбереження. Порядок встановлення показників ресурсозбереження у документації на продукцію. Київ, 1996. 61 с. ГОСТ 30167-95.
24. ДСТУ 2195-99. Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу. Склад, вміст, виклад і правила внесення змін. Київ, 2000. 19 с. ГОСТ 17.9.0.2-99.
25. Строкаль В.П. Екологічна паспортизація об'єктів господарювання за типами природокористування: теоретичне обґрунтування. Вісник ХНАУ. 2015. № 2. С. 247–256.
26. ДСТУ 4462.0.01:2005. Охорона природи. Поводження з відходами. Терміни та визначення понять. Київ, 2007. 20 с.
27. ДСТУ 4462.0.02:2005. Охорона природи. Комплекс стандартів у сфері поводження з відходами. Київ, 2007. 10 с.
28. ДСТУ 3911-99. Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Загальні вимоги. Київ, 2000. 21 с. ГОСТ 17.9.0.1-99.
29. ДСТУ 4462.3.01:2006. Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок здійснення операцій. Київ, 2008. 27 с.
30. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) (ДСП-201-97) / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97> (Last accessed: 30.01.2023).
31. ДСанПін 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0029588-99#Text> (Last accessed: 30.01.2023).
32. ДСТУ 3211:2009. Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні технічні умови. Київ, 2011. 76 с.
33. Marchenko V., Milovic N., Hrechko A., Korohodova O., Dergaliuk B., Elrabaya D. Impact of Migration Processes on Changes in the Volume and Redistribution of Municipal Waste in European Countries: proceedings of IEEE Third International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) (Kyiv, October 04–07). Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9922917> (Last accessed: 30.01.2023).
34. Mathieux F., Brissaud D. End-of-life product-specific material flow analysis. Application to aluminum coming from end-of-life commercial vehicles in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022. No. 55 (2). P. 92–105.
35. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council on end-of life vehicles. EUR-Lex: an official website of the European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000L0053> (Last accessed: 30.01.2023).
36. Circular Aluminium Action Plan. A strategy for achieving aluminium's full potential for circular economy by 2030. *European Aluminium*. URL: <https://european-aluminium.eu/media/2903/european-aluminium-circular-aluminium-action-plan.pdf> (Last accessed: 30.01.2023).

## ПІДСУМКИ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ДЕРЕВНОЇ РОСЛИННОСТІ КОЛЕКЦІЙНО-ЕКСПОЗИЦІЙНОЇ ДІЛЯНКИ «ФРУТИЦЕТУМ» ДЕНДРОЛОГІЧНОГО ПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ»

Бойко Н.С., Калашнікова Л.В., Солошенко В.С., Дорошенко Ю.В.

Державний дендрологічний парк «Олександрія»

Національної академії наук України

09113, м. Біла Церква

[index\\_bc@ukr.net](mailto:index_bc@ukr.net); [kalashnikovaluda@gmail.com](mailto:kalashnikovaluda@gmail.com)

У статті наведено результати інвентаризаційних досліджень таксономічного складу деревних рослин колекційно-експозиційної ділянки «Фрутицетум» дендрологічного парку «Олександрія», яка формувалася від заснування до сьогодення (1950–2022 рр.) на площі 1,2 га у Центральній частині дендропарку біля адміністративної будівлі. Основним принципом створення і формування рослинних композицій ділянки був філогенетичний (систематичний) принцип за методом родових комплексів Ф.М. Русанова, за яким сформовано родові комплекси інтродукованих видів *Crataegus* L., *Philadelphus* L., *Spiraea* L., *Berberis* L., *Lonicera* L., *Syringa* L. та ін.

Упродовж формування колекції періодично наводилися відомості про флористичний склад деревної рослинності у списках рослин, наукових звітах, каталогах деревних рослин дендропарку, які значно відрізнялися за кількістю таксонів: 469 (1975 р.), 266 (1983 р.), 397 (1985 р.), 327 (2008 р.), 255 (2013 р.). За останніми дослідженнями (2018–2022 рр.) дендроколекція ділянки нараховує 271 таксон, які є представниками 72 родів з 27 родин, що складає 17,5% від загальної кількості (1548 таксонів) колекційного фонду деревних рослин дендропарку «Олександрія». Загальна кількість деревних рослин ділянки «Фрутицетум» нараховує 1000 екз. Значна частина таксонів (256) відноситься до відділу Magnoliophyta, які є представниками 64 родів з 25 родин. Відділ Pinophyta представлено 15 таксонами, які належать до 8 родів з 2 родин (Cupressaceae – 10, Pinaceae – 5 таксонів), загальна кількість їх становить 44 рослини, що складає 4,4% від загальної кількості деревних рослин ділянки. Провідні місця за кількістю таксонів займають 7 родин: Rosaceae (78 таксонів), Hydrangeaceae (54), Oleaceae (23), Berberidaceae (18), Leguminosae (17), Caprifoliaceae (15), Cupressaceae (10). Найчисельнішими є родові комплекси видів *Philadelphus*, *Crataegus*, *Berberis*, *Syringa*, *Spiraea*, *Lonicera* L., *Gleditsia* L., *Deutzia* Thunb. За життєвою формою переважають чагарники, відсоток яких складає 67,2%, дерев – 31,4%. За віком переважають середньовікові рослини (94,5%), більшість рослин (70,4%) мають задовільний життєвий стан. До раритетної фракції з них залучено 37 видів, або 13,7% рослин колекційної ділянки «Фрутицетум».

*Ключові слова:* інвентаризація, таксономічний склад, деревні рослини, колекційно-експозиційна ділянка.

### Results of the inventory of tree vegetation of the “Fruticetum” collection and exhibition area of the dendrological park “Olexandria”. Boyko N., Kalashnikova L., Soloshenko V., Doroshenko Yu.

The article presents the results of inventory studies of the taxonomic composition of woody plants of the “Fruticetum” collection and exposition site of the dendrological park “Olexandria”, formed from the foundation of the park to the present day (1950–2022), occupying 1.2 hectares in the Central part of the dendrological park near the administrative building. The main principle of creation and formation of plant compositions was the phylogenetic (systematic) principle following the method of Rusanov’s generic complex, according to which the generic complexes of introduced species *Crataegus* L., *Philadelphus* L., *Spiraea* L., *Berberis* L., *Lonicera* L., *Syringa* L., etc. were formed.

During the collection’s formation, data on the floral composition of woody vegetation were periodically provided in plant lists, scientific reports, park’s tree plant catalogues, which differed significantly in terms of the number of taxa: 469 (1975), 266 (1983), 397 (1985), 327 (2008), 255 (2013). According to the latest research (2018–2022), the collection of the site includes 271 taxa, which are representatives of 72 genera from 27 families, making 17.5% of the total number (1548 taxa) of woody plants’ collection of the dendrological park “Olexandria”. The total number of woody plants of the “Fruticetum” is 1000 pieces. A significant part of the taxa (256) belongs to the Magnoliophyta division, representing 64 genera from 25 families. The Pinophyta division is represented by 15 taxa belonging to 8 genera from 2 families (10 taxa of Cupressaceae, 5 taxa of Pinaceae), their total number is 44 plants, which is 4.4% of the total number of woody plants of the site. 7 families are leading in the number of taxa: Rosaceae (78 taxa), Hydrangeaceae (54), Oleaceae (23), Berberidaceae (18), Leguminosae (17), Caprifoliaceae (15), Cupressaceae (10). The genera complexes of the species *Philadelphus*, *Crataegus*, *Berberis*, *Syringa*, *Spiraea*, *Lonicera* L., *Gleditsia* L. and *Deutzia* Thunb. are the most numerous. The dominating life form is shrubs (67.2%), and trees make up 31.4%. Middle-age plants predominate in age (94.5%), and most plants (70.4%) have a satisfactory life state. Among them, 37 species, or 13.7% of the plants of the “Fruticetum” collection site, are included in the rare fraction. *Key words:* inventory, taxonomic composition, woody plants, collection and exposition.

**Постановка проблеми.** Одним з основних напрямків ботанічних садів та дендропарків є збереження та поповнення ресурсів декоративних рослин за рахунок введення їх в культуру та вирощування перспективних з них для використання в зелених насадженнях.

**Актуальність досліджень.** Для популяризації інтродукованих декоративних рослин особливу цінність відіграють їх колекції, формування яких відбувається за систематичним, екологічним та художньо-декоративним принципами. Першочерговим кроком для вирішення цих задач є інвентаризація, яка має наукові та прикладні цілі для обліку та збагачення колекцій, які використовуються для вивчення біологічних та екологічних особливостей видів перспективних для розвитку зеленого будівництва [1].

**Зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** Колекційно-експозиційні ділянки ботанічних садів та дендропарків створювалися і формувалися відповідно до цільового призначення за критеріями, які багато дослідників вважають головними для створення колекційно-експозиційних ділянок: розмаїття видового, формового і сортового складу інтродукованих декоративних рослин; демонстрування колекцій рослин та влаштування нових експозицій з метою популяризації їх декоративних якостей для використання в озелененні та формуванні ландшафтних композицій; можливості вільного доступу фахівців та відвідувачів до огляду рослинних колекцій. Колекції формуються за філогенетичним (систематичним) принципом, в яких близькі систематичні одиниці займають подібні екологічні ніші, мають багато спільного в габітусі, формі крони, фактурі листя, кори, галуженні пагонів та ін. Всі ці ознаки підкреслюють і посилюють їх декоративні якості і створюють художню єдність [1; 2]. Упродовж формування колекційно-експозиційної ділянки «Фрутіцетум» з 1950 р. по 2012 р. періодично наводилися данні флористичного складу деревної рослинності у списках рослин, наукових звітах, каталогах деревних рослин дендропарку, але вони значно відрізнялися за кількістю таксонів [3; 4; 5; 7; 14].

**Метою досліджень** було проведення чергової інвентаризації (2018–2022 рр.) колекційно-експозиційної ділянки «Фрутіцетум» і з'ясування таксономічного та кількісного складу, визначення співвідношення життєвих форм, життєвого стану та соціологічної складової деревних рослин.

**Методи.** Об'єктом дослідження був процес формування колекції ділянки «Фрутіцетум» від заснування до сьогодення. Таксономічний склад дерев та чагарників з'ясовували методом маршрутних обстежень. Назви видів рослин наведено відповідно до поточних рекомендацій [www.ThePlantList2021](http://www.ThePlantList2021) [6], рік інтродукції – каталогом деревних рослин дендропарку «Олександрія» (2013) [14], життєву форму – за І. Г. Серебряковим [8], життєвий стан – окомірним методом, зимостійкість оцінювали за шкалою С. Я. Соколова, посухостійкість – шкалою

С.С. П'ятницького [9]; соціологічний статус надано за міжнародними, державним та регіональним зведеннями: IUCN Red list version (2016.2) [10]; Bilz M., Kell S., Maxted N., Lansdown R. European Red list of vascular plants [11]; Червоною книгою України [12]; Офіційним переліком регіонально рідкісних рослин Київської обл. [13].

**Виклад основного матеріалу.** Колекційно-експозиційна ділянка гарноквітучих чагарників «Фрутіцетум» закладалась на початку 50-х років ХХ століття на площі 1,2 га у Центральній частині дендропарку біля адміністративної будівлі. Основним принципом створення і формування рослинних композицій ділянки був філогенетичний (систематичний) принцип за методом родових комплексів Ф.М. Русанова, за яким сформовано родові комплекси інтродукованих видів *Crataegus* L., *Philadelphus* L., *Spiraea* L., *Berberis* L., *Lonicera* L., *Syringa* L. та ін. [9].

За період формування колекції «Фрутіцетуму» у наукових звітах співробітників наводилися різні відомості за кількістю таксонів флористичного складу деревної рослинності. Так у списку С.І. Галкіна за 1975 р. наведено 469 видів, гібридів, культиварів в кількості 2027 екземплярів. Найрепрезентативніше представлено роди: *Spiraea* – 30 таксонів (29 видів і 1 культивар); *Crataegus* – 22 таксони (21 вид, 1 культивар); *Philadelphus* – 35 таксонів (21 вид, 14 культиварів); *Berberis* – 21 таксон (20 видів, 1 культивар); *Lonicera* – 18 таксонів (17 видів, 1 культивар); *Cotoneaster* Ehrh. – 14 видів; *Padus* Koehne – 13 таксонів (9 видів, 4 культивари); *Deutzia* Thunb. – 13 таксонів (11 видів; 2 культивари); *Ribes* L. – 13 таксонів (13 видів, 2 культивари); *Acer* L. – 14 таксонів (12 видів і 2 культивари); *Sorbus* L. – 11 таксонів (10 видів, 1 культивар); *Weigela* Thunb. – 10 таксонів (7 видів, 3 культивари); *Hydrangea* L. – 7 видів; *Viburnum* L. – 7 таксонів (6 видів, 1 культивар); *Amelanchier* Med. – 6 видів; *Euonymus* L. – 5 видів та ін. Голонасінні представлено 14 таксонами 2 родів: *Juniperus* L. 7 таксонів (6 видів 1 культивар) і *Thuja* L. 7 таксонів (1 вид, 6 культиварів) [3].

Згідно з даними звіту С.І. Галкіна за 1979–1983 рр. колекцію було поповнено 92 новими таксонами і, на 1983 р., вона нараховувала 561 таксон кількістю 2409 рослин [4]. У цьому ж звіті Г. В. Кляшторною наводиться таксономічний склад деревних рослин «Фрутіцетуму», який становив 266 таксонів, з них рід *Crataegus* нараховував 23 таксони (21 вид, 1 вар., 1 культивар); *Philadelphus* – 24 таксони (17 видів, 7 культиварів); *Spiraea* – 16 видів; *Berberis* – 12 таксонів (11 видів і 1 культивар); *Lonicera* – 10 таксонів (7 видів і 3 культивари); *Syringa* – 18 таксонів (3 види і 15 культиварів); *Weigela* – 6 видів [4].

В звіті М.І. Гузя за 1985 р. зазначено, що «за результатами ще одного в-изначення видового складу деревних рослин ділянки «Фрутіцетум», встановлено видовий склад у кількості 397 видів,

які належать до 80 родів і 36 родин. З них 98 таксонів наводяться як натуральні гібриди, а складними для визначення – види родів: жимолость, глід, клен та ін.» [5, стор. 6].

За результатами інвентаризації дендрофлори 2003-2007 рр., які наведено у «Каталозі деревних рослин дендрологічного парку «Олександрія» НАН України за 2008 р. [13], систематичний склад деревних рослин дендропарку складав 999 таксонів, з них колекція ділянки «Фрутіцетум» нараховувала 327 таксонів, що складало 32,7%, тобто третину від дендроколекції парку. Найвища таксономічна насиченість залишилася за родами: *Philadelphus* – 30 таксонів (23 види і гібриди, 7 культиварів); *Berberis* – 14 таксонів (13 видів, 1 культивар); *Crataegus* – 29 таксонів (26 видів, 1 варіація і 2 культивари); *Spiraea* – 20 видів і гібридів; *Syringa* – 16 таксонів (3 види і 13 культиварів); *Caragana* Lam. – 14 видів; *Chamaecytisus* Link. – 10 видів; *Genista* L. – 13 таксонів (12 видів, 1 підвид); *Deutzia* – 11 таксонів (10 видів, 1 культивар); *Gleditsia* L. – 10 таксонів (8 видів, 2 культивари); *Lonicera* – 14 таксонів (8 видів, 6 культиварів). Значно скоротилися за видовим складом такі родові комплекси: *Acer* наводиться 4 таксони (2 види, 1 підвид, 1 культивар), *Cotoneaster* – 6 видів, *Padus* – 7 видів, *Ribes* – 5 видів, *Sorbus* – 7 таксонів (5 видів, 1 гібрид, 1 культивар), *Weigela* – 6 таксонів (5 видів, 1 гібрид). Голонасінні представлено 18 таксонами родів: *Abies* Mill. (1 вид), *Chamaecyparis* Spach. (1 культивар), *Juniperus* (3 види, 3 культивари), *Thuja* (6 культиварів), *Picea* Dietr. (2 види), *Larix* Mill. (1 вид), *Tsuga* Carr. (1 вид).

За каталогом 2013 р. колекційний фонд деревних рослин дендропарку нараховував 1218 таксонів, а ділянки «Фрутіцетум» – 255 (20,9%) тобто колекція скоротилася на 10% [14]. Кількість таксонів провідних родів наведено наступним чином:

*Crataegus* – 27 таксонів (23 види, 2 вар., 2 культивари); *Spiraea* – 24 таксони (22 види і гібриди, 2 культивари); *Philadelphus* – 26 таксонів (15 видів і гібридів, 11 культиварів), *Syringa* – 16 таксонів (3 види і 13 культиварів); *Caragana* – 13 видів; *Berberis* – 11 таксонів (10 видів, 1 культивар); *Deutzia* – 10 таксонів (9 видів і гібридів, 1 культивар); *Lonicera* – 11 таксонів (5 видів і гібридів, 6 культиварів); *Gleditsia* – 9 таксонів; *Weigela* – 5 видів; *Colutea* L. (6 видів і гібридів), *Sorbus* – 8 таксонів (7 видів, 1 культивар); *Cotoneaster* – 4 види, *Ribes* – 5 видів та ін. Колекція втратила види родів: *Acer*, *Chamaecytisus*, різко скоротилися роди: *Amorpha* L. (4 види), *Cotoneaster* (4 види), *Ribes* (5 видів) та ін. Голонасінні представлено 12 таксонами.

За підсумками інвентаризації 2018–2022 рр. колекційний фонд дендроколекції дендропарку нараховує 1548 таксонів, а колекція «Фрутіцетуму» представлена 271 таксоном, що складає 17,5% від генофонду деревних рослин. Кількість деревних рослин на ділянці становить 1000 екз.

Рослини відділу Pinophyta представлено 15 таксонами, які належать до 8 родів з 2 родин (Cupressaceae – 10, Pinaceae – 5 таксонів), загальна кількість їх становить 44 рослини, що складає 4,4% від загальної кількості деревних рослин ділянки.

Панівним за кількістю таксонів є відділ Magnoliophyta, який нараховує 256 (95,6%) таксонів, що належать до 64 родів з 25 родин. Провідні місця займають 7 родин: Rosaceae (78 таксонів), Hydrangeaceae (54), Oleaceae (23), Berberidaceae (18), Leguminosae (17), Caprifoliaceae (15), Cupressaceae (10). Найвища видова насиченість залишається за родами: *Philadelphus*, *Crataegus*, *Berberis*, *Syringa*, *Spiraea*, *Lonicera*, *Gleditsia*, *Deutzia*. Види родів: *Chamaecytisus*, *Genista*, *Weigela* в колекції не збереглися (табл. 1).

Таблиця 1

**Таксономічний склад дендрофлори колекційно-експозиційної ділянки «Фрутіцетум» дендропарку «Олександрія» 2022 р.**

№ з/п	Назва таксону	Рік інтродукції	Кількість шт.	Стадія онтогенезу онтогенезу	Життєва форма	Зимостійкість	Посухостійкість	Життєвий стан	Висота, м
Cupressaceae									
1	<i>Chamaecyparis pisifera</i> (Sieb. et Zucc.) Endl. [МСОП]	1970	1	+	д	I	4	задов.	10,0
2	<i>Juniperus sabina</i> L. [МСОП]	1964	1	вег	ч	I	4	незад.	0,9
3	<i>Juniperus sabina</i> L. 'Erecta'	1956	1	пл	ч	I	5	задов.	1,2
4	<i>Juniperus semiglobosa</i> Regel [МСОП]	1961	3	пл	ч	I	5	задов.	7,0
5	<i>Juniperus virginiana</i> L.	1958 1981	10 1	пл вег	д	I	4	задов.	4-7,0 12,0



Продовження таблиці 1

6	<i>Thuja occidentalis</i> L. [МСОП]	1970	1	пл	д	I	4	задов.	8,0
7	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Aurescens'	1965 1981	2 2	пл	д	I	4	задов.	15,0 4,0-5,5
8	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Columna'	1965	3	пл	д	I	5	задов.	12,0
9	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Fastigiata'	1980	1	пл	д	I	5	задов.	8,0
10	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Filiformis'	1963	3	вег	д	I	3	задов.	3,5
Pinaceae									
11	<i>Abies concolor</i> (Gordon) Lindl. ex Hildebr. [МСОП]	2000	10	пл	д	I	4	задов.	3,5-4,0
12	<i>Larix decidua</i> Mill. [МСОП]	1958	1	пл	д	I	4	задов.	22,0
13	<i>Picea orientalis</i> (L.) Peterm. [МСОП]	2002	1	пл	д	I	4	задов.	3,0
14	<i>Pinus densiflora</i> Sieb. & Zucc. [МСОП]	2017	2	-	д	I	4	задов.	0,7
15	<i>Tsuga canadensis</i> (L.) Carriere [МСОП]	1999	1	пл	д	I	4	задов.	2,5
Adoxaceae									
16	<i>Sambucus nigra</i> L.	1964	3	пл	ч	I	5	гарн	4,0
17	<i>Viburnum cotinifolium</i> D. Don	1960	1	пл	ч	I	5	гарн	4,0
18	<i>Viburnum lantana</i> L.	прир.	2	пл	ч	I	5	гарн	4,0
19	<i>Viburnum lentago</i> L.	1958	2	пл	ч	I	3	задов.	5,0
20	<i>Viburnum opulus</i> L. [ЄЧС]	1960	3	пл	ч	I	4	задов.	3,5
21	<i>Viburnum sargentii</i> Koehne	1961	6	пл	ч	I	5	гарн.	5,0
22	<i>Viburnum trilobum</i> Marshall	1960	1	пл	ч	I	5	задов.	7,0
Araliaceae									
23	<i>Hedera helix</i> L.	1956	к	вег	л	I	4	гарн	-
24	<i>Acanthopanax sessiliflorum</i> (Rupr. et Maxim.) Seem.	1964	1	пл	ч	I	4	задов.	2,5
Aristolochiaceae									
25	<i>Aristolochia manshuriensis</i> Kom.	1958	1	пл	л	II	4	задов.	14,0
Berberidaceae									
26	<i>Berberis ahrendtii</i> R.R. Rao & Uniyal	1968	1	пл	ч	I	5	задов.	3,0
27	<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	1961	6	пл	ч	I	5	задов.	3,0-4,0
28	<i>Berberis aristata</i> DC.	1964	1	пл	ч	I	5	задов.	3,0
29	<i>Berberis asiatica</i> Roxb. ex DC.	1968	1	пл	ч	I	5	задов.	3,0
30	<i>Berberis canadensis</i> Mill.	1959	4	пл	ч	I	5	задов.	2,5-4,0
31	<i>Berberis heteropoda</i> Schrenk	1968	1	пл	ч	I	5	задов.	4,0
32	<i>Berberis iliensis</i> Popov	1964	1	пл	ч	I	5	задов.	2,0
33	<i>Berberis integerrima</i> Bunge	1962	3	пл	ч	I	5	задов.	3,0
34	<i>Berberis koreana</i> Palib.	1964	1	пл	ч	I	5	задов.	2,0
35	<i>Berberis lyceum</i> Royle	1968	1	пл	ч	I	5	задов.	1,7
36	<i>Berberis reticulata</i> Bijhouwer.	1968	2	пл	ч	I	5	задов.	2,5
37	<i>Berberis poiretii</i> C.K. Schneid.	1971	1	пл	ч	I	5	гарн	3,0
38	<i>Berberis silva-taroucana</i> C.K. Schneid.	1959	2	пл	ч	I	5	задов.	2,0
39	<i>Berberis thunbergii</i> DC.	1958	4	пл	ч	I	4	задов.	0,7-1,2
40	<i>Berberis turcomanica</i> Kar. ex Ledeb.	1960	1	пл	ч	I	5	задов.	1,7
41	<i>Berberis vernaе</i> C.K. Schneid.	1964	1	пл	ч	I	5	задов.	2,5
42	<i>Berberis vulgaris</i> L.	1964	1	пл	ч	I	5	задов.	2,5
43	<i>Berberis vulgaris</i> L. 'Atropurpurea'	1959	2	пл	ч	I	4	задов.	2,5-3,0
Betulaceae									
44	<i>Betula klokovii</i> Zaver. [МСОП, ЧКУ]	2006	1	пл	д	I	4	задов.	5,5
45	<i>Carpinus caroliniana</i> Walter [МСОП]	1964	4	пл	д	I	5	гарн	8,0
46	<i>Corylus avellana</i> L. [МСОП]	прир.	4	пл	ч	I	5	гарн	5,0-7,0
47	<i>Corylus avellana</i> L. 'Atropurpurea'	1980	1	пл	ч	I	5	гарн	7,0
48	<i>Corylus avellana</i> L. 'Laciniata'	1964	1	пл	ч	I	5	гарн	10,0
49	<i>Corylus colurna</i> L. [МСОП]	1964	2	пл	д	I	5	гарн	16,0

Продовження таблиці 1

Bignoniaceae										
50	<i>Catalpa ovata</i> G. Don	1958	3	пл	д	I	5	гарн	1,7-12,0	
Cannabaceae										
51	<i>Celtis bungeana</i> Blume	1964	1	пл	д	I	5	незад.	6,0	
52	<i>Celtis occidentalis</i> L.	1960	3	пл	д	I	4	задов.	6,0-24,0	
Caprifoliaceae										
53	<i>Kolkwitzia amabilis</i> Graebn. [МСОП]	1965	15	пл	ч	I	4	задов.	3,0-6,0	
54	<i>Lonicera alpigena</i> L.	1964	1	пл	ч	I	4	задов.	1,5	
55	<i>Lonicera bella</i> Zabel	1961	2	пл	ч	I	4	задов.	6,0	
56	<i>Lonicera chrysantha</i> Turcz. ex Ledeb.	1065	2	пл	ч	I	4	задов.	2,0	
57	<i>Lonicera floribunda</i> Boiss. & Buhse	1961	2	пл	ч	I	4	гарн	2,5-5,0	
58	<i>Lonicera hispida</i> Pall. ex Schult.	1971	1	пл	ч	I	4	задов.	1,6	
59	<i>Lonicera humilis</i> Kar. & Kir	1971	1	пл	ч	I	4	задов.	2,0	
60	<i>Lonicera maackii</i> (Rupr.) Maxim.	1961	4	пл	ч	I	4	задов.	1,2-5,0	
61	<i>Lonicera ruprechtiana</i> Regel	1961	7	пл	ч	I	5	гарн	1,7-3,0	
62	<i>Lonicera tatarica</i> L.	1961	19	пл	ч	I	5	задов.	1,7-4,0	
63	<i>Lonicera tatarica</i> L. var. <i>albiflora</i> (DC.) House	1961	2	пл	ч	I	4	задов.	2,5-5,0	
64	<i>Lonicera tatarica</i> L. var. <i>morrowii</i> (A.Gray) Q.E. Yang, Landrein, Borosova & Osborne	1961	10	пл	ч	I	5	задов.	1,0-4,0	
65	<i>Lonicera trichosantha</i> Bureau & Franch. var. <i>deflexicalyx</i> (Batalin) P.S. Hsu & H.J. Wang	1971	1	пл	ч	I	4	задов.	4,0	
66	<i>Lonicera xylosteum</i> L.	1958	7	пл	ч	I	5	задов.	1,3-4,0	
67	<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S.F. Blake	1954	2	пл	ч	I	4	задов.	1,2-1,5	
Celastraceae										
68	<i>Euonymus europaeus</i> L.	1964	8	пл	ч	I	5	гарн	2,0-4,5	
69	<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz.	1960	к	вег	нч	I	5	гарн	0,3-0,7	
70	<i>Euonymus nanus</i> M. Bieb. [ЧКУ]	1958	6x9	пл	нч	I	5	гарн	0,3-0,7	
Cornaceae										
71	<i>Cornus bretschneideri</i> L. Henry	1965	1	пл	ч	I	5	задов.	4,5	
72	<i>Cornus sanguinea</i> L.	1959	7	пл	ч	I	5	гарн	2,5-4,5	
73	<i>Cornus walteri</i> Wangerin	1969	1	пл	ч	I	4	задов.	9,0	
74	<i>Cornus sericea</i> L.	1958	к	кв	ч	I	5	задов.	1,7	
Eucommiaceae										
75	<i>Eucommia ulmoides</i> Oliv. [МСОП]	1960	1	пл	д	I-II	4	задов.	8,0	
Fagaceae										
76	<i>Fagus sylvatica</i> L.	1960	4	пл	д	I	4	задов.	16,0-20,0	
77	<i>Quercus imbricaria</i> Michx.	1956	1	пл	д	I	4	задов.	16,0	
78	<i>Quercus phellos</i> L.	1956	1	пл	д	I	4	задов.	17,0	
79	<i>Quercus robur</i> L. [МСОП]	прир	1	вег	д	I	5	гарн	6,0	
80	<i>Quercus robur</i> L. subspec. <i>imeretina</i> (Steven ex Woronow) Menitsky [МСОП]	1959	1	пл	д	I	4	задов.	16,0	
81	<i>Quercus serrata</i> Murray	1959	1	пл	д	I	5	задов.	14,0	
Grossulariaceae										
82	<i>Ribes alpinum</i> L.	1956	3	пл	ч	I	4	задов.	1,7	
83	<i>Ribes tenua</i> Jankz.	1964	1	пл	ч	I	4	задов.	1,7	
84	<i>Ribes komarovii</i> Pojark.	1964	2	пл	ч	I	4	задов.	1,5	
Hydrangeaceae										
85	<i>Deutzia gracilis</i> Sieb. & Zucc.	1961	5	пл	ч	I	4	задов.	1,3-2,0	
86	<i>Deutzia scabra</i> Thunb.	1964	2	кв	ч	I	4	гарн	1,5-2,5	
87	<i>Deutzia scabra</i> Thunb. 'Candidissima'	1964	6	пл	ч	I	4	задов.	2,0	
88	<i>Deutzia scabra</i> Thunb. 'Plena'	1964	2	кв	ч	I	4	гарн	1,2-2,0	
89	<i>Deutzia schneideriana</i> Rehder	1981	3	пл	ч	I	4	задов.	1,3	
90	<i>Hydrangea bretschneideri</i> Dippel	1965	5	кв	ч	I	5	задов.	1,7-3,5	

Продовження таблиці 1

91	<i>Hydrangea arborescens</i> L.	1965	10	вег	ч	I	4	задов	0,7-1,0
92	<i>Philadelphus brachybotrys</i> (Koehne) Koehne	1964	2	пл	ч	I	5	задов	2,0-3,5
93	<i>Philadelphus californicus</i> Benth.	1964	4	пл	ч	I	4	задов.	1,7-2,5
94	<i>Philadelphus coronarius</i> L.	1964	6	пл	ч	I	5	гарн	2,5-4,0
95	<i>Philadelphus coronarius</i> L. 'Alebaster'	1964	3	пл	ч	I	5	задов	2,0-3,0
96	<i>Philadelphus coronarius</i> L. 'Aurea'	1964	2	пл	ч	I	5	гарн	2,5
97	<i>Philadelphus coronarius</i> L. 'Balet motilkov'	1964	10	пл	ч	I	5	задов.	2,5-5,0
98	<i>Philadelphus coronarius</i> L. 'Beliy Buket'	1964	3	пл	ч	I	4	задов	2,0-2,5
99	<i>Philadelphus coronarius</i> L. 'Grandiflorus'	1964	2	пл	ч	I	4	гарн	2,5
100	<i>Philadelphus coronaries</i> L. 'Saljut'	1964	6	пл	ч	I	5	гарн.	2,5-4,0
101	<i>Philadelphus coronarius</i> L. 'Plena'	1964	2	пл	ч	I	5	задов.	2,0
102	<i>Philadelphus delavayi</i> L. Henry	1961	3	пл	ч	I	5	задов.	2,0-2,5
103	<i>Philadelphus floridus</i> Beadle	1964	3	пл	ч	I	5	задов.	2,5-3,0
104	<i>Philadelphus gordonianus</i> Lindl.	1964	5	пл	ч	I	5	задов.	2,5-5,0
105	<i>Philadelphus gordonianus</i> Lindl. var. <i>columbianus</i> (Koehne) Rehder	1961	2	пл	ч	I	5	задов.	4,0
106	<i>Philadelphus grandiflorus</i> Willd.	1964	3	пл	ч	I	4	задов.	3,5
107	<i>Philadelphus hirsutus</i> Nutt.	1961	2	пл	ч	I	5	задов.	3,0
108	<i>Philadelphus incanus</i> Koehne	1961	4	пл	ч	I	5	задов.	3,0-4,0
109	<i>Philadelphus inodorus</i> L.	1961	3	пл	ч	I	4	задов.	3,5
110	<i>Philadelphus lewisii</i> Purs.	1964	5	пл	ч	I	4	гарн	3,0-5,0
111	<i>Philadelphus lewisii</i> Pursh ssp. <i>californicus</i> (Benth.) Munz	1964	1	пл	ч	I	5	гарн	2,5
112	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Arctica'	1964	1	пл	ч	I	4	задов	3,0
113	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Aurea'	1964	3	пл	ч	I	4	гарн	2,0-4,0
114	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Diantiflorus'	1964	3	пл	ч	I	4	гарн	2,0-4,5
115	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Erectus'	1964	2	пл	ч	I	4	гарн	4,0
116	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Lunni svet'	1964	4	пл	ч	I	5	задов	2,0-3,5
117	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Manteau d'Hermiri'	1964	1	пл	ч	I	4	задов	3,0
118	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Mont Blanc'	1964	6	пл	ч	I	4	задов.	2,5-4,5
119	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Plena'	1964	1	пл	ч	I	4	задов	3,0
120	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Snezhnaja burja'	1964	1	пл	ч	I	5	гарн.	1,5
121	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Snezhnaja lavina'	1964	1	пл	ч	I	5	гарн.	3,0
122	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray 'Virginal'	1964	4	пл	ч	I	5	гарн.	3,5-4,5
123	<i>Philadelphus pekinensis</i> Rupr.	1964	1	пл	ч	I	5	задов.	1,5
124	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel	1964	10	пл	ч	I	5	гарн.	2,0-5,0
125	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel 'Akademic Komarov'	1964	5	пл	ч	I	5	гарн	2,0-5,0
126	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel. 'Zoya Kosmodemyanskaya'	1964	7	пл	ч	I	5	гарн.	3,5-4,0
127	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel 'Vosduschny Desant'	1964	4	пл	ч	I	4	задов.	2,0-4,0
128	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel. 'Junnat'	1964	1	пл	ч	I	5	гарн.	2,0
129	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel. 'Komsomolets'	1964	3	пл	ч	I	5	задов.	3,0-5,0
130	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel. 'Elbrus''	1964	6	пл	ч	I	5	гарн.	3,0-5,0
131	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel. 'Obelisk'	1964	2	пл	ч	I	5	гарн.	2,0
132	<i>Philadelphus pubescens</i> Loisel. 'Pompon'	1964	1	пл	ч	I	5	задов	1,3
133	<i>Philadelphus satsumi</i> Siebold ex Lindl. & J. Paxton	1964	5	пл	ч	I	5	задов	2,0

Продовження таблиці 1

134	<i>Philadelphus schrenkii</i> Rupr.	1964	4	пл	ч	I	5	гарн	1,7-3,5
135	<i>Philadelphus sericanthus</i> Koehne	1964	3	пл	ч	I	5	задов.	3,0-3,5
136	<i>Philadelphus subcanus</i> Koehne	1964	1	пл	ч	I	5	задов.	4,0
137	<i>Philadelphus tenuifolius</i> Rupr.	1964	6	пл	ч	I	4	задов.	2,5-5,0
Juglandaceae									
138	<i>Juglans microcarpa</i> Berland.	1975	1	пл	д	I	4	задов.	8,0
Leguminosae									
149	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	1956	5	пл	ч	I	5	гарн	3,0
140	<i>Caragana arborescens</i> Lam.	1958	1	пл	ч	I	4	задов.	2,0
141	<i>Caragana boisii</i> C.K. Shneid.	1959	1	пл	ч	I	5	задов.	4,0
142	<i>Caragana brevispina</i> Benth.	1979	1	пл	ч	I	5	задов.	3,0
143	<i>Cercis canadensis</i> L. [МСОП]	1956	1	вег	д	I	3	незад	4,0
144	<i>Gleditsia caspia</i> Desf.	1960	4	пл	д	I	5	задов.	12,0
145	<i>Gleditsia delavayi</i> Franch.	1962	2	пл	д	I	4	незад	18,0
146	<i>Gleditsia japonica</i> Miq.	1964	2	пл	д	II	4	незад	8,0
147	<i>Gleditsia ferox</i> Desf.	1961	1	пл	д	I	4	задов.	12,0
148	<i>Gleditsia texana</i> Sarg.	1965	1	пл	д	I	4	задов.	18,0
149	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	1958	20	пл	д	I	5	гарн	22,0
150	<i>Gleditsia sinensis</i> Lam.	1962	1	пл	д			незад	6,0
151	<i>Gymnocladus dioica</i> (L.) K. Koch	1958	5	пл	д	I	5	гарн	18,0-22,0
152	<i>Laburnum anagyroides</i> Medik.	1961	1	пл	ч	I	4	задов.	5,0
153	<i>Robinia pseudoacacia</i> L. [МСОП]	1972	2	пл	д	I	4	задов.	20,0
154	<i>Robinia neomexicana</i> A. Grey [МСОП]	1960	2	пл	д	I	5	задов.	14,0
155	<i>Styphnolobium japonicum</i> (L.) Schott	1961	2	пл	д	I	5	задов.	22,0
Magnoliaceae									
156	<i>Liriodendron tulipifera</i> L. [МСОП]	1985	1	пл	д	I	4	задов.	18,0
Malvaceae									
157	<i>Tilia x europaea</i> L.	нв	1	пл	д	I	5	гарн	5,0
158	<i>Tilia x europaea</i> L. 'Laciniata'	1963	2	пл	д	I	4	задов.	10,0
159	<i>Tilia tomentosa</i> Moench [ЄЧС]	1958	1	пл	д	I	5	гарн	12,0
Moraceae									
160	<i>Morus alba</i> L.	1960	2	кв	д	I	4	задов.	5,0
Oleaceae									
161	<i>Fontanesia fortunei</i> Carriere	1962	2	пл	ч	I	5	гарн	3,0-5,0
162	<i>Forsythia ovata</i> Nakai	1964	1	кв	ч	I	4	незад	2,0
163	<i>Forsythia suspensa</i> (Thunb.) Vahl	1962	2	пл	ч	I	4	задов.	1,7
164	<i>Forsythia viridissima</i> Lindl.	1963	4	кв	ч	I	5	задов.	2,5-4,0
165	<i>Forsythia velutina</i> Nakai	2011	1	кв	ч	I	5	задов.	1,5
166	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall	1959	1	вег	д	I	5	гарн	12,0
167	<i>Syringa josikaea</i> Jacq. ex Rchb. [МСОП, ЄЧС, ЧКУ]	1961 2010	3 3	пл вег	ч	I	3	задов незад	2,0-3,0 0,7
168	<i>Syringa komarowii</i> C. K. Schneid.	1961	2	пл	ч	I	4	задов.	2,5
169	<i>Syringa villosa</i> Vahl	1956	2	пл	ч	I	3	незад	2,0
170	<i>Syringa villosa</i> Vahl ssp. <i>wolfii</i> (Schn.) Jin Y Chen & D. Y. Hong	1956	4	пл	ч	I	4	задов.	2,5-4,0
171	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Alba'	1961	1	пл	ч	I	4	задов.	4,0
172	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Belle de Nancy'	1956	3	пл	ч	I	4	задов.	2,5-3,0
173	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'M-me Lemoine'	1956	3	пл	ч	I	4	задов.	3,0-5,0
174	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Marechal Foch'	1956	3	пл	ч	I	4	задов.	2,5-5,0
175	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Furst Bulow'	1956	4	пл	ч	I	4	задов.	3,0
176	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Katherine Havemeyer'	1956	3	пл	ч	I	4	задов.	3,0
177	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Leon Gambetta'	1956	1	пл	ч	I	4	задов.	3,0-4,0
178	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Emile Lemoine'	1956	5	пл	ч	I	4	задов.	3,0-4,0
179	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Синай темнолиловый'	1956	5	пл	ч	I	4	задов.	3,0-4,0

Продовження таблиці 1

180	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Princesse Clementine'	1956	2	пл	ч	I	4	задов.	4,0
181	<i>Syringa vulgaris</i> L. Michel Buchner'	1956	1	пл	ч	I	4	задов.	3,0
182	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'President Grevy'	1956	1	пл	ч	I	4	задов.	3,5
183	<i>Syringa vulgaris</i> L. 'Mont Blanc'	1956	1	пл	ч	I	4	задов.	3,5
Paeoniaceae									
184	<i>Paeonia x suffruticosa</i> Andrews	1978	1	пл	ч	I	4	задов.	1,5
Rhamnaceae									
185	<i>Rhamnus cathartica</i> L.	1969	8	пл	ч	I	5	гарн	2,0-7,0
186	<i>Rhamnus diamantiaca</i> Nakai	1983	3	пл	ч	I	4	задов.	6,0
187	<i>Rhamnus davurica</i> Pall.	1958	1	пл	ч	I	5	гарн	4,0
188	<i>Rhamnus utilis</i> Decne.	1958	2	пл	ч	I	5	гарн	5,0
189	<i>Rhamnus saxatilis</i> Jacq. ssp. <i>tinctoria</i> Nyman [ЧКУ]	2010	15	пл	ч	I	5	гарн	2,0
Rosaceae									
190	<i>Amelanchier alnifolia</i> (Nutt.) Nutt. ex M.Roem.	1958	4	пл	ч	I	4	незад	6,0
191	<i>Amelanchier ovalis</i> (Michx.) Ashe	1958	2	пл	ч	I	4	задов.	11,0
192	<i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) K. Koch.	1958	12	пл	ч	I	4	задов.	6,0-12,0
193	<i>Aruncus dioicus</i> (Walter) Fernald	1968	10	кв	ч	I	5	задов.	0,5-0,7
194	<i>Chaenomeles japonica</i> (Thunb.) Lindl. ex Spach	1960	2	пл	ч	I	5	задов.	0,7-1,0
195	<i>Cerasus tomentosa</i> (Thunb.) Wall. ex T.T. Ju & C. L. Li	1961	5	пл	ч	I	4	задов.	1,7-2,5
196	<i>Cotoneaster calocarpus</i> (Rehd. et Wils.) Flinck & B. Hylm.	1958	2	пл	ч	I	5	задов.	5,0
197	<i>Cotoneaster dielsianus</i> E. Pritz.	1961	1	пл	ч	I	4	задов.	2,0
198	<i>Cotoneaster foveolatus</i> Rehder & E.H. Wilson	1970	1	пл	ч	I	5	гарн	3,0
199	<i>Cotoneaster lucidus</i> Schltl. [MCOII]	1958	2	пл	ч	I	5	гарн	1,5
200	<i>Crataegus arnoldiana</i> Sarg.	2010 1964	1 2	пл пл	д	I	4	задов.	2,5-7,0
201	<i>Crataegus azarolus</i> L. [MCOII]	мол	1	пл	д	I	5	задов.	3,5
202	<i>Crataegus chlorosarca</i> Maxim.	1964	5	пл	д	I	4	незад	5,0
203	<i>Crataegus douglasii</i> Lindl.	1964	2	пл	д	I	4	незад	7,0
204	<i>Crataegus ellwangeriana</i> Sarg.	1959	1	пл	д	I	5	гарн	6,0
205	<i>Crataegus flabellata</i> (Bosc ex Spach) K. Koch	1971 1981	2 3	пл	д	I	4	задов.	4,0-5,0
206	<i>Crataegus hissarica</i> Pojark.	1981	1	вег	д	I	4	незад	3,0
207	<i>Crataegus helenae</i> Grynj et Klokov	2013	1	пл	д	I	5	гарн	1,7-2,0
208	<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC [MCOII] 'Rubra plena'	1961	2	пл	д	I	4	задов.	20,0
209	<i>Crataegus macracantha</i> Lodd ex Loudon	1971	1	кв	д	I	4	задов.	2,5
210	<i>Crataegus macrosperma</i> Ashe	1971	2	пл	д	I	4	задов.	9,0
211	<i>Crataegus maximowiczii</i> C.K. chneid.	1981	2	кв	д	I	4	незад	5,0
212	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq. [ЄЧС]	прир	1	пл	д	I	5	гарн.	3,5
213	<i>Crataegus rhipidophylla</i> Gand	1956	2	пл	д	I	4	незад	6,0-7,0
214	<i>Crataegus nigra</i> Waldst. & Kit. [MCOII, ЄЧС]	1967	1	пл	д	I	4	задов.	5,5
215	<i>Crataegus pentagyna</i> Waldst. & Kit. ex Willd. [MCOII, ЄЧС, PP]	1970	1	пл	д	I	4	незад	14,0
216	<i>Crataegus pinnatifida</i> Bunge	1959	1	пл	д	I	5	незад	8,0
217	<i>Crataegus pringlei</i> Sarg.	1967	4	пл	д	I	4	задов.	3,0-6,0
218	<i>Crataegus persimilis</i> Sarg.	1983	2	пл	д	I	4	задов.	4,0
219	<i>Crataegus punctata</i> Jacq.	1961	4	пл	д	I	4	задов.	4,0-8,0
220	<i>Crataegus rivularis</i> Nutt. ex Torr. & A. Grey	1960	1	пл	д	I	3	незад	4,0

Продовження таблиці 1

221	<i>Crataegus sanguinea</i> Pall. var. <i>chlorocarpa</i> (Lenn, & K. Koch) C.K. Schneid.	1971	3	пл	д	I	4	незад.	4,5-5,0
222	<i>Crataegus submollis</i> Sarg.	1958 2010	6 28	пл	д	I	4	задов.	3,5 2,0
223	<i>Crataegus succulenta</i> Schrad. ex Link	1983	2	пл	д	I	5	задов.	6,0
224	<i>Crataegus wattiana</i> Hemsl. & Lace	1961	1	пл	д	I	5	задов.	8,0
225	<i>Cydonia oblonga</i> Mill.	1960	3	пл	д	I	5	гарн	4,5-9,0
226	<i>Malus x prunifolia</i> (Willd.) Borkh.	1961	1	пл	д	I	5	задов.	4,5
227	<i>Malus x purpurea</i> (E.Barbier) Rehder	1961	1	пл	д	I	4	незад	8,0
228	<i>Pentaphylloides davurica</i> Ikonn.	2008	1	пл	ч	I	5	задов.	1,3
229	<i>Physocarpus capitatus</i> (Pursh) Kuntze	1958	1	пл	ч	I	4	задов.	2,5
230	<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.	1958	1	пл	ч	I	5	задов.	3,5
231	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	1964	1	пл	ч	I	5	задов.	14,0
232	<i>Prunus cocomilia</i> Ten (syn. <i>P. divaricata</i> Ledeb) [МСОП, ЄЧС]	1964	4	пл	д	I	5	задов.	6,0-14,0
233	<i>Prunus domestica</i> L.	1964	2	пл	д	I	4	незад	10,0
234	<i>Prunus padus</i> L. (syn. <i>Padus asiatica</i> Kom.) [ЄЧС]	1964	1	пл	д	I	5	задов.	7,0
235	<i>Prunus sogdiana</i> Vass.	1965	6	пл	д	I	5	задов.	2,0-6,0
236	<i>Prunus tenella</i> Batsch [МСОП]	1970	15	кв	ч	I	5	задов.	0,5-1,2
237	<i>Prunus virginiana</i> L.	1965	2	пл	д	I	5	задов	10,0
238	<i>Pyrus betulifolia</i> Bunge	1967	1	кв	д	I	3	незад	12,0
239	<i>Pyrus amygdaliformis</i> Vill.	1967	1	пл	д	I	4	незад	10,0
240'	<i>Rhodotypos scandens</i> (Thunb.) Makino	1981	1	вег	ч	I	4	задов	1,3
241	<i>Sorbus commixta</i> Hedl.	1969	1	пл	д	I	3	незад	8,0
242	<i>Sorbus intermedia</i> (Ehrh.) Pers.	1964	1	пл	д	I	3	незад	14,0-20,0
243	<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz. [ЧКУ]	1958	3	пл	д	I	4	задов.	20,0
244	<i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A. Braun	1958	50	пл	ч	I	5	гарн	3,0
245	<i>Spiraea canescens</i> D.Don	1965	1	пл	ч	I	5	задов.	1,3
246	<i>Spiraea chamaedryfolia</i> L.	1958	2	пл	ч	I	5	задов.	1,6
247	<i>Spiraea crenata</i> L.	1962	1	пл	ч	I	4	задов.	2,0
248	<i>Spiraea x cinerea</i> Zabel	1962	5	пл	ч	I	5	задов.	1,2
249	<i>Spiraea x cinerea</i> Zabel 'Grefsheim'	2005	1	пл	ч	I	5	задов.	1,0
250	<i>Spiraea douglasii</i> Hook.	1962	3	пл	ч	I	5	задов.	1,7
251	<i>Spiraea x fontenaysii</i> Lebas	1960	К	пл	ч	I	5	задов.	1,2-1,5
252	<i>Spiraea japonica</i> L.	2000	2	пл	ч	I	5	задов.	1,3
253	<i>Spiraea japonica</i> L. 'Crispa'	2008	5	пл	ч	I	4	задов.	0,5
254	<i>Spiraea japonica</i> L. 'Plena'	2000	1	пл	ч	I	5	задов.	1,2
255	<i>Spiraea media</i> Fr. Schmidt.	1964	2	пл	ч	I	5	задов.	0,5-1,5
256	<i>Spiraea mongolica</i> Maxim.	1958	1	пл	ч	I	4	задов.	2,0
257	<i>Spiraea x multiflora</i> Zabel	1958	12	пл	ч	I	5	задов.	1,7-2,5
258	<i>Spiraea nipponica</i> Maxim.	1961	13	пл	ч	I	5	задов.	1,7-2,5
259	<i>Spiraea polonica</i> Blocki [ЧКУ]	2008	4	пл	ч	I	5	задов.	1,5
260	<i>Spiraea salicifolia</i> L.	1960	1	пл	ч	I	5	задов.	1,7
261	<i>Spiraea wilsonii</i> Duthie ex J. H. Veitch	1958	10	пл	ч	I	5	задов.	0,7-2,5
262	<i>Rosa canina</i> L.	прир	2	пл	ч	I	5	задов.	1,7-2,5
263	<i>Rosa corymbifera</i> Borkh.	1948	6	пл	ч	I	4	задов.	1,7-4,0
264	<i>Rosa glauca</i> Pourr.	нв	2	пл	ч	I	4	задов.	2,0-3,5
265	<i>Rosa majalis</i> Herrm. (syn. <i>R. cinnamomea</i> L.)	1964 2000	2 8	пл	ч	I	5	гарн.	3,0-4,0 1,7-2,5
266	<i>Rosa rugosa</i> Thunb.ara	1956	1	пл	ч	I	4	задов.	1,0
267	<i>Rosa villosa</i> L.	нв	1	пл	ч	I	5	задов.	3,0

Продовження таблиці 1

Sapindaceae									
268	<i>Acer tataricum</i> L.	прир	1	пл	ч	I	5	задов.	5,0
269	<i>Aesculus glabra</i> Willd.	1959	3	пл	д	I	4	задов	8,0-16,0
270	<i>Aesculus hippocastanum</i> L. [МСОП]	1959	1	пл	д	I	4	задов	17,0
Ulmaceae									
271	<i>Ulmus minor</i> Mill.	1964	1	пл	д	I	5	задов	16,0

За результатами досліджень констатуємо, що колекційна ділянка відповідає назві «Фрутіцетум», як експозиція гарноквітучих чагарників. За життєвою формою переважають чагарники (ч), які представлено 182 таксонами (67,2%), дерев (д) – 85 (31,4%), напівчагарників (нп) – 2 (0,7%), ліан (л) – 2 (0,7%).

Панівну частку рослин інтродуковано до колекції у 1950-1970 рр., тому кількість середньовікових рослин складає 256 (94,5%) таксонів. За період 1980–2022 рр. колекцію поповнено лише 25 (5,5%) таксонами. За репродуктивним потенціалом деревні рослини 246 (90,8%) таксонів продукують плоди (пл), 13 (4,7%) таксонів – квітують (кв), 12 (5,5%) – не досягли вегетативного стану (вег) (табл. 1).

Незадовільний життєвий стан спостерігали у 42 рослин (4,2%) 25 таксонів, більшість з них – це дерева родів *Crataegus*, *Gleditsia*, *Pyrus*. Понад 700 рослин (70,4%) 188 таксонів мають задовільний життєвий стан. Гарний життєвий стан відмічений у 253 рослин (25,4%) 59 таксонів.

За соцологічним статусом, до раритетної фракції залучено 37 видів (13,7%), з них до міжнародного червоного списку (МСОП) – 30, європейського (ЄЧС) – 8, Червоної книги України (ЧКУ) – 7, регіонального списку Київської області (РР) – 1 вид.

**Головні висновки.** За результатами інвентаризаційних досліджень деревних рослин колекційно-експозиційної ділянки «Фрутіцетум» встановлено, що на теперішній час колекційний фонд нараховує 271 таксон, які є представниками 72 родів з 27 родин і складають 17,5% від генофонду дендроколекції дендропарку. Найрепрезентативнішими є 7 родин: Rosaceae Hydrangeaceae, Oleaceae, Berberidaceae, Leguminosae, Caprifoliaceae, Cupressaceae. За життєвою формою переважають чагарники, відсоток яких складає 67,2%, дерев – 31,4%. За віком переважають середньовікові рослини (94,5%), більшість рослин (70,4%) мають задовільний життєвий стан. До раритетної фракції з них залучено 37 видів, або 13,7% рослин колекційної ділянки «Фрутіцетум».

**Перспективи використання результатів досліджень.** Безперечно, зібрана колекція має важливе наукове значення. Проте, зважаючи на певну сформованість насаджень, колекція потребує виконання робіт з реконструкції, відновлення початкових композицій з гарноквітучих чагарників, видалення рослин незадовільного життєвого стану, що стане підґрунтям для сучасного використання ділянки і для створення нових рослинних композицій з науковою, рекреаційною та еколого-просвітницькою метою.

### Література

1. Лаптев О.О. Інтродукція та акліматизація рослин з основами озеленення. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 128 с.
2. Шумик М.І., Рубцова О.Л., Пилипчук В.Ф., Казанська Н.А. та ін. Колекційно-експозиційні ділянки як об'єкти садово паркового ландшафту. *Інтродукція рослин*. Київ, 2005. Вип. 3. С. 52–60.
3. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Научные основы сохранения и восстановления дубравы и других парковых ландшафтов» (1974–1978 гг.). Белая Церковь, 1979.
4. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Подбор наиболее ценных древесных интродуцентов, разработка приемов их размножения, введение в лесное хозяйство и зеленое строительство в условиях Правоборужной Лесостепи Украины» (1979–1983 гг.). Белая Церковь, 1979.
5. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка научных основ оптимизации структуры парковых композиций дендрозаповедника «Александрія» АН УССР. Белая Церковь, 1985. 10 с.
6. Version 1.1 of The plant list. 2021: <http://www.worldfloraonline.org>
7. Каталог деревних рослин дендрологічного парку «Олександрія» НАН України: довідник /за ред. С. І. Галкіна. Біла Церква, 2013. 62 с.
8. Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. М. : Высшая школа, 1962. 378 с.
9. Калашнікова Л.В., Бонюк З.Г. Результати інвентаризації видів роду *Spiraea* L. із колекції дендропарку «Олександрія» НАН України. *Інтродукція рослин*. Київ, 2019. № 1. С. 68–74.
10. The IUCN Red list of Threatened Plants / compiled by the World Conservation Monitoring Centre IUCN. 2016.2. 1715 p.
11. European Red list of vascular plants. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2011. 125 p.
12. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. К.: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
13. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України / укладачі: Т.Л. Андрієнко, М.М. Перегрим. Київ, 2012. 148 с.
14. Каталог деревних рослин дендрологічного парку «Олександрія» НАН України: довідник / За редакцією С.І. Галкіна. Біла Церква, 2008. 53 с.

## ХАРАКТЕРИСТИКА КОРИННИХ ДУБОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ У НАЦІОНАЛЬНОМУ ПРИРОДНОМУ ПАРКУ «КАРМЕЛЮКОВЕ ПОДІЛЛЯ»

Шпак Н.П., Романчук О.П., Марківська Л.В., Дудник Г.Л.  
Національний природний парк «Кармелюкове Поділля»  
вул. Котовського, 20, 24353, Ободівка  
spaknina0@gmail.com, rop.1984@ukr.net,  
markivska\_luba@ukr.net, karmelukove\_podilla@ukr.net

У статті представлені дослідження та їхні результати щодо оцінки стану природних дубових лісостанів в умовах національного природного парку «Кармелюкове Поділля». Встановлено, що в національному природному парку «Кармелюкове Поділля» насадження природного походження з участю *Quercus robur* L. і *Quercus petraea* (від п'яти одиниць і більше) є основним типом деревостанів і займають 58,2% лісових площ. Проаналізовано особливості природного поновлення в дубових деревостанах з домінуванням дуба звичайного та дуба скельного з різною відносною повнотою, складом та віком. Отримані таксаційні показники разом з даними природного поновлення були проаналізовані та встановлено їх взаємозв'язок. Крім того, для більш детального аналізу впливу таксаційних показників насадження на природне відновлення в деревостанах, здійснено перелік усіх порід на пробних площах з визначенням таксаційних показників для деревостану загалом.

Деревостани з участю двох видів дуба зростають у свіжій грабовій діброві (Д<sub>2</sub>ГД) 97,3%. Встановлено, що ліси НПП «Кармелюкове Поділля» характеризуються високою продуктивністю – 89%, ростуть за 1 та 1<sup>а</sup> бонітетом. За віковим аналізом досліджуваних деревостанів частка молодняків становить 11,9%, середньовікових – 41,8%, пристигаючих – 25,0%, стиглі та перестійні – 21,7%. За категоріями стану переважають дерева IV категорії (за Крафтом) та з повнотою 0,7. Високоповотні насадження займають 1185,3 га, а низькоповотні – 2130,5 га. За зрілістю дубові деревостани є простими. Встановлено, що частка корінних дубових лісів в межах парку зменшилася. Результати таких досліджень можуть бути використані при подальшій роботі щодо достатнього забезпечення природного поновлення дуба звичайного і дуба скельного в регіоні. *Ключові слова:* природні ліси, таксаційна характеристика, дуб звичайний, дуб скельний, природне поновлення, вікова структура.

**Characteristic of native oak forests of “Karmeliukove Podillia” National Nature Park. Shpak N., Romanchuk O., Markivska L., Dudnik G.**

The article presents studies and their results regarding the assessment of the state of natural oak forests in the conditions of the Karmeliukove Podillia National Nature Park. It was established that in the Karmeliukove Podillia National Nature Park, plantations of natural origin with the participation of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (from five units or more) are the main type of stands and occupy 58.2% of the forest area. The peculiarities of natural regeneration in oak stands with the dominance of common *Quercus robur* and *Quercus petraea* with different relative completeness, composition and age were analyzed. The taxation indicators obtained together with the natural renewal data were analyzed and their relationship was established. A tree-by-tree list of all species on the trial plots was carried out with the determination of taxation indicators for the stand in general for a more detailed analysis of the influence of the taxation indicators of the plantation on natural regeneration in stands dominated by common oak and rock oak. Stands with the participation of two oak species grow in fresh oak-hornbeam D2GD ((97.3%). It has been established that the forests of the Karmeliukove Podillia NPP are characterized by high productivity – 89%, and grow according to the first and above the first credit rating. The age analysis of the studied stands is as follows: the share of middle-aged – 41.8%, young – 11.9%, arriving – 25.0%, mature and stagnant – 21.7%. The trees of class IV (by Kraft) by status categories are predominates. A significant part of forest stands is characterized by a completeness of 0.7. High-quality plantations cover 1185.3 hectares, and low-quality plantations – 2130.5 hectares. In terms of tiering, oak stands are mostly simple. It was established that the share of natural oak forests within the park is decreasing. The results of such experiments can be used in further research on issues related to sufficient provision of natural renewal of common oak in the region. *Key words:* natural forests, taxation characteristic, *Quercus robur* L. і *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., natural regeneration, age structure.

**Постановка проблеми.** Відтворення природних лісів в Україні є важливим аспектом у запровадженні концепції збереження біогенетичного різноманіття. Природні дубові ліси національного природного парку «Кармелюкове Поділля» в сучасних умовах є важливими осередками збереження та відтворення біорізноманіття флори в регіоні. В лісах природного парку *Quercus robur* L. – одна з головних лісоутворювальних порід, деревостани з його участю займають 97,3% від вкритих лісовою рослинністю земель. Серед природних дубових лісостанів особливе зна-

чення мають деревостани насінневого походження, оскільки вони стійкіші та більш довговічні, ніж порослеві, а також є осередками збереження генофонду. Кожне наступне порослеве покоління (деревостани другої та наступних порослевих генерацій) одного і того ж дерева буде характеризуватися погіршенням стану та зниженням енергії росту, зниженням стійкості та довговічності [1].

В останні десятиліття площа лісів природного походження інтенсивно скорочується. Більшість корінних лісових насаджень Поділля зникла через



відсутність науково обґрунтованих систем вирубувань і відновлення. За проведеними дослідженнями площа природних дубових лісів скоротилася майже в тричі.

**Актуальність дослідження.** В умовах Вінниччини різко почали скорочуватися природні лісові масиви і таким чином змінився склад лісів. Упродовж останнього століття порушення природного розвитку сприяють: негативний вплив абіотичних, біотичних і антропогенних факторів, що призвело до активізації процесів всихання та деградації дубових лісостанів, збіднення їх біологічного різноманіття. На території національного природного парку, до його заснування (2009 р.), велася інтенсивна лісгосподарська діяльність, одним із пріоритетних напрямків якої було збільшення площі насаджень з *Quercus robur* L., тому штучне його відновлення утверджувалося як домінуючий напрямок відтворення дібров. На сьогодні основну частину вікового спектра популяції дуба в природному парку становлять молодняки та середньовікові деревостани, переважно штучного походження. Проведення детального дослідження корінних дубових лісів регіону і вдосконалення заходів щодо їх відтворення залишається наразі актуальною проблемою.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Виявлено тенденції до скорочення площ корінних дубових лісів, зниження їх стійкості та продуктивності вказують на недосконалість методів господарювання в них. Згідно із Законом України «Про природно-заповідний фонд України» (1992) в НПП «Кармелюкове Поділля» розроблена «Програма із відновлення корінних дубових насаджень на території національного природного парку «Кармелюкове Поділля» на 2022–2027 роки». За умови зростання впливу абіотичних, біотичних та антропогенних факторів потребує уточнення система оцінки стану та відновлення природних дубових лісів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В наукових публікаціях П.П. Ізюмського, П.І. Молоткова, М.В. Ромашова, Б.Ф. Остапенко, В.П. Ткача [2–3] та ін. висвітлено стан природних дубових лісів та процесу їх природного поновлення в українських лісах. Корнаковський Г.А. [4] обґрунтував можливість насінневого природного відновлення дібров при суцільних рубках за рахунок самосіву дуба та ясена, які завжди є під наметом стиглих лісостанів. Висновки Г.А. Корнаковського підтверджені дослідженнями Г.Ф. Морозова, А.Б. Жукова, П.С. Погребняка, В.Е. Шмідта, С.С. П'ятницького. [5–7], які вважають, що в лісах України можна розраховувати на природне відновлення свіжих і вологих дібров. В умовах Правобережного Лісостепу питанню стану природних дубових лісів та їх формування присвячені праці О.Г. Василевського, І.С. Нейка, В.В. Левченка, Г.П. Іщука [8–11] та ін. В наукових публікаціях, стосовно національного

природного парку «Кармелюкове Поділля», О.П. Романчука, Г.Л. Дудник, А.А. Куземко, О.Г. Яворської, Л.В. Марківської, Н.П. Шпак [12–16] висвітлено про досить високий фітоценотичний потенціал дуба звичайного та рекомендовано впроваджувати систему лісівничих заходів, спрямованих на відновлення корінних природних дубових деревостанів, які зазнали істотної трансформації в ході попередньої лісгосподарської діяльності. Описано динаміку видового складу трав'яного покриву, його загальне проективне покриття в дубово-грабових насадженнях.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** З метою відновлення корінних природних дубових деревостанів подальші дослідження слід спрямувати на вивчення і використання в практиці методів успішного поновлення дуба в різних лісорослинних умовах.

**Новизна.** Вперше проведено дослідження наявності дуба скельного в корінних деревостанах на території НПП «Кармелюкове Поділля». Визначено поширення, лісівничо-екологічний стан, таксаційні показники та природне поновлення дуба скельного в порівнянні з дубом звичайним.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** У процесі проведення досліджень було використано загальнонаукові та спеціальні методи досліджень. Пробні площі закладено відповідно до загальноприйнятих методик згідно із СОУ 02.02-37-476:2006 «Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання» [17]. Використали методіку типологічних досліджень Д.В. Воробйова [18], «Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии» [19]. На всіх пробних площах проводили суцільний перелік дерев з одночасним визначенням класу росту та розвитку (за Крафтом). Діаметр дерев визначали на висоті 1,3 м. Тимчасові пробні площі та облікові ділянки закладали в найбільш типових частинах виділів дубових деревостанів з підростом головних лісотвірних порід. Постійні пробні площі відбирали з метою моніторингу насінневого поновлення дуба скельного та дуба звичайного. Критерієм визначення життєздатності підросту були його таксаційні параметри та морфологічні ознаки. До життєздатного підросту дуба відносили екземпляри з прямими стовбурцями без ознак ушкодження, з нормально розвинутою кроною, з приростом верхівкового пагону, не меншим за приріст бічних гілок. У практичній діяльності, з метою поновлення та відтворення корінних лісових масивів, використати дослідження А.О. Бондара, М.І. Гордієнка [20]. Дослідили поширення, сучасний стан, особливості формування та відтворення природних дубових лісів на території національного природного парку «Кармелюкове Поділля».

**Виклад основного матеріалу.** Національний природний парк «Кармелюкове Поділля» розташований на території Південно-східної частини

Таблиця 1

## Характеристика насаджень дуба звичайного і дуба скельного віком 100 і більше років

ПНДВ	Квартал виділ	Площа	Повнота	Склад деревостану	Характеристика породи						Запас м <sup>3</sup> /га
					дуб звичайний			дуб скельний			
					к-ть/га	D, см	H, м	к-ть/га	D, см	H, м	
Бритавське	79/1	53,4	0,65	5Дек3Дз1Гз1Бер	168	36	25	98	34,6	23	270
	81/1	19,0	0,75	5Дз3Дек1Гз1Бер+Лплд	136	35,8	25	84	33	24	290
	82/4	4,3	0,7	2Дз2Дек2Гз2Яз1Бер1Клг+Брс	132	22,5	19	132	23,4	19	150
	86/2	40,3	0,7	6Дз2Дек1Гз1Яз +Бер+Клг	116	35,3	23	58	33,1	23	280
	84/1	32,8	0,7	4Дек2Дз2Гз2Яз+Бер+Клг	70	35,5	25	172	34,9	24	280
	70/9	5,3	0,6	6Дз2Дек2Гз	194	39	26,5	70	40	25	190
	71/3	35,6	0,75	6Дек3Дз1Гз+Гз+Яз	142	44,5	27	266	45,3	27	330
	57/1	4,9	0,7	5Дек3Дз1Гз1Яз+Бер+Клг	114	41,8	27	200	40,6	26	250
	56/1	43,2	0,6	4Дз3Дек1Гз1Яз1Бер+Клг+Брс	172	40	26	98	41,1	26	230
	24/10	33,4	0,7	4Дек3Дз2Яз1Гз+Бер+Клг+Лплд	98	33,5	24	198	32,2	23	310
24/8	24,3	0,7	5Дек3Дз2Гз+Бер	110	30	23	184	30,1	23	240	
39/1	21,3	0,65	4Дз4Дек1Гз1Бер+Клг+Яз+Брс	146	29,4	22,5	148	30,5	22	210	
51/3	41,2	0,54	3Дек2Дз4Яз1Гз+Бер+Клг+Лплд	100	31,9	24	156	33,2	24	170	
60/1	4,0	0,7	5Дек2Дз2Гз1Яз+Бер+Клг	86	35,9	24	210	33,9	23	250	
60/2	44	0,7	6Дек2Дз1Гз1Яз+Бер+Клг+Брс	74	30,4	22	230	34,2	22	240	
31/12	2,9	0,7	5Дз3Дек2Яз+Клг	246	30,8	21,5	186	30,4	21	320	
33/2	24,0	0,8	6Дз2Дек1Яз1Клг+Чш	236	32,1	22	98	33,2	22	280	
63/8	7,7	0,7	6Дз4Дек+Бер+Клг	360	23,6	19	184	24,8	19	210	
Любомирське	112/5	0,7	0,6	5Дек2Дз2Чш1Клг+Лплд	58	32,1	22	128	32,4	22	200

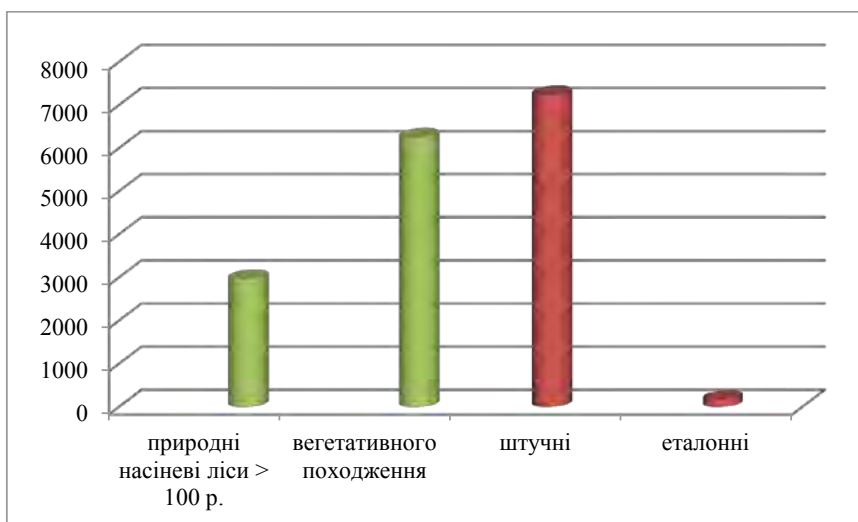


Рис. 1. Розподіл лісів за походженням

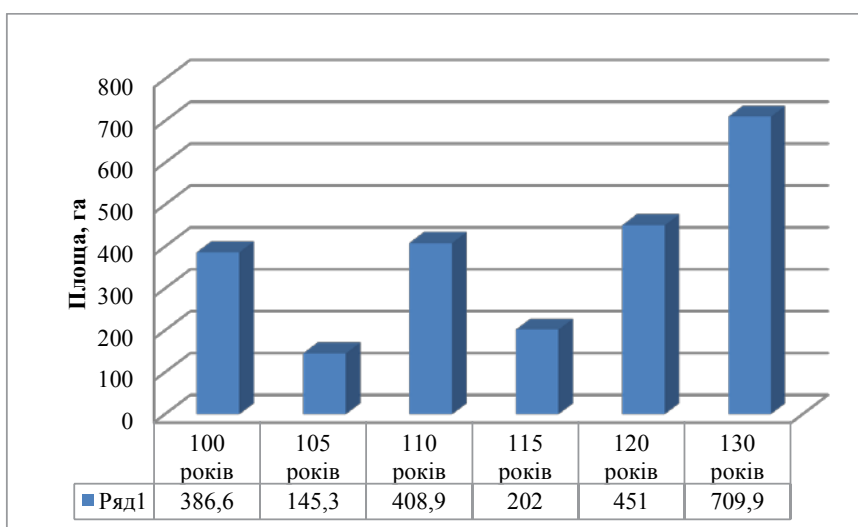


Рис. 2. Розподіл корінних дубових деревостанів за віком

Вінницької області, що межує з Одещиною – південь Чечельницької та Тростянецької територіальних громад. Загальна площа Парку становить 20203,4 гектара земель державної власності, в тому числі 16518 гектарів земель державного підприємства «Чечельницький лісгосп», що надаються Парку в постійне користування та 3685,4 гектара земель, які включаються до його складу без вилучення в землекористувачів.

Збір польових матеріалів для комплексного дослідження насаджень проводили в 2015–2022 роках на території національного природного парку «Кармелюкове Поділля». Насадження різняться за віком, складом порід, бонітетом в області свіжої грабової діброви. В результаті виявлені лісові ділянки із значними площами насаджень природнього насінневого походження з участю в деревостанах дуба скельного. Обсяг експериментального матеріалу налічував 19 пробних площ. Обстежено 6733 дерев,

з них: дуба звичайного 1429, дуба скельного 1874. Отримані дані оброблено на комп'ютері за допомогою пакету програм Microsoft Excel.

Насадження представлені *Quercus robur* L., та *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., I–I<sup>a</sup> класів бонітету (95,8%) з домішкою *Carpinus betulus* L., *Tilia cordata* L., *Fraxinus excelsior* (L.) Moench, *Acer platanoides* L., *Cerasus avium* L., *Ulmus campestris* L., *Sorbus torminalis* L. Найпоширенішим типом лісу є свіжа грабова діброва – Д<sub>2</sub>ГД (97,3%), вологі грабові діброви займають порівняно незначну (0,7%) площу, інших типів лісу менше. Характерними для корінних дубово-грабових лісів є чагарникова рослинність – *Euonymus verrucosa* Scop і *Euonymus europaea* L., *Cornus mas* L., *Crataegus oxycantha* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Corylus avellana* L., *Sambucus nigra* L., *Viburnum lantana* L. та ін. Трав'янистий ярус утворюють ряд осок *Carex pilosa* Scop., *Carex paniculata* L., *Carex humilis* L., *Carex*

*breviculis* DC., *Allium ursinum* L. *Euonymus nana* M. Bieb., *Dentaria bulbifera* L., *Dentaria quinquefolia* M. Bieb. та ін. Проективне покриття коливається від 15 до 85%, найбільше із 35–40%. При щільній зімкнутості верхнього ярусу підлісок, як правило, відсутній, а трав'яний покрив незначний з домінуванням таких видів: *Carex breviculis* DC., *Galium aparine* L., *Carex pilosa* Scop., *Hedera helix* L.

Найбільшу площу займають насадження повнотою 0,7 (49,4%), дещо меншу повнотою 0,8–28,9%, повнотою 0,6–11,0%, повнотою 0,9–1,6%.

Екологічний стан лісів погіршився після льодоламу 2000 року.

Одним із показників цінності лісів є їх походження. Лісів природного походження (за даними лісовпорядкування 2020 року) становлять 9204 га (56%), з них 18% (2958,4 га) складають найбільш цінні насадження лісів віком 100 і більше років, вегетативного походження – 6245,6 га; штучного – 7231,7 га (44%); не зімкнуті лісові культури – 176,6 га. Є еталонні насадження на площі 160 га, а також 11 плюсових дерев у Бритавському та Червоногребельському лісництвах. Розподіл лісів за походженням див. рис. 1.

Проте, в умовах Поділля спостерігається тенденція до зменшення площі дубових лісів природного походження. Порівнюючи з 1991 роком, в районі дослідження, площа лісів природного походження зменшилася на 295,4 га, а штучних насаджень збільшилося на 1264,7 га.

В лісових масивах НПП «Кармелюкове Поділля» в склад деревостанів входить дуб скельний, який, на відміну від дуба звичайного, добре поновлюється природно. Природне поновлення дуба скельного 9–14 ос/м<sup>2</sup> трапляється, майже, у всіх досліджувальних кварталах. А самосів дуба звичайного виявлено в деяких кварталах з щільністю 2–6 ос/м<sup>2</sup>. В стиглих деревостанах, для оцінки дубових насаджень з участю дуба скельного, закладено 19 пробних площ. Загальна характеристика деревостанів наведена в таблиці 1.

В складі деревостанів, з участю дуба скельного і дуба звичайного, їх кількість становить 2–6 одиниць. Середній діаметр дуба звичайного становить від 30,0 см до 44,5 см, а дуба скельного 23,4–45,3 см. Середній запас – 247 м<sup>3</sup>/га. Відсоток дуба звичайного в природних насадженнях становить 11,7–53,7%, відповідно дуба скельного 12,0–35,2%.

Проведено віковий аналіз деревостанів – частка молодняків становить – 11,9%, середньовікових – 41,8%, пристигаючих – 25,0%, стиглих та перестійних – 21,7%. Площа вікових насаджень *Quercus robur* L. та *Quercus petraea* в лісових системах НПП «Кармелюкове Поділля» відображена на рис. 2.

Найбільшу площу займають насадження дуба звичайного віком 130 і більше років. З екологічної точки зору, насадження природного насінневого походження у віці 100 і більше років, які мають у своєму складі шість і більше одиниць дуба, складають 18,9%, що свідчить про унікальність таких насаджень.

**Висновки.** На підставі проведених досліджень деревостанів з участю дуба звичайного і дуба скельного в умовах НПП «Кармелюкове Поділля» можна стверджувати, що загалом стан оцінено як задовільний. Площу 2958,4 га складають найбільш цінні насадження лісів віком 100 і більше років. Дослідження підтвердили, що природна стійкість корінних дубових насаджень, протягом багатьох десятиліть дає впевненість, що вони є одними з найбільш стабільних та практично мало вражаються шкідниками та хворобами.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані дані можуть бути використані для подальшого моніторингу стану дубових насаджень, біомоніторингу навколишнього середовища і оцінки його стану. Раціональним кроком слід зробити вибір на користь створення саме деревостанів із перевагою дуба звичайного в різних лісорослинних умовах. Природне поновлення дуба скельного в свіжій грабовій діброві є задовільним.

### Література

1. Ткач В.П. Сучасний стан природних лісостанів дуба звичайного Лівобережного Лісостепу України. Лісівництво і агролісомеліорація. Харків : УкрНДІЛГА, 2009. Вип. 116. С. 79–84.
2. Изюмский П.П., Молотков П.И., Ромашов Н.В. Лиственные леса УССР. Харьков : Вища школа, 1978. 184 с.
3. Остапенко Б.Ф., Ткач В.П. Лісова типологія. Харків, 2002. Ч. 2. 204 с.
4. Корнаковский Г.А. О возобновлении дубовых насаждений в Теллермановской роще. *Лесопромышленный вестник*. 1904. № 43. С. 43–48.
5. Морозов Г.Ф. Избранные труды. Т. 1. М. : Лесная промышленность, 1971. 560 с.
6. Шмідт В.Е. Природне і штучне поновлення в лісах Українського Правобережного Полісся. *Труди по лісовій дослідній справі на Україні*, вип. VII, Харків, 1992. С. 12–36.
7. Пятницький С.С. Методика исследования естественного семенного возобновления в лесах Левобережной Лесостепи Украины. Харьков : Изд-во Харк. ун-та, 1959. 38 с.
8. Василевський О.Г. Оптимізація процесу формування породного складу та товарної структури дубових деревостанів шляхом проведення доглядових рубань в умовах Вінниччини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2014. Вип. 1. С. 25–29.
9. Нейко І.С. Критерії оцінки стану дубових насаджень. Лісівництво і агролісомеліорація. Харків, 2002. Вип. 102. С. 35–45.
10. Левченко В.В. Природне насіннєве лісопоновлення у свіжих дібровах північної частини Правобережного Лісостепу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : 06.03.03. К., 2006. 19 с.
11. Ішук Г.П. Природне поновлення дуба і граба під наметом насаджень та на зрубах на ДП «Корсунь-Шевченківське лісове господарство». *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27. № 1. С. 15–18.

12. Романчук О.П. Динаміка змін у розподілі лісових насаджень НПП «Кармелюкове Поділля». Матеріали регіонального науково-практичного семінару «Оптимізація процесів поновлення корінних лісових насаджень в умовах Південно-Східного Поділля» (сміт Чечельник, Вінницька область. 8–10 вересня 2021 р.) Чечельник, 2021. С. 30–34.
13. Дудник Г.Л. Дубові лісові насадження на території НПП «Кармелюкове Поділля» – сучасний стан та перспективи. Матеріали I-ої Міжнародної науково-практичної конференції (Чечельник, 20–22 травня 2015 р.). «Екологічний контроль і моніторинг стану дубових лісів Поділля та особливості їх природного відновлення». Вінниця : ФОП Корзун Д.Ю, 2015. С. 50–53.
14. Дудник Г.Л., Шпак Н.П. Дослідження стану дубових насаджень природного походження віком понад сто років в НПП «Кармелюкове Поділля». Матеріали I-ої Міжнародної науково-практичної конференції (Чечельник, 20–22 травня 2015 р.). «Екологічний контроль і моніторинг стану дубових лісів Поділля та особливості їх природного відновлення». Вінниця : ФОП Корзун Д.Ю, 2015. С. 54–59.
15. Куземко А.А., Яворська О.Г., Ворона Є.І., Федорончук М.М., Воробйов Є.О., Марківська Л.В., Шпак Н.П. Еколого-ценотичні особливості дубових та грабово-дубових лісів національного природного парку «Кармелюкове Поділля». Матеріали I-ої Міжнародної науково-практичної конференції (Чечельник, 20–22 травня 2015 р.). «Екологічний контроль і моніторинг стану дубових лісів Поділля та особливості їх природного відновлення». Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю. 2015. С. 118–128.
16. Шпак Н.П. Обстеження стану вікових дубових насаджень природного походження в свіжих дібровах Південного Поділля. Міжнародна науково-практична конференція «Флористичне і ценотичне різноманіття у відновленні, охороні та збереженні рослинного світу» (23–25 квітня, 2018. Національний університет біоресурсів і природокористування України та кафедра ботаніки ННІ лісового і садово-паркового господарства). Київ, 2018. С. 45–46.
17. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання : СОУ 02.02-37-476:2006. Чинний від 2007-05-01]. Київ : Мінагрополітики України, 2006. 32 с. (Стандарт організації України).
18. Воробьев Д.В. Методика типологических исследований. Киев : Урожай, 1967. 388 с.
19. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии. Киев : Урожай, 1997. 560 с.
20. Бондар А.О., Гордієнко М.І. Формування лісових насаджень у дібровах Поділля. Київ : Урожай, 2006. 334 с.

---

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

---

**Абідов Султан Турсунович (Київ)** – професор кафедри зеленої економіки та економіки природокористування, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Адашевський Олег Володимирович (Харків)** – здобувач I року навчання кафедри хімічної техніки та промислової екології, Навчально-науковий інститут механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Алексєєва Анна Олександрівна (Миколаїв)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Алпатова Оксана Миколаївна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та екологічних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Андрєєв В'ячеслав Іванович (Миколаїв)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Балабак Алла Василівна (Умань)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва, старший науковий співробітник відділу дендрології та паркобудівництва, Національний дендрологічний парк «Софіївка» Національної академії наук України;

**Балабак Олександр Анатолійович (Умань)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач відділу генетики, селекції та репродуктивної біології рослин, Національний дендрологічний парк «Софіївка» Національної академії наук України;

**Безпальченко Віолета Михайлівна (Хмельницький)** – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, Херсонський національний технічний університет;

**Бессонова Валентина Петрівна (Дніпро)** – доктор біологічних наук, професор кафедри садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

**Биць Олена Володимирівна (Київ)** – магістр кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Близнюк Катерина Пантеліївна (Київ)** – старший викладач кафедри теоретичної і прикладної механіки, Державний університет інфраструктури та технологій;

**Богуславська Людмила Володимирівна (Дніпро)** – здобувач, науковий співробітник науково-дослідного інституту біології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Бойко Наталія Сергіївна (Біла Церква)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Дендропарк «Олександрія»;

**Бондар Олександр Богданович (Кременець)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

**Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

**Василенко Ольга Володимирівна (Умань)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

**Венгер Олена Олексіївна (Хмельницький)** – кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувачка кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, Херсонський національний технічний університет;

**Вовк Вадим Михайлович (Київ)** – голова, Громадська організація «Фонд сталого розвитку України»;

**Врадій Оксана Ігорівна (Вінниця)** – асистент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

**Гандзюра Володимир Петрович (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології та зоології, Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

**Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

**Гловин Надія Миронівна (Бережани)** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології, охорони навколишнього середовища та збалансованого природокористування, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»;

**Гордій Наталія Михайлівна (Кам'янець-Подільський)** – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

**Горобей Марина Сергіївна (Київ)** – кандидат технічних наук, директорка центру діджиталізації освітньої та наукової діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Гурський Ігор Миколайович (Умань)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

**Демчук Людмила Іванівна (Житомир)** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології та екологічних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Дмитренко Тетяна Володимирівна (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Дорошенко Юлія Валентинівна (Біла Церква)** – провідний інженер, Дендропарк «Олександрія»;

**Дудник Ганна Леонідівна (сmt. Чечельник)** – головний природознавець, Національний природний парк «Кармелюкове Поділля»;

**Ємець Анатолій Вадимович (Житомир)** – студент I курсу магістратури факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

**Зубцова Інна Володимирівна (Суми)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та ботаніки, Сумський національний аграрний університет;

**Іваненко Ірина Миколаївна (Київ)** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Іващенко Тарас Григорович (Київ)** – завідувач кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Івкіна Єлизавета Сергіївна (Хмельницький)** – студентка II курсу факультету інтегрованих технологій та дизайну, Херсонський національний технічний університет;

**Ігнатишин Адальберт Васильович (Львів)** – інженер відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С. І. Субботіна Національної академії наук України;

**Ігнатишин Василь Васильович (Львів)** – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С. І. Субботіна Національної академії наук України; доцент кафедри географії та туризму, Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II;

**Ігнатишин Моніка Бейлівна (Львів)** – провідний інженер відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С. І. Субботіна Національної академії наук України;

**Іжак Тібор Йосипович (Берегове)** – кандидат географічних наук, PhD, доцент, доцент кафедри географії та туризму, Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II;

**Калашнікова Людмила В'ячеславівна (Біла Церква)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Дендропарк «Олександрія»;

**Климковецький Антон Анатолійович (Київ)** – кандидат сільськогосподарських наук, асистент кафедри гідробіології та іхтіології, Національний університет біоресурсів та природокористування України;

**Ковальчук Вікторія Валентинівна (Київ)** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної і прикладної механіки, Державний університет інфраструктури та технологій;

**Кордуба Ірина Богданівна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Київський національний університет будівництва і архітектури;

**Крисінська Діана Олександрівна (Миколаїв)** – кандидат технічних наук, доцент (б.в.з.) кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Кузнєцов Сергій Іванович (Хмельницький)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, Херсонський національний технічний університет;

**Любинський Олександр Іванович (Кам'янець-Подільський)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

**Магась Наталія Іванівна (Миколаїв)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Малицький Дмитро Васильович (Львів)** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу Карпатського відділення, Інститут геофізики імені С. І. Субботіна Національної академії наук України;

**Марківська Любов Володимирівна (сmt. Чечельник)** – начальник науково-дослідного відділу, Національний природний парк «Кармелюкове Поділля»;

**Машков Олег Альбертович (Київ)** – професор кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Медвідь Олександр Володимирович (Житомир)** – директор, Товариство із обмеженою відповідальністю «ЕКО-МБ»;

**Михайлюк Віктор Іванович (Одеса)** – доктор географічних наук, професор кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру, Одеський державний аграрний університет;

**Мякушко Станіслав Анатолійович (Київ)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та зоології, Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Недорода Владислав Миколайович (Миколаїв)** – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Нікітіна Ольга Володимирівна (Умань)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

**Оводенко Тамара Сергіївна (Київ)** – аспірантка кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Онищук Ірина Петрівна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Павлів Олег Володимирович (Бережани)** – кандидат ветеринарних наук, доцент, завідувач кафедри екології, охорони навколишнього середовища та збалансованого природокористування, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»;

**Патлашенко Жанетта Іллівна (Київ)** – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри методології освіти для сталого розвитку, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Печений Володимир Леонідович (Київ)** – аспірант кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Піціль Андрій Орестович (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

**Радомська Маргарита Мирославівна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет;

**Романчук Олександр Пилипович (сmt. Чечельник)** – директор, Національний природний парк «Кармелюкове Поділля»;

**Семенченко Оксана Олександрівна (Хмельницький)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, Херсонський національний технічний університет;

**Семерня Оксана Миколаївна (Кам'янець-Подільський)** – доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

**Скуйбіда Олена Леонідівна (Запоріжжя)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці і навколишнього середовища, Національний університет «Запорізька політехніка»;

**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;

**Солошенко Вікторія Сергіївна (Біла Церква)** – молодший науковий співробітник, Дендропарк «Олександрія»;

**Сондак Василь Володимирович (Рівне)** – доктор біологічних наук, професор кафедри водних біоресурсів, Національний університет водного господарства та природокористування;

**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»;

**Сопова Надія Валеріївна (Умань)** – здобувачка вищої освіти третього (наукового) рівня спеціальності 103 «Науки про Землю», Уманський національний університет садівництва;

**Ткачук Олександр Петрович** – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

**Трохименко Ганна Григорівна (Миколаїв)** – доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Тютюнник Оксана Сергіївна (Кам'янець-Подільський)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

**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»;

**Федорчук Іван Вікторович (Кам'янець-Подільський)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;



**Халтурин Максим Борисович (Київ)** – старший викладач кафедри гідробіології та іхтіології, Національний університет біоресурсів та природокористування України;

**Хом'як Іван Владиславович (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Циганенко-Дзюбенко Ілля Юрійович (Житомир)** – аспірант, асистент кафедри екології та екологічні технології, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Цифра Юрій Миколайович (Харків)** – генеральний директор, ТОВ «Компанія з водозабезпечення «Бурвод»;

**Чонгова Аліна Сергіївна (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

**Шевченко Петро Григорович (Київ)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри гідробіології та іхтіології, Національний університет біоресурсів та природокористування України;

**Шевченко Роман Юрійович (Київ)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Шпак Ніна Петрівна (смт. Чечельник)** – доктор філософії, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу, Національний природний парк «Кармелюкове Поділля»;

**Яковлєв Валерій Володимирович (Харків)** – доктор геологічних наук, доцент, професор кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Яремчук Богдан Олександрович (Миколаїв)** – студент IV курсу, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Яремчук Ольга Миколаївна (Миколаїв)** – старший викладач кафедри медичної біології та фізики, мікробіології, гістології, фізіології та патофізіології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили.

Наукове видання

---

# ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

---

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

1(46)

---

- **Біологічна безпека**
- **Екологічна безпека**
- **Екологічний моніторинг**
- **Екологія водних ресурсів**
- **Екологія і виробництво**
- **Екологія та економіка природокористування**
- **Загальні питання екологічної безпеки**
- **Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття**
- **Земельні ресурси та ґрунти**
- **Інноваційні технології захисту довкілля**
- **Поводження з відходами**
- **Природно-заповідний фонд України**

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](http://www.ecoj.dea.kiev.ua)  
e-mail: [info@ecoj.dea.kiev.ua](mailto: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](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Підписано до друку 27.02.2023. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.  
Ум. друк. арк. 24,41. Тираж 100. Замовлення № 0323/134.  
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета