

ISSN 2786-6955

UDC 57:54:664

3

B H T 2025

BIOTA. HUMAN. TECHNOLOGY

International Scientific Journal

Electronic Edition





BHT

2025 | 3

International Scientific Journal

This is an international open-access, peer-reviewed electronic journal founded by the T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium".

The Journal publishes original research papers, review articles and short communication papers in the fields of Biological Sciences, Health, Food and Chemical Technologies.

The journal Biota. Human. Technology is included in the List of specialized scientific publications of Ukraine (category "B") in biological and technical sciences, in specialties **091 (Biology and biochemistry)**, **101 (Ecology)**, **161 (Chemical technologies and engineering)** (the order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 220 of February 21, 2024), **181 (Food technologies)** (the order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 582 of April 24, 2024).

Responsibility for facts, quotations, private names, enterprises and organizations titles, geographical locations etc. to be barred by the authors.

The Editorial Office and Board do not always share the views and thoughts expressed in the articles published.

The journal is governed by the provisions of an open permissive license [Creative Commons Attribution 4.0 \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Journal is indexed in databases and search engines:

Crossref ROAD WorldCat Simon Fraser University Library

V.I. Vernadskiy National Library of Ukraine EuroPub

Google Scholar ICI Journals Master List

Languages: English, Polish, Ukrainian

Frequency: 3 numbers a year

Founder: T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"

Publisher: T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"

Address of Editorial Office: 53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tel. +38(067)507-8805 (Oleksandr Lukash)

Email: bht.journal.nuchc@gmail.com

EDITORIAL BOARD

Oleksandr V. LUKASH
(Editor-in-Chief)

T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”, Ukraine
Doctor of Biological Sciences, Professor

Iryna M. KURMAKOVA
(Deputy Editor-in-Chief)

Doctor of Technical Sciences, Professor
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Olga I. SYZA
(Deputy Editor-in-Chief)

Doctor of Technical Sciences, Professor
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Józef ANTONOWICZ

Doctor of Technical Sciences, Professor
Pomeranian University in Słupsk, Poland

Olena S. BONDAR

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
National Technical University of Ukraine “Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

Yulia V. BONDARENKO

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
National Technical University of Ukraine “Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

Olena E. CHYHYRYNETZ

Doctor of Technical Sciences, Professor
National Technical University of Ukraine “Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

Nataliia R. DEMCHENKO

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Natalia V. GREVTSEVA

Ph.D. in Technical Sciences, Professor
V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

Vasyl V. HRUBINKO

Doctor of Biological Sciences, Professor
Ternopil Volodymyr Hnatiuk
National Pedagogical University, Ukraine

Yuri O. KARPENKO

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Olena Yu. KUPCHYK

Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Natalia M. KURHALUK

Doctor of Biological Sciences, Professor
Pomeranian University in Słupsk, Poland

Svitlana V. KYRIIENKO

Ph.D. in Biological Sciences
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Nadiia V. LAPITSKA

Ph.D. in Technical Sciences
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Anatoliy LEVANETS

PhD in Biological Sciences
North-West University, South Africa

Halina M. TKACZENKO
(Deputy Editor-in-Chief)

Doctor of Biological Sciences, Professor
Pomeranian University in Słupsk, Poland

Nataliia V. TKACHUK
(Deputy Editor-in-Chief, Managing Editor)

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Olga B. MEKHED

Doctor of Pedagogical Sciences,
Ph.D. in Biological Sciences, Professor
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Tetiana V. MOROZOVA

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
State Scientific Institution “Institute of Ecological
Restoration and Development of Ukraine”,
Kyiv, Ukraine

Svitlana H. OLIINYK

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
State Biotechnological University, Ukraine

Lee T. OSTROM

Ph.D., Professor
University of Idaho, USA

Kateryna V. RUBANKA

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
National University of Food Technologies, Ukraine

Olga V. SAMOKHVALOVA

Ph.D. in Technical Sciences, Professor
State Biotechnological University, Ukraine

Olesia M. SAVCHENKO

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, Ukraine

Mariia I. SHANAIDA

Doctor in Pharm. Sciences, Associate Professor,
Ph.D. in Biological Sciences
I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ukraine

Nataliia O. SMOLIAR

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
National University “Yuri Kondratyuk
Poltava Polytechnic”, Ukraine

Stepan N. VADZYUK

Doctor of Medical Sciences, Professor
I. Horbachevsky Ternopil National Medical
University, Ukraine

Viktoria I. VOROBYOVA

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

Liubov B. ZELENA

Ph.D. in Biological Sciences, Senior Research Fellow
Danylo Zabolotny Institute of Microbiology
and Virology, NAS of Ukraine, Ukraine

Foreword

from the Editor-in-Chief

There is no need to convince readers of the first our issue that the natural environment is created and maintained by living organisms, the totality of which is biota. The study of the diversity of living, which began since the day of Hippocrates, Aristotle, and Theophrastus, has not lost its relevance in the modern scientific world.

In the 21st century, the search for scientists in quite diverse – from inventory species diversity of ecosystems to the study of adaptation mechanisms of organisms and biota metagenomic studies.

The biota, for which there are no administrative boundaries, compensates for any environmental disturbances that do not exceed the threshold of destruction of the biota itself. This implies the need for international cooperation in various fields of living research. In order to bring together scholars who study different aspects of biotic potential of the environment and its conservation, we are launching the international scientific journal *Biota. Human. Technology*. We are the part of the Editorial Board of the Journal attracted scientists from different countries, who carry out scientific research in various fields of Biology, Ecology, Health, Food and Chemical Technologies.

We expect from our potential authors original articles dedicated to the results of diverse studies of living matter at different levels of the organization – from molecular to biosphere. We look forward to articles on the problems of the functioning of biological systems (including the human body), biodiversity protection of the environment, as well as healthy human nutrition and technological processes.

The BHT Journal pages always have a place to cover the results of scientific discussions which were made by researchers from all the world.

Respectfully Yours,
Prof. O. Lukash



CONTENTS



Юлія Ступак, Ержибет Козут

**БІОІНДИКАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ *ULMUS PUMILA* L.
У НАКОПИЧЕННІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ПОБЛИЗУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ**

Yuliia Stupak, Erzsébet Kohut

**BIOINDICATION POTENTIAL OF *ULMUS PUMILA* L. IN THE ACCUMULATION
OF HEAVY METALS NEAR RAILWAY TRACKS**

[in Ukrainian]

-12-

Мирослава Маринюк, Людмила Ковальська, Галина Ткаченко

**СТРУКТУРА ВЕГЕТАТИВНО-ГЕНЕРАТИВНОГО ПАГОНА
DRACAENA AETHIOPICA THUNB., BYNG & CHRISTENH.
(ASPARAGACEAE JUSS.)**

Myroslava Maryniuk, Lyudmyla Kovalska, Halina Tkaczenko

**THE STRUCTURE OF VEGETATIVE AND GENERATIVE SHOOTS OF *DRACAENA
AETHIOPICA* THUNB., BYNG & CHRISTENH. (ASPARAGACEAE JUSS.)**

[in Ukrainian]

-21-

Світлана Кирієнко, Юрій Карпенко, Ольга Мехед

**НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНІ ВИДИ ІНВАЗІЙНИХ РОСЛИН УРБАНОФЛОРИ
МІСТА ЧЕРНІГОВА**

Svitlana Kyryienko, Yurii Karpenko, Olha Mekhed

**THE MOST COMMON SPECIES OF INVASIVE PLANTS IN THE CHERNIHIV CITY
URBAN FLORA**

[in Ukrainian]

-30-

Олена Булах, Василь Буджак

PORTULACA SOCOTRANA (PORTULACACEA) У ФЛОРИ УКРАЇНИ

Olena Bulakh, Vasyl Budzhak

PORTULACA SOCOTRANA (Portulacaceae) IN THE FLORA OF UKRAINE

[in Ukrainian]

-38-

**Людмила Зав'ялова, Віталій Коломійчук, Оксана Кучер, Віталій Вірченко,
Вікторія Польська, Олена Міськова, Віра Протопопова, Мирослав Шевера**

**ВІДНОВЛЕННЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ,
ПОШКОДЖЕНОГО ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ
НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ЗАЛІСНЯ»**

*Liudmyla Zavialova, Vitaliy Kolomiichuk, Oksana Kucher, Vitaliy Virchenko,
Viktoria Polska, Olena Miskova, Vira Protopopova, Myroslav Shevera*

**RESTORATION OF VEGETATION COVER DAMAGED OF MILITARY ACTIONS
ON THE TERRITORY OF ZALISSIA NATIONAL NATURE PARK**

[in Ukrainian]

-45-

Тетяна Двірна, Валентина Мінарченко, Ірина Тимченко

**СТРУКТУРА ТА ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙ *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L.
У МЕЖАХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Tetiana Dvirna, Valentyna Minarchenko, Iryna Tymchenko

**STRUCTURE AND DYNAMICS OF *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L. POPULATIONS
WITHIN THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE**

[in Ukrainian]

-63-



ZOObiota

ФІТОБІОТА

Ishtvan Zhelitski

**ASSESSMENT AND IMPROVEMENT OF SCAT ANALYSIS METHODOLOGY FOR
DETERMINING RED FOX DIET**

Іштван Желіцькі

**ОЦІНКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ПОСЛІДУ ДЛЯ
ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНУ РУДОЇ ЛИСИЦІ**

[in English]

-74-

Ⓢ FUNCTIONING OF BIOLOGICAL SYSTEMS Ⓢ

ФУНКЦІОНУВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Юлія Вороніна-Тузівських, Вячеслав Полетай, Віктор Янченко

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕПАРАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОЛІЇ З ГОРІХІВ ТАМАНУ
(*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM* L.) НА МОДЕЛІ ПОВНОШАРОВИХ ТРАФАРЕТНИХ
РАН У ЩУРІВ**

Yuliia Voronina-Tuzovskih, Viacheslav Poletai, Viktor Yanchenko

**DETERMINATION OF THE REPAIR PROPERTIES OF TAMAN NUT OIL (*CALOPHYLLUM
INOPHYLLUM* L.) IN A MODEL OF FULL-LAYER STENCIL WOUNDS IN RATS**

[in Ukrainian]

-83-

Ⓢ ENVIRONMENTAL POLLUTION Ⓢ STRESSES AND ORGANISMS' RESPONSE

СТРЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ТА РЕАКЦІЯ ОРГАНІЗМІВ

Дмитрій Філоненко, Ольга Мехед

**БІОХІМІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ АФЛАТОКСИНУ B₁
НА РІВЕНЬ НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ У ТКАНИНАХ КАРАСЯ ЗВИЧАЙНОГО**

Dmytrii Filonenko, Olha Mekhed

**BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF AFLATOXIN B₁
ON THE LEVEL OF NUCLEIC ACIDS IN CURP TISSUES**

[in Ukrainian]

-95-

Наталія Симонова

**ІНТЕНСИВНІСТЬ ПЕРЕБІГУ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ ЛІПІДІВ
У ТКАНИНАХ КАРАСЯ ЗВИЧАЙНОГО ЗА ВПЛИВУ МІКОТОКСИНУ T₂**

Nataliia Symonova

**INTENSITY OF LIPID PEROXIDATION PROCESSES
IN CURB TISSUES UNDER THE INFLUENCE OF MYCOTOXIN T₂**

[in Ukrainian]

-103-

**Олександр Лукаш, Наталія Ткачук,
Віктор Янченко, Наталія Новосад**

**КСЕНОБІОТИКИ ТА ВТОРИННІ МЕТАБОЛІТИ МІКРОМІЦЕТІВ
ЯК ЧИННИКИ ЗМІН ЛІПІДНОГО ПРОФІЛЮ ТА
ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ В ТКАНИНАХ РИБ**

*Oleksandr Lukash, Nataliia Tkachuk,
Viktor Yanchenko, Nataliia Novosad*

**XENOBIOTICS AND SECONDARY METABOLITES OF MICROMYCETES
AS FACTORS OF CHANGES IN THE LIPID PROFILE
AND LIPID PEROXIDATION OF FISH TISSUES**

[in Ukrainian]

-111

Лідія Полотнянко

**ПОРІВНЯЛЬНА ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА М'ЯЗОВИХ ТКАНИН
РИБ ТА ССАВЦІВ, КОНТАМІНОВАНИХ АФЛАТОКСИНОМ В₁,
ЗА ІНДИКАТОРНОЮ КУЛЬТУРОЮ *TETRAHYMENA PYRIFORMIS***

Lidiia Polotniianko

**COMPARATIVE TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF MUSCLE TISSUES
OF FISH AND MAMMALS CONTAMINATED WITH AFLATOXIN B₁,
USING AN INDICATOR CULTURE *TETRAHYMENA PYRIFORMIS***

[in Ukrainian]

-122-

Марина Ячна, Олександр Третяк

**ОСОБЛИВОСТІ ПОРУШЕННЯ ЛІПІДНОГО ОБМІНУ
В КОРОПА ЛУСКАТОГО (*CYPRINUS CARPIO* L.)
ЗА ДІЇ ТОКСИКАНТІВ РІЗНОЇ ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ**

Maryna Yachna, Alexandr Tretyak

**PECULIARITIES OF LIPID METABOLISM DISRUPTION
IN COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO* L.) EXPOSED TO TOXICANTS
OF DIFFERENT CHEMICAL NATURE**

[in Ukrainian]

-132-

 ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION
OF ECOSYSTEMS
АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ
ЕКОСИСТЕМ

*Олена Бондар, Олександр Пархоменко, Ірина Курмакова,
Олександр Яковенко, Леся Ковальська, Анна Зуй*

**ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ ГІДРОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЧНЯНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ**

*Olena Bondar, Oleksandr Parkhomenko, Iryna Kurmakova,
Oleksandr Yakovenko, Lesia Kovalska, Anna Zyi*

**WATER QUALITY OF HYDROLOGICAL OBJECTS OF
ICHNYAN NATIONAL NATURE PARK**

[in Ukrainian]

- 145 -

Станіслав Душкін

ЗМІНА КЛІМАТУ ЯК КАТАЛІЗАТОР ВОДНИХ КОНФЛІКТІВ

Stanislav Dushkin

CLIMATE CHANGE AS A CATALYST FOR WATER CONFLICTS

[in Ukrainian]

- 153 -

Світлана Бойченко, Олена Козак, Юлія Андрішко, Валентин Яринка

**ОСОБЛИВОСТІ АЕРОЗОЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ
ЧАСТИНКАМИ PM_{2.5} І PM₁₀ ТА СТАН ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ
В М.КИЄВІ В 2024 РОЦІ**

Svitlana Boychenko, Olena Kozak, Yulia Andrishko, Valentyn Yarynka

**FEATURES OF AEROSOL POLLUTION OF ATMOSPHERE
BY PM_{2.5} AND PM₁₀ PARTICLES AND
THE STATE OF GREEN SPACES IN KYIV IN 2024**

[in Ukrainian]

- 166 -

 FOOD TECHNOLOGIES
ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Олена Шидакова-Каменюка, Олексій Шкляєв

**КОМПЛЕКСНА КВАЛІМЕТРИЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ
КРЕМОВО-ЗБИВНИХ ЦУКЕРОК ЗБАГАЧЕНИХ НАСІННЯМ ЧІА**

Olena Shydakova-Kameniuka, Oleksii Shklyaiiev

**COMPREHENSIVE QUALIMETRIC ASSESSMENT OF THE QUALITY
OF WHIPPED CREAM CANDIES ENRICHED WITH CHIA SEEDS**

[in Ukrainian]

- 180 -

*Elena Chernushenko, Anna Novik,
Serhii Khrychov, Alina Savchenko*

**FUNCTIONAL POTENTIAL OF SECONDARY TOMATO RAW MATERIALS:
DEVELOPMENT OF AN ANTIOXIDANT DRESSING
FOR HEALTHY NUTRITION**

*Олена Чернушенко, Ганна Новік,
Сергій Хричов, Аліна Савченко*

**ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ВТОРИННОЇ ТОМАТНОЇ СИРОВИНИ:
СТВОРЕННЯ АНТИОКСИДАНТНОГО ДРЕСИНГУ
ДЛЯ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ**

[in English]

-193-

Богдан Симонік, Юрій Полєвода

**ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У М'ЯСОПЕРЕРОБЦІ НА ОСНОВІ
МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ**

Bogdan Symonik, Yurii Polievoda

**OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES
IN MEAT PROCESSING BASED
ON MATHEMATICAL MODELS**

[in Ukrainian]

- 207 -

 CHEMICAL TECHNOLOGIES
ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

*Сергій Левченко, Антоніна Кустовська, Віталій Чумак, Олена Матвєєва,
Ігор Трофімов, Євгеній Гетманський*

**СИНТЕЗ ТА ОЧИЩЕННЯ ПОЛІМІКСИН В СУЛЬФАТУ:
ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ**

*Serhii Levchenko, Antonina Kustovska, Vitalii Chumak, Olena Matvyeyeva,
Ihor Trofimov, Yevhenii Hetmanskyi*

**SYNTHESIS AND PURIFICATION OF POLYMYXIN B SULFATE:
TECHNOLOGICAL ASPECTS AND MODERN APPROACHES**

[in Ukrainian]

– 220 –

 RESEARCH INTEGRITY
ДОБРОЧЕСНІСТЬ У ДОСЛІДЖЕННЯХ

*Олександр Лукаш, Галина Ткаченко, Аніта Сікура,
Ольга Мехед, Наталія Кургалюк*

**ПРОБЛЕМА ДОБРОЧЕСНОСТІ СУЧАСНИХ
БІОМЕДИЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

*Oleksandr Lukash, Halina Tkaczenko, Anita Szikura,
Olha Mekhed, Natalia Kurhaluk*

**THE PROBLEM OF INTEGRITY OF MODERN
BIOMEDICAL AND ENVIRONMENTAL RESEARCH**

[in Ukrainian]

– 231 –

 INSTRUCTIONS FOR AUTHORS
КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ

– 238 –



РНУТОВІОТА

ФІТОБІОТА





Copyright (c) 2025 Yuliia Stupak, Erzsébet Kohut

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Юлія Ступак, Ержибет Когут

**БІОІНДИКАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ *ULMUS PUMILA* L.
У НАКОПИЧЕННІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ПОБЛИЗУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ**

Yuliia Stupak, Erzsébet Kohut

**BIOINDICATION POTENTIAL OF *ULMUS PUMILA* L. IN THE ACCUMULATION
OF HEAVY METALS NEAR RAILWAY TRACKS****АНОТАЦІЯ**

Мета роботи. Дослідження спрямоване на визначення вмісту важких металів (Cu, Cd, Pb) у листі *Ulmus pumila* L. та ґрунті, відібраних безпосередньо в місцях зростання цього виду, на різних відстанях від залізничних колій на південно-східній околиці м. Чернігова. Основна увага приділялася порівняльному аналізу концентрацій між дослідними ділянками та контролем з метою оцінки можливостей використання *U. pumila* як біоіндикатора техногенного забруднення територій, що зазнають інтенсивного антропогенного навантаження.

Методологія. Листя *U. pumila* відбирали на відстані 2, 10 і 70 м від залізничних колій та на контрольній ділянці. Ґрунтові проби відбирали безпосередньо у місцях зростання досліджуваного виду. Відібрані зразки очищували від пилу, висушували, піддавали озоленню та аналізували методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії, що забезпечило отримання достовірних і точних кількісних даних. Для підвищення надійності результати визначали у десятикратній повторності, порівнювали з контрольними показниками та розраховували коефіцієнти транслокації, які дозволили оцінити здатність рослини транспортувати метали з ґрунту в надземні органи, а саме листя.

Наукова новизна. Здійснено комплексну оцінку вмісту Cu, Cd і Pb у листі *U. pumila* та ґрунті південно-східній околиці м. Чернігова, поблизу залізничних колій, із визначенням коефіцієнтів транслокації цих елементів. Встановлено здатність *U. pumila* ефективно акумулювати Pb із ґрунту та атмосфери, що розширює уявлення про її біоіндикаційні властивості й підтверджує доцільність використання цього виду як індикатора техногенного забруднення.

Висновки. Концентрації Cu, Cd і Pb у листі *U. pumila* перевищують контрольні значення, найбільші показники зафіксовані на відстанях 2–10 м від залізничних колій. Найбільш рухомим виявився Pb, для якого значення коефіцієнта транслокації перевищує 1, що свідчить про його активне надходження в листя. Отримані результати підтверджують можливість використання *U. pumila* як фітоіндикатора для моніторингу рівня забруднення важкими металами у зоні впливу залізничного транспорту.

Ключові слова: акумуляція, важкі метали, інвазійний вид, *Ulmus pumila* L., фітоіндикатор

ABSTRACT

Purpose of the work. The study is aimed at determining the content of heavy metals (Cu, Cd, Pb) in the leaves of *Ulmus pumila* L. and in the soil sampled directly at the sites of this species' growth, at different distances from railway tracks on the southeastern outskirts of Chernihiv. The main focus was placed on the comparative analysis of concentrations between the studied plots and the control in order to assess the potential of *U. pumila* as a bioindicator of technogenic pollution in areas exposed to intensive anthropogenic pressure.

Methodology. Leaves of *U. pumila* were collected at distances of 2, 10, and 70 m from railway tracks and at a control site. Soil samples were taken directly from the places of growth of the studied species. The collected samples were cleaned from dust, dried, ashed, and analyzed using atomic absorption spectrophotometry, which ensured the acquisition of reliable and accurate quantitative data. To increase the reliability of the results, measurements were performed in tenfold replication, compared with control values, and translocation coefficients were calculated to evaluate the ability of the plant to transfer metals from the soil to the aboveground organs, namely the leaves.

Scientific novelty. A comprehensive assessment of the content of Cu, Cd and Pb in the leaves of *U. pumila* and the soil of the southeastern outskirts of Chernihiv, near the railway tracks, was carried out, with the determination of the translocation coefficients of these elements. The ability of *U. pumila* to effectively accumulate Pb from the soil and atmosphere was established, which expands the understanding of its bioindicative properties and confirms the feasibility of using this species as an indicator of technogenic pollution.

Conclusions. The concentrations of Cu, Cd and Pb in the leaves of *U. pumila* exceed the control values, the highest values are recorded at distances of 2–10 m from the railway tracks. The most mobile was Pb, for which the value of the translocation coefficient exceeds 1, which indicates its active entry into the leaves. The results obtained confirm the possibility of using *U. pumila* as a phytoindicator for monitoring the level of heavy metal pollution in the area affected by railway transport.

Key words: accumulation, heavy metals, invasive species, *Ulmus pumila* L., phytoindicator

Вступ

На сьогодні питанням проблеми та контролю забруднення навколишнього середовища важкими металами є ключовим питанням в екології. Важкі метали природним чином містяться в довкіллі, однак при надмірному викиді внаслідок природних процесів або антропогенної діяльності можуть спричиняти екологічні проблеми (Sumalan et al., 2023). Ці хімічні елементи відносяться до гетерогенної групи елементів, різноманітної за функціями та хімічними властивостями. Більшість із них відноситься до перехідних елементів періодичної системи (Kiran et al., 2022). Одними з провідних джерел забруднення навколишнього природного середовища важкими металами є залізнична інфраструктура. Основний шлях надходження у ґрунтове середовище пов'язаний з транспортуванням вантажів, під час якого відбувається розсипання, розлив чи просипання речовин на колії та прилеглі території (Samarska & Zelenko, 2018).

Відомо, що концентрація важких металів зменшується зі збільшенням відстані від залізничних колій (Dimitrijević et al. 2024). Основними джерелами цих елементів є частинки, що внаслідок експлуатації інфраструктури, зокрема тертя деталей із залізом (Burkhardt et al. 2008). Залізничний транспорт вважається одним з провідних джерел забруднення Cu, Zn, Ni які потрапляють у природне середовище через стирання елементів рейок і рухомого складу. Свинець (Pb) надходить переважно з вихлопних газів (Brtnický et al. 2022). Значним джерелом кадмію (Cd), є зношування рейок і коліс, корозія металевих конструкцій, а також використання залізничних шпал, просочених креозотом (Dimitrijević et al. 2024). Таким чином, функціонування залізничного транспорту безпосередньо пов'язане з надходженням важких металів у ґрунт, воду та рослинність, що призводить до їх накопичення та екологічних ризиків.

Рослини, у свою чергу здатні акумулювати значну кількість важких металів із ґрунту, виконуючи роль природних біофільтрів. Тому вивчення механізмів і рівнів їх накопичення листям деревних порід в умовах техногенного забруднення є важливим етапом для визначення ефективних фітоіндикаторів придатних для моніторингу стану навколишнього природного середовища.

Також численні дослідження показали, що вплив важких металів може не тільки порушити ріст і розмноження рослин (Goyal et al., 2020) але й потенційно сприяти інвазійності немісцевих рослин. Наприклад, низка інвазійних видів рослин продемонструвала кращу стійкість до важких металів і підвищену здатність накопичувати ці метали порівняно з місцевими видами рослин, що надає їм конкурентну перевагу перед місцевими співіснуючими видами рослин (Lin et al., 2025).

Ulmus pumila (L.) – є досить поширеним інвазійним деревним видом на територіях прилеглих до залізничних колій розташованих на південно-західній околиці Чернігова. Вид добре адаптований до умов урбанізованого середовища про що свідчить його чисельність. Визначення концентрації важких металів у листі та водночас, дослідження ґрунту в місцях зростання цього виду дає змогу комплексно оцінити рівень техногенного навантаження й з'ясувати чи може він використовуватися як фітоіндикатор для моніторингу забруднення довкілля.

Накопичення вмісту важких металів в листях дерев і чагарників *U. pumila* досліджували у своїх роботах В. Бессонова та І. Зайцева в умовах зростання цього виду в промислових районах міста Дніпра (Bessonova & Zaytseva, 2008). У дослідженні Lu et al., (2024) було вивчено забруднення ґрунтів важкими металами та збагачувальну здатність місцевих рослин у районах видобутку вугілля в Гуанасі, Китай. Одним із досліджуваних видів є *U. pumila*, що дозволяє безпосередньо порівняти показники накопичення

металів (Lu et al., 2024). Здатність до поглинання свинцю в різних частинах рослин і фактори його впливу досліджували у своїх роботах Jia et al. (2022), а забруднення ґрунту та рослин важкими металами в районі старого залізничного вузла Тарновські-Гори описали Malawska & Wiłkomirski (2001).

Об'єктом дослідження є листя *U. pumila* та зразки ґрунту, відібрані в зоні залізничного транспорту.

Тож метою дослідження є визначення вмісту важких металів (Cu, Cd, Pb) та порівняльний аналіз концентрації цих хімічних елементів у листі *U. pumila* і в ґрунті в місцях зростання цього виду, окрема в умовах техногенного забруднення в зонах, прилеглих до залізничних шляхів на південно-західній околиці Чернігова.

Матеріали та методи дослідження

Відбір листя *U. pumila* проводився в травні 2025 року, в суху погоду, на територіях з різним рівнем забруднення. Збір проб листя здійснювали на відстані 2, 10 та 70 м від залізничних колій. Листя відбирали у дерев у різних частин крони на висоті 1 – 2 м. Контрольні проби зразків листя, відбирали з ділянок з найменшою ймовірністю техногенного забруднення. З поверхні зібраних листків у лабораторних умовах дистильованою водою змивали залишки пилу. Озолення рослинного матеріалу проводили за загальноприйнятою методикою. Для дослідження листя *U. pumila*, відбраного в зоні зростання біля залізничних шляхів, на вміст важких металів, використовували метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Результати вмісту важких металів у листі *U. pumila* було порівняно з контролем. Для забезпечення достовірності даних

відбір зразків листя та ґрунту проводили десятикратно в кожній дослідній зоні.

Ґрунтові проби для визначення вмісту важких металів відбиралися у безпосередньому місці зростання досліджуваних представників *U. pumila* у поліетиленові пакети з фіксацією місця збору. Безпосередньо після відбирання проби ґрунту висушували до повітряно-сухого стану у приміщенні, яке добре провітрювалося. Далі відбирали середню пробу масою 200 г (для визначення кожного, розсипали на кальці й розминали товкачиком великі грудки, розтирали у ступці і просіювали через сито). Вміст рухомих форм важких металів (в амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8), зокрема Cu, Cd, Pb у ґрунті визначали за загальноприйнятими методами згідно ДСТУ 4770.2:2007 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine, 2007, 2008, 2009).

Визначали коефіцієнт транслокації важких металів із ґрунту в листя *U. pumila* за такою формулою:

$$K_{тр} = \frac{C_{гр}}{C_{л}}$$

де $K_{тр}$ – коефіцієнт транслокації;

$C_{гр}$ – вмісту рухомих форм елемента в ґрунті;

$C_{л}$ – вміст елемента в листках (Hussain et al., 2022).

Результати дослідження та обговорення

Результати дослідження показали, що в листі *U. pumila*, за умов зростання в зонах прилеглих до залізничних шляхів, накопичення важких металів вище, ніж за умов контролю (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст важких металів у листі *U. pumila*, (мг/кг)

№ ділянки (місце відбору)	Елемент		
	Cu	Cd	Pb
Ділянка № 1 (2 м від залізничних колій)	2,880 ± 0,340	0,026 ± 0,0021	0,670 ± 0,070
Ділянка № 2 (10 м від залізничних колій)	2,730 ± 0,280	0,031 ± 0,005	0,540 ± 0,040
Ділянка № 3 (70 м від залізничних колій)	2,190 ± 0,210	0,018 ± 0,001	0,150 ± 0,010
Контроль	2,170 ± 0,210	0,017 ± 0,001	0,120 ± 0,010

Вміст купруму у листі *U. pumila* (рис. 1) у зоні, прилеглій до залізничних шляхів перевищує контрольні значення у 1,00 – 1,33 раза.

Найбільший вміст Cu зафіксовано в зразках, відібраних для дослідження на відстані 2 м від залізничних колій. Аналіз вмісту кадмію (рис. 2) показав максимальне значення 0,031 мг/кг у зразках з ділянки 2 (10 м від колій), що у 1,7 раза вище порівняно з контролем. Також зафіксовано підвищення концентрації Cd на ділянках 1 та

3 – у 1,5 та 1,05 раза відповідно. Встановлено перевищення у 1,25 – 5,5 раза вмісту Pb в листі *U. pumila* відносно контролю (рис. 3). Найвищі концентрації Pb спостерігаються на ділянці 1, розташованій безпосередньо біля залізничних колій.

Таким чином, результати дослідження показали, що листя *U. pumila* зібране на відстані 2 і 10 м від залізничних колій характеризується найвищим вмістом важких металів у порівнянні з контрольними ділянками.

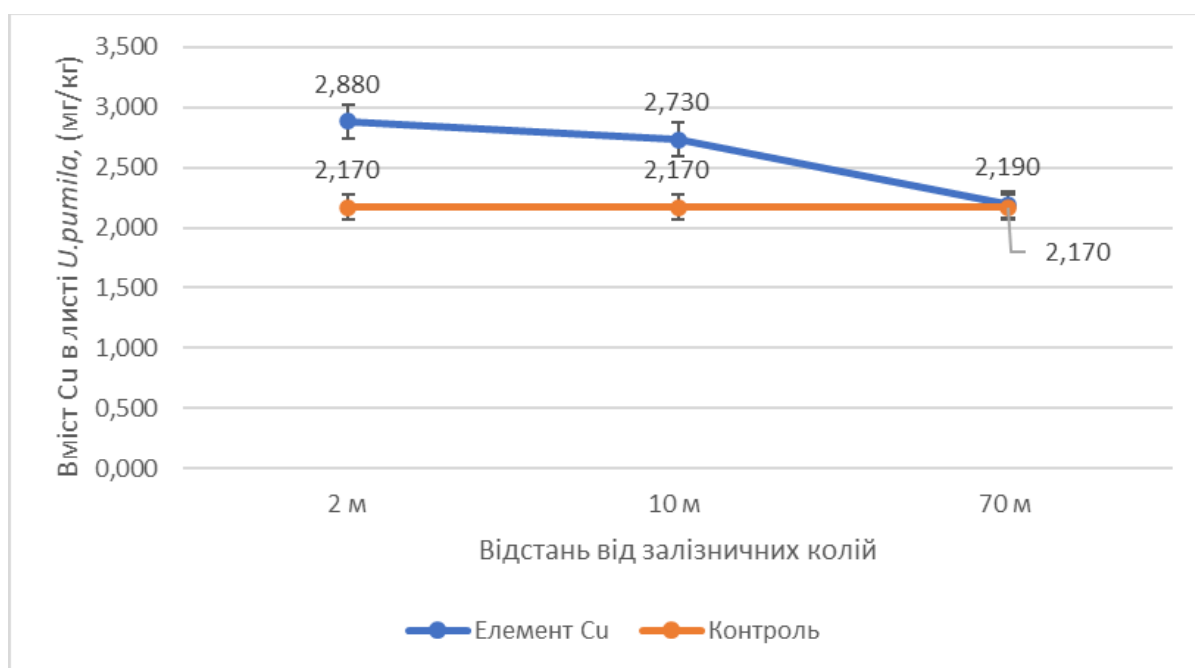


Рис. 1. Вміст Cu в листі *U. pumila* у порівнянні з контролем

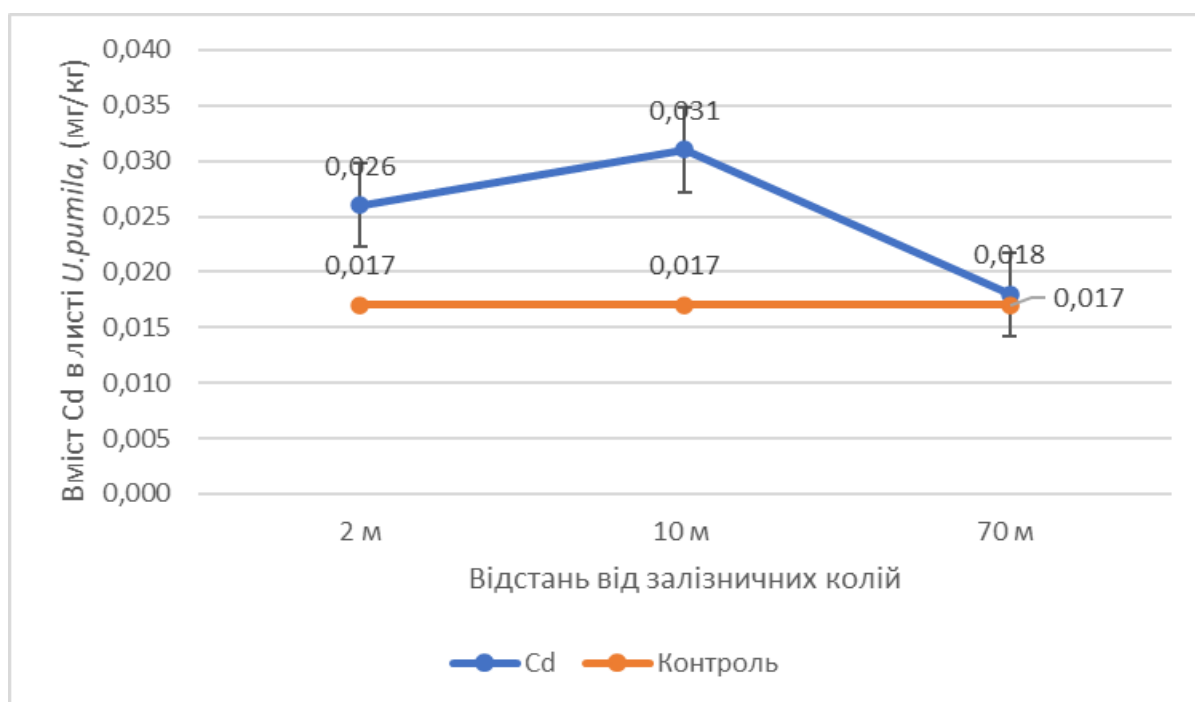


Рис. 2. Вміст Cd в листі *U. pumila* у порівнянні з контролем

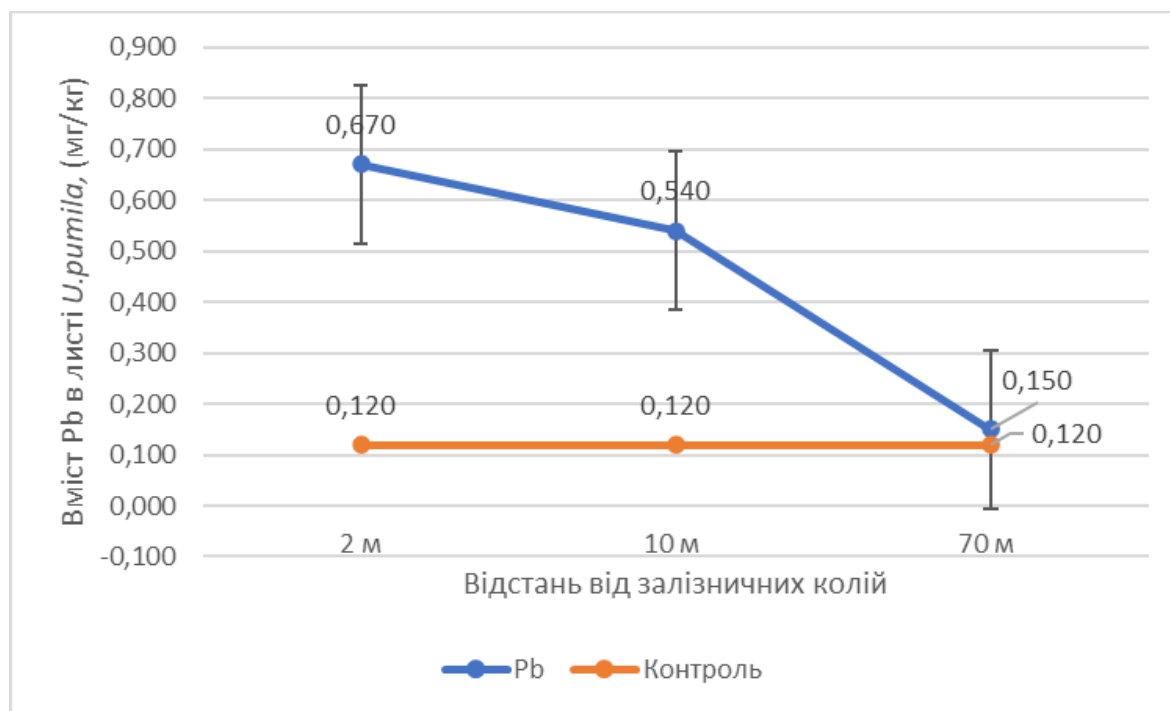


Рис. 3. Вміст Pb в листі *U. pumila* у порівнянні з контролем

Представлені результати експериментальних досліджень накопичення іонів важких металів у листі *U. pumila*, створюють підґрунтя для аналізу їхньої подальшої транслокації в системі «грунт-рослина». Концентрації важких металів в ґрунті поблизу залізничних колій представлені в таблиці 2.

На основі отриманих даних було розраховано коефіцієнти транслокації, результати яких подано на рис. 4. Аналіз надходження іонів важких металів у листя контрольних зразків дав змогу об'єктивно визначити ступінь їх доступності в ґрунтовому середовищі.

Таблиця 2

Концентрація важких металів в ґрунті поблизу залізничних колій (мг/кг)

№ ділянки (місце відбору)	Елемент		
	Cu	Cd	Pb
Ділянка № 1 (2 м від залізничних колій)	0,4900 ± 0,01	0,0079 ± 0,0002	0,6200 ± 0,02
Ділянка № 2 (10 м від залізничних колій)	0,3600 ± 0,01	0,0053 ± 0,0002	0,8100 ± 0,02
Ділянка № 3 (70 м від залізничних колій)	0,2500 ± 0,01	0,0042 ± 0,0001	0,5000 ± 0,02
Контроль	0,2500 ± 0,01	0,0041 ± 0,0001	0,5400 ± 0,02

Згідно з даними на рис. 4, для Cd і Cu як у контрольних умовах, так і за впливу залізничного забруднення значення коефіцієнту транслокації перебувають у межах 0,11 – 0,3 (транслокаційний коефіцієнт < 1,0). Це свідчить про наявність антиконцентраційного бар'єра (Котарова, 2019), що зумовлює обмежене переміщення цих елементів із ґрунту в листя *U. pumila*. Такі результати

можуть пояснюватися як внутрішніми механізмами детоксикації рослини, так і низькою мобільністю металів у ґрунтовому середовищі (Tang. et al., 2023).

Для Pb на ділянках, розташованих ближче до залізничних шляхів значення коефіцієнта транслокації коливається в межах 1,5 – 4,25 (транслокаційний коефіцієнт > 1). Це вказує на активне поглинання та транс-

портування цього елемента в листя рослини, причому його значення істотно перевищує показники для Cd і Cu. Особливо високий рівень зафіксовано в контрольній зоні (4,25), що може бути пов'язано з додатковим надходженням Pb з атмосферного повітря, зокрема через близьке розташування ТЕЦ

(Komarova, 2019). Таким чином, визначені нами коефіцієнти транслокації для Pb підтверджують безбар'єрний характер його надходження в рослину в системі «грунт-листок» на ділянках 10 м, 70 м та контрольній зоні.

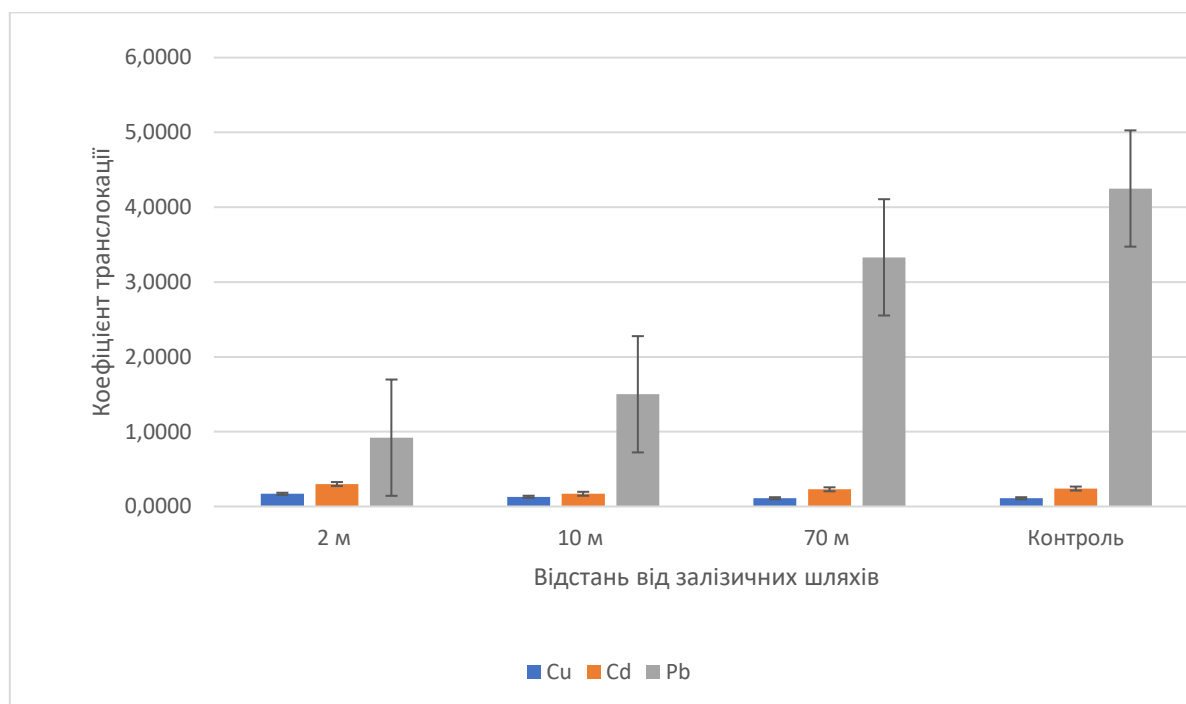


Рис. 4. Значення коефіцієнту транслокації важких металів із ґрунту в листя *U. pumila*

Згідно з отриманими результатами, найвищий рівень вмісту Cu у ґрунті зафіксовано на ділянці 2 м від залізничних шляхів, що перевищує контроль у 1,96 раза, тоді як у листі – у 1,3 раза. Аналогічні тенденції було виявлено у дослідженні Malawska & Wiłkomirski (2001), де концентрація Cu в ґрунті в районі залізничного вузла Тарновське Гури та в листі *Taraxacum officinale* була найвищою поблизу колій і зменшувалася зі збільшенням відстані, що підтверджує вплив залізничного транспорту як джерела забруднення.

Максимальний вміст Cd у листі *U. pumila* зафіксовано на відстані 10 м від колій і становив 0,031 мг/кг, що в 1,52 раза перевищує контроль (0,017 мг/кг). Для порівняння за даними Lu et al. (2024), середній вміст Cd у листі *U. pumila* у районах вугільних шахт Ганьсу (Китай) становив 0,07 мг/кг, що у 4,12 раза вище від нашого контрольного рівня. Це свідчить про суттєво вищий рівень техногенного забруднення

ґрунтів у районах гірничодобувної діяльності. Отримані результати підтверджують здатність *U. pumila* до накопичення Cd, проте рівень акумуляції істотно залежить від екологічних умов.

Вміст Pb у ґрунті перевищує контрольні показники в 1,1 раза, тоді як у листі *U. pumila* – у 5,5 раза, що свідчить про значне переважання акумуляції цього металу у надземних органах. Подібні результати наведено у дослідженні Jia et al., 2022, де встановлено здатність деревних видів, у тому числі *U. pumila*, інтенсивно накопичувати Pb у листі. Таким чином, свинець виявився найбільш рухомим елементом, що свідчить про його активне транспортування з ґрунту до листя.

Висновки

Результати дослідження підтверджують, що *U. pumila* може бути ефективним фітоіндикатором рівня забруднення важкими металами у зонах впливу залізничного

транспорту. Встановлено, що концентрації Cu, Cd і Pb у листі значно перевищують контрольні значення, причому найбільш мобільним елементом є Pb, тоді як Cu і Cd характеризуються проявами бар'єрних механізмів. Здатність *U. pumila* до накопичення

важких металів за умов збереження життєздатності свідчить про перспективність використання цього виду як біоіндикатора у системах моніторингу техногенного забруднення навколишнього природного середовища.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до автора / Dataset available on request from the author.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Незастосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Незастосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

Babar, H., Abbas, Y., Shafeeq ur-Rahman, Ali, H., Zafar, M., Ali, S., Ashraf, M. N., Zehra, Q., Espinoza, S. T. L., & Valderrama, J. R. D. (2022). Metal and metalloids speciation, fractionation, bioavailability, and transfer toward plants. In T. Aftab & K. Hakeem (Eds.), *Metals Metalloids Soil Plant Water Systems* (pp. 29–50). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91675-2.00026-3>

Bessonova, V. P., & Zaytseva, I. A. (2008). The content of heavy metals in the leaves of trees and shrubs under conditions of technogenic pollution of different origin. *Issues of Bioindication and Ecology*, 13(2), 62–77. (In Ukrainian) https://sites.znu.edu.ua/bioindication/issues/2008-13-2/bessonova_zaiyceva.pdf

Бессонова В. П., Зайцева І. А. Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження. *Питання біоіндикації та екології*. 2008. Вип. 13, № 2. С. 62–77. https://sites.znu.edu.ua/bioindication/issues/2008-13-2/bessonova_zaiyceva.pdf

Brtnický, M., Pecina, V., Juříčka, D., Kowal, P., Vašinová Galiová, M., Baltazár, T., & Radziemska, M. (2022). Can rail transport-related contamination affect railway vegetation? A case study of a busy railway corridor in Poland. *Chemosphere*, 293, 133521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133521>

Burkhardt, M., Rossi, L., & Boller, M. (2008). Diffuse release of environmental hazards by railways. *Desalination*, 226(1–3), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.102>

Dimitrijević, J., Zlatanovic, E., Bonic, Z., Đorđević, D.M., & Zafirovski, Z. (2024). Railway transportation as a cause of cadmium pollution. In *XXI International Scientific-expert Conference on Railways RAILCON '24* (pp. 89–92). Niš: University of Niš. <https://doi.org/10.5937/Railcon24091D>

Goyal, D., Yadav, A., Prasad, M., Singh, T. B., Shrivastav, P., Ali, A., Dantu, P. K., & Mishra, S. (2020). Effect of heavy metals on plant growth: An overview. In M. Naeem, A. A. Ansari, & S. S. Gill (Eds.), *Contaminants in agriculture: Sources, impacts and management* (pp. 79–101). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_4

Jia, L., Ma, H., Guan, Y., Zou, L., Jiang, L., Hang, Y., Feng, X., Ren, X., Tian, Y., Pan, H., & Rong, S. (2022). Lead absorption capacity in different parts of plants and its influencing factors: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24718-7>

Kiran, Bharti, R., & Sharma, R. (2022). Effect of Heavy Metals: An Overview. *Materials Today: Proceedings*, 51(1), 880–885. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.278>

Komarova, I. O. (2019). *Ecological-biological features of Taraxacum officinale Wigg to the action of heavy metals in the conditions of industrial Kryviy Rih* [Candidate's dissertation, Oles Honchar Dnipro National University]. (In Ukrainian) Dspace Repository <https://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/4165>

Комарова І. О. Еколого-біологічні особливості *Taraxacum officinale* Wigg за дії забруднення важкими металами в умовах промислового Криворіжжя : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. / Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара МОН України. Дніпро, 2019. <https://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/4165>

Lin, T., Manan, A., Yang, S., Zhu, G., Wang, Y., Dai, Z., Vrieling, K., & Li, B. (2025). Heavy metal pollution enhances pathogen resistance of an invasive plant species over its native congener. *Functional Ecology*, 39, 1096–1111. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.70011>

Lu, J., Gao, L., & Wang, H. (2024). Contamination characteristics of heavy metals and enrichment capacity of native plants in soils around typical coal mining areas in Gansu, China. *Scientific Reports*, 14, 29983. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81740-0>

Malawska, M., & Wilkomirski, B. (2001). An analysis of soil and plant (*Taraxacum officinale*) contamination with heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the area of the railway junction Ilawa Glowna, Poland. *Water, Air and Soil Pollution*, 127, 339–349. <https://doi.org/10.1023/A:1005236016074>

Samarska, A. V., & Zelenko, Y. V. (2018). Assessment of the railway influence on the heavy metal accumulation in soil. *Science and Transport Progress*, 4(76), 25–35. <https://doi.org/10.15802/stp2018/140551>

State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine. (2007). Soil quality. Determination of the content of mobile compounds of cadmium in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry: DSTU 4770.3:2007. (In Ukrainian)

ДСТУ 4770.3:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2007-04-28]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарту України, 2009. 9 с.

State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine. (2008). Soil quality. Determination of the content of mobile compounds of copper in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry: DSTU 4770.6:2007. (In Ukrainian)

ДСТУ 4770.6:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2007-04-28]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарту України, 2008. 9 с.

State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine. (2009). Soil quality. Determination of the content of mobile compounds of lead in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry: DSTU 4770.9:2007. (In Ukrainian)

ДСТУ 4770.9:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2007-04-28]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарту України, 2009. 9 с.

Sumalan, R. L., Nescu, V., Berbecea, A., Sumalan, R. M., Crisan, M., Negrea, P., & Ciulca, S. (2023). The impact of heavy metal accumulation on some physiological parameters in *Silphium perfoliatum* L. plants grown in hydroponic systems. *Plants*, 12(8), 1718. <https://doi.org/10.3390/plants12081718>

Tang, Z., Wang, H. Q., Chen, J., Chang, J. D., & Zhao, F. J. (2023). Molecular mechanisms underlying the toxicity and detoxification of trace metals and metalloids in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 65, 570–593. <https://doi.org/10.1111/jipb.13440>

Received: 28.09.2025. Accepted: 27.10.2025. Published: 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Ступак Ю., Когут Е. Біоіндикаційний потенціал *Ulmus pumila* L. у накопиченні важких металів поблизу залізничних колій. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.1>

Cite this article in APA style as:

Stupak, Yu., & Kohut, E. Bioindikatsiyni potentsial *Ulmus pumila* L. u nakopychenni vazhkykh metaliv poblyzu zaliznychnykh kolii [Bioindication potential of *Ulmus pumila* L. in the accumulation of heavy metals near railway tracks]. *Biota. Human. Technology*, (3), 12–20. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.1> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Stupak Yu. [in Ukrainian: **Ступак Ю.**] ¹, PhD student, email: yuli.reb100@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2514-2577

Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Kohut E. [in Ukrainian: **Когут Е.**] ², PhD (Biology), Assoc. Prof., email: kohut.erszebet@kmf.org.ua
ORCID: 0000-0002-7614-1606

Department of Biology and Chemistry, Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education
6 Kossuth square, Beregszász, Transcarpathia, 90200, Ukraine

¹ Study design, data collection, manuscript preparation, funds collection

² Data collection and analysis, manuscript preparation.



Copyright (c) 2025 Myroslava Maryniuk, Lyudmyla Kovalska, Halina Tkaczenko

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Мирослава Маринюк, Людмила Ковальська, Галина Ткаченко

**СТРУКТУРА ВЕГЕТАТИВНО-ГЕНЕРАТИВНОГО ПАГОНА
DRACAENA AETHIOPICA THUNB., BYNG & CHRISTENH.
(ASPARAGACEAE JUSS.)**

Myroslava Maryniuk, Lyudmyla Kovalska, Halina Tkaczenko

**THE STRUCTURE OF VEGETATIVE AND GENERATIVE SHOOTS OF *DRACAENA
AETHIOPICA* THUNB., BYNG & CHRISTENH. (ASPARAGACEAE JUSS.)****АНОТАЦІЯ**

Мета роботи. Дослідити особливості будови пагонової системи та елементарного пагона *Dracaena aethiopica* Thunb., Byng & Christenh. (syn. *Sansevieria aethiopica* Thunb.) (Asparagaceae Juss.) як маркера адаптаційної здатності.

Методологія. Матеріалом для досліджень слугували рослини з оранжерейної колекції НБС ім. М.М. Гришка НАН України. Будову вегетативних і генеративних органів аналізували шляхом препарування та вивчення бруньок і пагонів за допомогою біокулярної лупи МБС-1 та стереомікроскопа «STEMI-2000» (Carl Zeiss, Німеччина) з фотокамерою Canon PowerShot G5. Досліджували листові серії, розміри й взаємне розташування листків, кількість та інші морфологічно-функціональні особливості. Структуру бруньок і кількість листових зачатків визначали під біокулярном. Дані вносили в Excel, гістограми будували за допомогою вбудованих алгоритмів, графічні реконструкції виконували в CorelDraw. Для описів морфоструктури використовували загальноприйняту термінологію.

Наукова новизна. Встановлено, що пагонова система *D. aethiopica* складається з пагонів відновлення з анізотропним ростом: початково діагеотропним (плагіотропним), далі клиноапогеотропним (ділянка повороту) та ортоапогеотропним (ортотропним – вегетативним і генеративним). Галуження здебільшого мезотонічне й локалізується в ділянці повороту. Пагони наступних порядків формуються у вузлах другої гетеротропної частини, зазвичай 1–2 (рідше 3). Малий життєвий цикл пагона триває 4–5 років і завершується генеративною фазою, що свідчить про поліциклічність пагонів. Плагіотропна частина утворена метамерами з листками низової формації та сплячими бруньками; іноді вона є зоною закладання пагонів наступного порядку. Ортотропна частина формує перехідні й асимілюючі листки та сплячі бруньки. Генеративна частина розвивається з апікальної меристеми вегетативного пагона й представлена віссю суцвіття з паракладіями, що утворюють фрондулозно-брактеозний нерозгалужений тирс з гелікоїдними цимоїдами як парціальними суцвіттями.

Висновки. *D. aethiopica* має вегетативно-генеративний елементарний пагін, у якому апікальна меристема переходить у флоральну стадію та формує тирс з гелікоїдними цимоїдами. Складовими елементами пагона є три ділянки – плагіотропна, гетеротропна та ортотропна, у межах яких спостерігається варіювання довжини й форми листків та міжвузлів.

Ключові слова: *Dracaena aethiopica*, пагонова система, елементарний пагін, метамер, гелікоїдні цимоїди

ABSTRACT

Purpose of the work. To investigate the structural features of the shoot system and the elementary shoot of *Dracaena aethiopica* Thunb., Byng & Christenh. (syn. *Sansevieria aethiopica* Thunb. (Asparagaceae Juss.).

Methodology. The study was based on plants from the greenhouse collection of the M.M. Gryshko National Botanical Garden, NAS of Ukraine. Vegetative and generative organs were examined by dissecting buds and shoots using a binocular magnifier MBS-1 and a stereomicroscope STEMI-2000 (Carl Zeiss, Germany) with a Canon PowerShot G5 camera. Leaf series were analysed for size, arrangement, number, and morphological traits. Bud structure and the number of leaf primordia were studied under the binocular magnifier. Data were processed in Excel with histograms built using built-in tools; graphical reconstructions were prepared in CorelDraw. For descriptions of morphostructure, generally accepted terminology.

Scientific novelty. The shoot system of *D. aethiopica* consists of renewal shoots with anisotropic growth: initially diageotropic (plagiotropic), then clinoapogeotropic (turning zone), and finally orthoapogeotropic (orthotropic).

vegetative and generative). Branching is mainly mesotonic, localized in the turning zone. Higher-order shoots arise from buds in shortened internodes of the second heterotropic part, usually 1–2 (rarely 3). The shoot life cycle lasts 4–5 years or longer, ending in the generative phase, indicating polycyclic shoots. The plagiotropic zone consists of metamers with cataphylls, dormant buds, and roots, occasionally producing higher – order shoots. The orthotropic zone forms transitional and assimilating leaves with dormant buds. The generative zone develops from the apical meristem of a vegetative shoot and consists of the main inflorescence axis and paracladia, forming a frondulose - bracteose, unbranched, open thyrse with helicoid cymes as partial inflorescences.

Conclusions. *D. aethiopica* has a vegetative-generative elementary shoot, where the apical meristem enters the floral stage and produces a thyrse with helicoid cymes. Three structural zones are distinguished – plagiotropic, heterotropic, and orthotropic – each showing variability in leaf shape, size, and internode length.

Key words: *Dracaena aethiopica*, shoot system, elementary shoot, metamer, helicoid cymoids

Вступ

Дослідження архітектури рослин – це дисципліна, завданням якої є з'ясувати та пояснити форму й структуру рослини, а також процеси, що лежать в основі їх формування (Barthélémy, 1991). Усі пагони рослин можна описати як серію модулів розвитку, що називаються фітомерами та утворюються з апікальних меристем пагона (McSteen & Leyser, 2005).

У судинних рослин різноманітність архітектури – розміри, форма та просторове розташування органів – є результатом реалізації морфогенетичної програми, що здійснюється низкою фізіологічних процесів і перебуває під генетичним контролем (Barthélémy & Caraglio, 2007).

Дані щодо структури пагона та пагонової системи рослин мають не лише фундаментальне значення в біології (філогенія, розробка концепції типів життєвих форм, молекулярна генетика, концепція *evo-devo*) (Sattler & Rutishauser, 2023), але й важливі для практичного застосування в різних галузях біології: біотехнологічній, генній інженерії, фіторемедіації, фітофармакології. Ці галузі науки наразі інтенсивно розвиваються, оскільки пов'язані з ключовими проблемами сьогодення: продовольчою безпекою, глобальними змінами клімату, розробкою систем «біофільтрації» повітря, основаних на використанні фіторемедіаційного потенціалу рослин, пошуком джерел отримання препаратів рослинного походження для лікування широкого спектру захворювань.

Як модельний об'єкт для цього дослідження було обрано *Dracaena aethiopica* Thunb., Byng & Christenh. (синонім *Sansevieria aethiopica*), що належить до родини Asparagaceae Juss. порядку Asparagales (Govaerts et al., 2021). Представники кладу *Sansevieria* Thunb. у складі роду *Dracaena* Vand. ex L. (van

Kleinwee et al., 2022; Hetterscheid, 2024), відомі насамперед як декоративні рослини, останнім часом інтенсивно досліджують у зв'язку з їхньою здатністю поглинати з повітря леткі органічні сполуки, очищувати його від шкідливих аерозольних часточок РМ (Permana et al., 2024), виступати гіпер-аккумуляторами важких металів (Li & Yang, 2020), а також завдяки широкому спектру біологічної активності, зокрема антимікробній, антиоксидантній, цитотоксичній тощо (Buyun et al., 2016; Tkachenko et al., 2017; Thu et al., 2020; Jasna et al., 2025).

Метою цього дослідження було з'ясувати особливості будови пагонової системи та елементарного пагона *Dracaena aethiopica* Thunb., Byng & Christenh. (syn. *Sansevieria aethiopica* (Asparagaceae), як маркера адаптаційної здатності.

Це дослідження є продовженням циклу робіт, спрямованих на комплексне вивчення морфоструктури пагонової системи представників кладу *Sansevieria* (Marinuk & Kovalska, 2014; Marinyuk & Maltsov, 2016).

Матеріали та методи дослідження

Матеріалом для досліджень були десять дорослих рослини із оранжерейної колекції, отриманих шляхом вегетативного розмноження. Назва таксонів наведена відповідно до World Checklist of Vascular Plants (WCVP: <https://powo.science.kew.or>) (Govaerts et al., 2021). Аналіз будови вегетативних і генеративних органів здійснювали шляхом препарування та вивчення бруньок і пагонів за допомогою бінокулярної лупи МБС-1 та стереомікроскопа «STEMI-2000» (Carl Zeiss, Німеччина), обладнаного дзеркальною фотокамерою Canon PowerShot G5. Довжину пагонів, листків і міжвузлів вимірювали лінійкою з ціною поділки 1 мм, діаметр пагонів – за допомогою штангенциркуля. Досліджували листові серії

пагонів, фіксували розміри та взаємне розташування листків, їх кількість та інші морфо-функціональні особливості. Структуру бруньок і кількість листових зачатків визначали під біокуляром. Отримані дані вносили в таблиці Excel; побудову гістограм листових серій здійснювали з використанням вбудованих інструментів графічного аналізу. Графічну реконструкцію будови пагона виконували у програмі CorelDraw. Морфоструктурний опис проводили з використанням відповідної спеціалізованої термінології (Nechytaylo & Kucheryava, 2005; Novikov & Varabash-Krasny, 2015). Аналіз будови парціальних суцвіть проводили за методологією Н-Г Budweg, (2016).

Результати дослідження та обговорення

Dracaena aethiopica – кореневищний геофіт, який зростає переважно у пустелі або в посушливому чагарниковому біомі. Природний ареал цього виду охоплює

Південну Африку (Ботсвана, Південно-Африканська Республіка, Мозамбік, Намібія, Замбія, Зімбабве) (Govaerts et al., 2021).

У результаті вивчення особливостей морфологічної будови пагонової системи та елементарного пагона рослин *D. aethiopica* було встановлено, що елементарний пагін (пагін відновлення) – багаторічний, трав'яний, поліциклічний, з одним періодом росту в циклі. Кількість метамерів у пагоні складає від 239 до 277; довжина пагона варіює в діапазоні від 154,0 до 177,0 см.

Плагіотропна ділянка складається з 18 – 22 метамерів, від 15,0 до 22,5 см завдовжки, від 1,5 до 2,0 см у діаметрі, світло-коричневого кольору. Довжина міжвузлів цієї частини варіює від 0,2 до 2,4 см (рис. 1). Причому довжина перших двох-п'яти міжвузлів становить у середньому 0,6 см; довжина наступних 15 міжвузлів збільшується (в середньому становить 1,1 см). Довжина останніх одного-двох метамерів не перевищує 0,8 см (рис. 2).

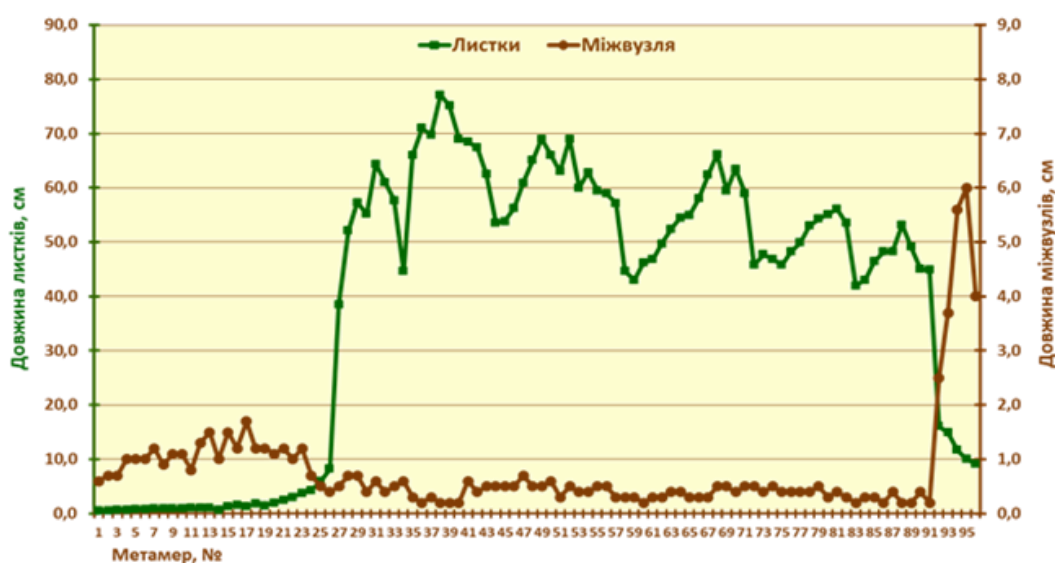


Рис. 1. Пометамерні розміри листків та міжвузлів поліциклічного пагона *D. aethiopica*

У вузлах цієї ділянки пагона розташовані лускоподібні світло-коричневі листки низової формації. Листкорозміщення почергове листки цілісні, сидячі, видовжено-трикутні з широкою листовою основою, від 0,7 до 1,9 см завдовжки.

Плагіотропна ділянка пагона є зоною утворення додаткових коренів. Було встановлено, що додаткові корені (14–46 штук, від 0,05 до 0,25 см у діаметрі) починають розвиватися з третього-четвертого вузлів.

На горизонтальній частині пагона нами були відмічені бруньки, які закладаються у першому вузлі, що, як правило, залишаються сплячими, хоча у поодиноких випадках плагіотропна частина є зоною утворення пагонів наступного порядку галуження, які розпочинають свій розвиток із восьмого вузла.

Ділянка повороту (гетеротропна частина пагона) складається з 4–5 метамерів; від 3,2 до 4,3 см завдовжки і 2,5–3,0 см у діаметрі.

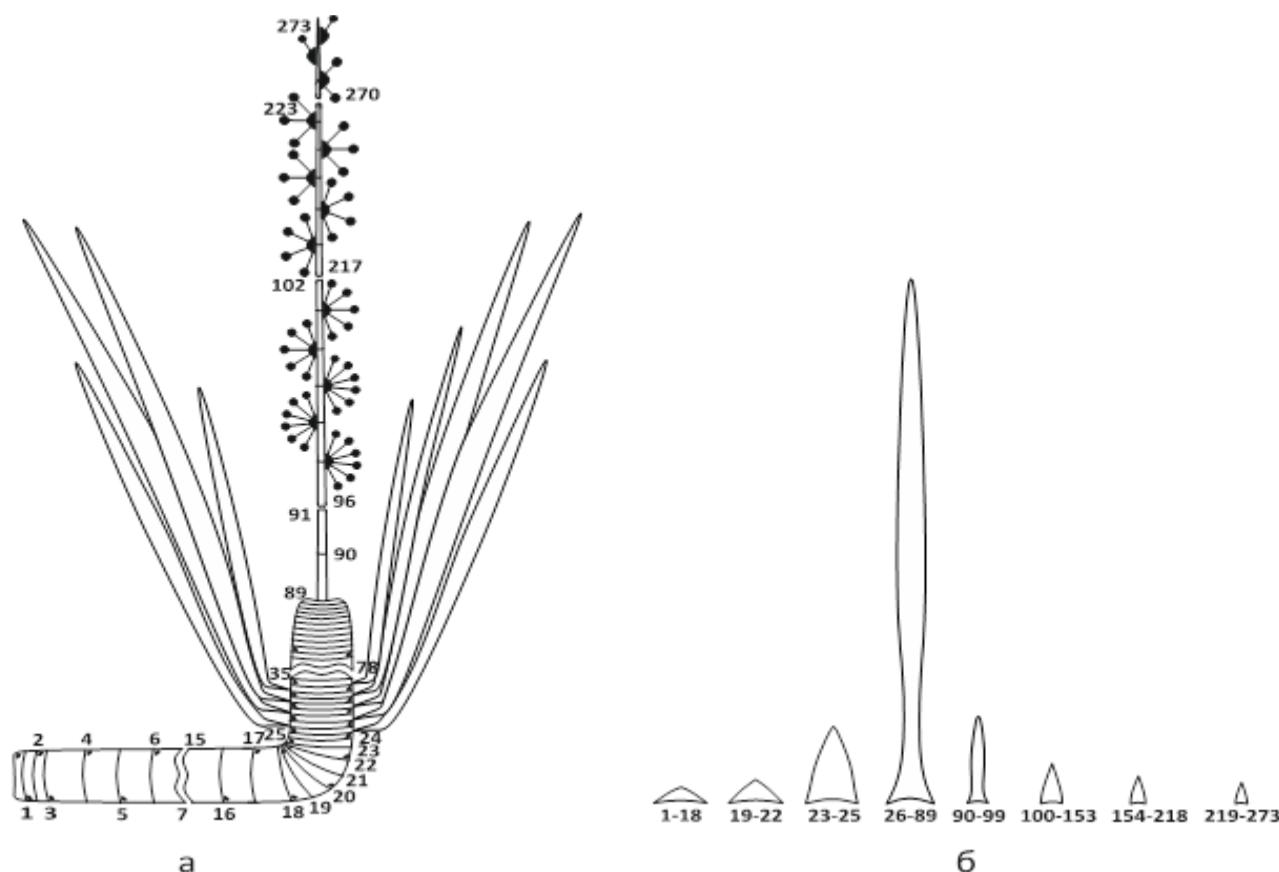


Рис. 2. а – схема будови вегетативно-генеративного пагона *D. aethiopica*;
б – варіаційний ряд листків

Довжина міжвузлів варіює від 0,1 до 1,4 см.

У вузлах цієї частини пагона розташовані листки низової формації, які мають таку ж форму та колір, як і листки на попередній ділянці, однак більші за розмірами – від 1,1 до 3,8 см завдовжки.

У пазухах цих листків розташовані бруньки відновлення, які складаються з 3–12 листових примордіїв та апікальної меристеми. Пагони наступних порядків галуження розвиваються з першої по четверту бруньку, тоді як верхня (п'ята) брунька залишається сплячою і розвивається тільки при пошкодженні нижче розташованих. Загалом розвивається 1–2 (дуже рідко 3) пагони наступного порядку галуження.

Орtotропна вегетативна частина пагона складається з 48–67 метамерів; становить від 19,0 до 26,8 см завдовжки і 2,0–2,5 см у діаметрі. Міжвузля вкорочені – від 0,05 до 0,8 см завдовжки. У перших трьох вузлах розташовані низові листки, розміри яких варіюють у діапазоні 3,7–8,6 см. У пазухах цих листків розташовані сплячі бруньки. У наступних 45–64 вузлах розташовані шкірясті, темно-зелені загострені лінійні або лінійно-

ланцетоподібні (з увігнутою адаксіальною поверхнею) листки серединної формації. Листкова пластинка від 27,0 до 77,0 см завдовжки та 1,9–3,5 см завширшки, листкорозміщення почергове. У пазухах цих листків розташовані сплячі бруньки; в останніх 9–13 вузлах бруньки не розвиваються.

Пагони наступних порядків галуження розвиваються регулярно на третій рік розвитку материнського пагону із «спочиваючих» бруньок після двох періодів спокою між циклами розвитку материнського пагону. Нові пагони утворюються до переходу материнського пагона в генеративну фазу розвитку.

Апікальна меристема переходить у флоральну стадію і формує суцвіття. У деяких випадках відбувається її паренхіматизація.

Генеративна частина представлена віссю суцвіття (головна вісь) та паракладіями (бічні осі) і утворює тирс – фрондулозно-брактеозний нерозгалужений, відкритий із гелікоїдними цимоїдами як парціальними суцвіттями. У вузлах генеративної частини розташовані брактеї, у вузлах квітконіжок – брактеоли.

В акропетальному напрямку спостерігається тенденція до зменшення кількості бічних осей і, відповідно, зменшення кількості квіток у цимоїді.

Цимоїд утворений сукупністю монохазіїв з укороченими міжвузлями. Гіпоподій дуже зменшений, епіподій майже не виражений. Редукція осей монохазія призводить до утворення компактних пучків (кластерів) квіток. Кожна вісь має обмежений ріст і

закінчується квіткою. При цьому перша квітка у цимоїді починає розвиватися із пазушної бруньки брактеї головної осі. Вісь другого порядку цимоїда розвивається з пазушної бруньки брактеоли на осі першого порядку галуження і теж закінчується квіткою. Розвиток осей цимоїдів наступних порядків відбувається аналогічним чином (рис. 3).

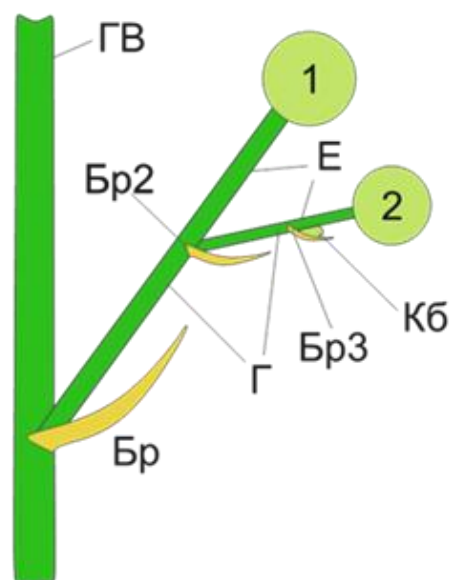


Рис. 3. Загальний вигляд суцвіття та схема будови окремого цимоїда *D. aethiopica*: ГВ – головна вісь суцвіття; 1 – квітка на вісі I порядку галуження; 2 – квітка на вісі II порядку; Кб – нерозвинена квіткова брунька; Бр – брактя; Бр2, Бр3 – брактеоли другої та третьої квіток; Е – епіподій, Г – гіпоподій

У рослин досліджуваного виду формуються бічні цимоїди різних порядків галуження (від одного до шести), які знаходяться на різних стадіях розвитку. Слід зазначити, що на кожному цимоїді остан-

нього порядку є пазушна брунька, яка не утворює вісь наступного порядку. Усі квітки розташовані практично в одній площині, тому цимоїди утворюють плоскі, віялоподібні завитки (рис. 4).

	1-квітковий (цимоїд)	2-квітковий (цимоїд)	3-квітковий (цимоїд)	4-квітковий (цимоїд)	5-квітковий (цимоїд)	6-квітковий (цимоїд)
Гелікоїдний цимоїд, вигляд збоку						
Гелікоїдний цимоїд, вигляд зверху						

Рис. 4. Схема будови гелікоїдних цимоїдів у суцвітті *D. aethiopica*.

Слід зауважити, що чітке спірале-подібне розташування прослідковується зі збільшенням кількості квіток у цимоїді (від трьох квіток). В одно – двоквіткових цимоїдах квітки розташовані в ряд або дугою.

Головна вісь генеративної частини пагона складається з 169–183 метамерів, становить від 116,8 до 123,4 см завдовжки; від 0,5–1,5 см у діаметрі, світло-зеленого кольору.

Довжина міжвузлів цієї частини варіює від 0,1 до 7,3 см, причому довжина перших 10–13 міжвузлів збільшується від 1,6 до 7,3 см. Довжина решти міжвузлів (зона головного суцвіття) зменшується від 2,5 до 0,1 см. При цьому відстань між групами парціальних суцвіть збільшується через кожні 4–22 міжвузля, а відстань між окремими парціальними суцвіттями у групах зменшується.

У вузлах генеративної ділянки розташовані світло-зелені листки верхівкової формації від 0,3 до 16,1 см завдовжки, які зменшуються в акропетальному напрямку. У перших дев'яти-десяти вузлах розташовані листки, розміри яких варіюють від 3,6 до 16,1 см завдовжки. Листки лінійні, лінійно-ланцетоподібні, цілісні, цілокраї зі звуженою базальною частиною.

Наступні 51–54 вузлів несуть листки (брактеї) менших розмірів: від 1,3 до 2,5 см. Розташовані вище, у 61–65 вузлах, мають довжину – 1,0–1,2 см. Останні 48–54 вузли несуть брактеї, розміри яких варіюють від 0,3 до 0,8 см.

Бокові осі суцвіття – паракладії – з'являються у 9 вузлах генеративної частини пагона. Квітки (від 1 до 6) зібрані у клас-тери. При цьому нами було виявлено, що кількість квіток у кожному кластері має тенденцію до зменшення у акропетальному напрямку.

Висновки

Рослини *D. aethiopica* мають вегета-тивно-генеративний елементарний пагін: верхівкова меристема переходить у флоральну стадію і формує суцвіття, фрондулозно-брактеозний нерозгалужений, відкритий тирс із гелікоїд ними цимоїдами як парціальними суцвіттями.

Складовими елементами елементар-ного пагона є три ділянки: плагіотропна, гетеротропна та ортотропна. У межах кожної ділянки спостерігаються значні варіювання довжини та форми листових пластинок, а також довжини міжвузлів.

Фінансування / Funding

Дослідження було проведене у рамках бюджетної теми відділу тропічних та субтропічних рослин НБС №409-ОР «Індукція фенотипової пластичності тропічних та субтропічних рослин: пошук прогностичних маркерів стійкості» (№ держреєстрації 0123U101383) / The study was conducted within the framework of the budget-funded research project of the Department of Tropical and Subtropical Plants of the M.M. Gryshko National Botanical Garden, No. 409-OR "Induction of Phenotypic Plasticity in Tropical and Subtropical Plants: Search for Predictive Markers of Stress Tolerance" (state registration number 0123U101383).

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

Автори не використовували генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання статті / The authors did not use generative artificial intelligence and artificial intelligence-based technologies in the process of writing the article.

References

- Barthélémy, D. (1991). Levels of organization and repetition phenomena in seed plants. *Acta Biotheoretica*, 39, 309–323.
- Barthélémy, D., & Caraglio, Y. (2007). Plant Architecture: A Dynamic, Multilevel and Comprehensive Approach to Plant Form, Structure and Ontogeny. *Annals of Botany*, 99(3), 375–407. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl260>
- Budweg, H-G. (2016). The inflorescences of the *Sansevieria* (Asparagaceae). In: Sansevieria Online, Article 1, vol. 4(2). http://www.sansevieriaonline.de/pdf/article/a_421.pdf
- Buyun, L., Tkachenko, H., Osadowski, Z., & Maryniuk, M. (2016). Antibacterial activity of certain *Sansevieria* species against *Staphylococcus aureus*. In *Stupskie Prace Biologiczne*, 13, 19–36.
- Govaerts, R., Nic Lughadha, E., Black, N., Turner, R. & Paton, A. (2021). The World Checklist of Vascular Plants (WCVP), a continuously updated resource for exploring global plant diversity. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00997-6>. Scientific Data 8: 215. Accessed November 5, 2025.
- Hetterscheid, W. (2024). *Sansevieria* versus *Dracaena*: an invited opinion. In: Sansevieria Online, Article 4, vol. 12(1). http://sansevieria-online.de/pdf/article/a_1214.pdf
- Jasna, TJ., Afra, P., Sreeshma, K. Babu., Sreelakshmi, K., & Nanditha Das, P.M. (2025). A review on *Sansevieria* and its therapeutic potential. *International Journal of Pharmacognosy and Clinical Research*, 7(1), 42–45. <https://www.doi.org/10.33545/2664763X.2025.v7.i1a.57>
- Li, X., & Yang, Y. (2020). Preliminary study on Cd accumulation characteristics in *Sansevieria trifasciata* Prain. *Plant Diversity*, 42(5), 351–355. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2020.05.001>
- Marinuk, M., & Kovalska, L. (2014, September 8–11). Morphological structure of the vegetative shoot of *Sansevieria trifasciata* Prain. In *Biodiversity conservation and introduction of plants* (pp. 121–124). Tarasenko V.P. (in Ukrainian)
Маринюк М., Ковальська Л. Морфологічна структура вегетативного пагона *Sansevieria trifasciata* Prain. *Збереження біорізноманіття і інтродукція рослин: матеріали Міжнародної наукової конференції* (Харків, 8–11 вересня 2014 р.). Харків: ФОП Тарасенко В.П., 2014. С. 121–124.
- Maryniuk, M., & Maltsov, I. (2016, April 19–21). Shoot systems of species of the genus *Sansevieria* Thunb. (Asparagaceae Juss.). In Proceedings of the 12th International Scientific Conference of Students and Postgraduates “Youth and Progress of Biology” (p. 121). Lviv. (in Ukrainian)
Маринюк М., Мальцов І. Пагонові системи видів роду *Sansevieria* Thunb. (Asparagaceae Juss.). *Молодь і поступ біології: матеріали XII Міжнар. наук. конф. студентів і аспірантів* (Львів, 19–21 квітня 2016 р.). Львів, 2016. С. 121.

- McSteen, P., & Leyser, O. (2005). Shoot Branching. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 353–374. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144122>. PMID: 15862100
- Nechytaylo, V. A., & Kucheryava, L. F. (2005). *Botany. Higher plants*. Phytosociotsentr. (in Ukrainian)
Нечитайло В. А., Кучерява Л.Ф. Ботаніка. Вищі рослини. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 431с.
- Novikov, A., & Barabash-Krasny, B. (2015). *Modern plant taxonomy. General questions*. Liga-Press. (in Ukrainian)
Новіков А., Барабаш-Красни Б. Сучасна систематика рослин. Загальні питання : навч. посіб. Львів : Ліга-Прес, 2015. 686 с.
- Permana, B. H., Krobthong, S., Yingchutrakul, Y., Thiravetyan, P., & Treesubuntorn, C. (2024). Sansevieria trifasciata's specific metabolite improves tolerance and efficiency for particulate matter and volatile organic compound removal. *Environmental Pollution*, 355, 124199. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124199>
- Sattler, R., & Rutishauser, R. (2023). Fundamentals of Plant Morphology and Plant Evo-Devo (Evolutionary Developmental Morphology). *Plants*, 12(1), 118. <https://doi.org/10.3390/plants12010118>
- Thu, Z., Myo, K., Aung, H., Armijos, C., & Vidari, G. (2020). Flavonoids and Stilbenoids of the Genera *Dracaena* and *Sansevieria*. *Structures and Bioactivities. Molecules*, 25(11), 2608. <https://doi.org/10.3390/molecules25112608>.
- Tkachenko, H., Buyun, L., Osadowski, Z., & Maryniuk, M. (2017). The antibacterial activity of certain *Sansevieria* Thunb. species against *Escherichia coli*. In *Agrobiodiversity for improving nutrition, health, and life quality*, 1, 446–453. <https://doi.org/10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.446-453>
- van Kleinwee, I., Larridon, I., Shah, T., Bauters, K., Asselman, P., Goetghebeur, P., Leliaert, F., & Veltjen, E. (2022). Plastid phylogenomics of the Sansevieria Clade of Dracaena (Asparagaceae) resolves a recent radiation. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 169, 11–12. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2022.107404>.

Received: 20.09.2025. **Accepted:** 08.11.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Маринюк М., Ковальська Л., Ткаченко Г. Структура вегетативно-генеративного пагона *Dracaena aethiopica* Thunb., Byng & Christenh. (Asparagaceae Juss.). *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.2>

Cite this article in APA style as:

Maryniuk, M., Kovalska, L., & Tkaczhenko, H. (2025). Struktura veketatyvno-heneratyvnoho pahona *Dracaena aethiopica* Thunb., Byng & Christenh. (Asparagaceae Juss.). [The structure of vegetative and generative shoots of *Dracaena aethiopica* Thunb., Byng & Christenh. (Asparagaceae Juss.)]. *Biota. Human. Technology*, (3), 21–29. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.2> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Maryniuk M. [*in Ukrainian: Маринюк М*] ¹, Principal Engineer, email: maryniukmyroslava@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2590-448X

Department of Tropical and Subtropical Plants, M.M. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences
1 Sadowo-Botanichna Street, Kyiv, 01103, Ukraine

Kovalska L [*in Ukrainian: Ковальська Л.*] ², PhD (Biology), email: kovalskaya.l.af@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6410-6603

Department of Tropical and Subtropical Plants, M.M. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences
1 Sadowo-Botanichna Street, Kyiv, 01103, Ukraine

Tkaczenko H. [*in Ukrainian: Ткаченко Г.*] ³, D.Sc. (Biology), Prof., email: halina.tkaczenko@upsl.edu.pl
ORCID: 0000-0003-3951-9005 Scopus-Author ID: 16032082200

Department of Zoology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk
22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

¹ Study design, data collection, manuscript preparation.

² Study design, data collection, manuscript preparation.

³ Study design, data collection, manuscript preparation.

UDC 581.524.2(477.51-25)

DOI: 10.58407/bht.3.25.3



Copyright (c) 2025 Svitlana Kyryienko, Yurii Karpenko, Olha Mekhed

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Світлана Кирієнко, Юрій Карпенко, Ольга Мехед

НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНІ ВИДИ ІНВАЗІЙНИХ РОСЛИН УРБАНОФЛОРИ
МІСТА ЧЕРНІГОВА

Svitlana Kyryienko, Yurii Karpenko, Olha Mekhed

THE MOST COMMON SPECIES OF INVASIVE PLANTS
IN THE CHERNIHIV CITY URBAN FLORA

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Метою роботи є визначення найбільш поширених інвазійних видів рослин в урбанофлорі м. Чернігова. Дослідження спрямоване на виявлення найбільш поширених інвазійних видів, встановлення ступеню натуралізації, а також екологічних ризиків, пов'язаних з їх присутністю в межах урбаністичного середовища.

Методологія. Основу дослідження складала аналіз джерел інформації щодо інвазійних видів рослин в урбанофлорі міста Чернігова. Зокрема, було проведено аналіз наукових публікацій, присвячених проблемі інвазійних видів флори міста Чернігова. Головним критерієм визначення ступеня поширеності інвазійного виду у м. Чернігові ми обрали високу адаптивність до різних середовищ. Результати аналітичного огляду підкріплені польовими дослідженнями авторів.

Наукова новизна. Вперше здійснено огляд найбільш поширених інвазійних видів рослин в урбанофлорі міста Чернігова на основі узагальнення наукових джерел інформації та авторських спостережень. У межах дослідження сформовано перелік інвазійних видів, що поширені в межах міста, з уточненням їх біогеографічного походження, основних шляхів проникнення та типових середовищ зростання. Особливу цінність становить висвітлення потенційних екологічних загроз, пов'язаних із поширенням цих видів, що дозволяє розглядати результати роботи як основу для подальших польових досліджень, екологічного моніторингу та прийняття рішень у сфері міського озеленення, біобезпеки та охорони урбанізованих екосистем.

Висновки. У флорі м. Чернігова виділено 18 найпоширеніших видів інвазійних судинних рослин, переважно північноамериканського походження. Найбільш поширеними та екологічно активними є *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Solidago canadensis* та *Ambrosia artemisiifolia*. Польові спостереження підтверджують їхнє активне розселення в урбанізованих і напівприродних біотопах. Види формують щільні ценози, що спричиняє витіснення аборигенних компонентів флори та зниження біорізноманіття. Необхідним є проведення постійного моніторингу та розроблення заходів із контролю найагресивніших інвазійних таксонів у межах міста.

Ключові слова: Чернігів, інвазійні рослини, інтродуковані рослини, фітоінвазія, флора

ABSTRACT

Purpose of the work. The aim of the work is to identify the most common invasive plant species in the urban flora of the Chernihiv city. The study is aimed at identifying the most common invasive species, establishing the degree of naturalization, as well as the environmental risks associated with their presence within the urban environment.

Methodology. The basis of the study was the analysis of sources of information on invasive plant species in the urban flora of the Chernihiv city. In particular, an analysis of scientific publications devoted to the problem of invasive plant species in the Chernihiv city was conducted. The main criterion for determining the degree of prevalence of an invasive species in the city of Chernihiv was high adaptability to various environments. The results of the analytical review are supported by the authors' field research.

Scientific novelty. For the first time, a review of the most common invasive plant species in the urban flora of the Chernihiv city was carried out based on a generalization of scientific sources of information and author's observations. As part of the study, the invasive species list of the city was formed, specifying their biogeographical origin, main routes of penetration and typical growth environments. Of particular value is the identification of such environmental threats associated with the spread of these species, which allows us to consider the results of the work as a basis for further field

research, environmental monitoring and decision-making in the field of urban greening, biosafety and protection of urban ecosystems.

Conclusions. The Chernihiv's flora includes 18 of the most common species of invasive vascular plants, mainly of North American origin. The most widespread and ecologically active are *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Solidago canadensis*, and *Ambrosia artemisiifolia*. Field observations confirm their active settlement in urbanized and semi-natural biotopes. The species form dense coenoses, which causes the displacement of aboriginal components of the flora and a decrease in biodiversity. It is necessary to conduct constant monitoring and develop measures to control the most aggressive invasive taxa within the city.

Key words: Chernihiv, invasive plants, introduced plants, phyt invasion, flora

Вступ

За даними Міжурядової платформи ООН з питань біорізноманіття та екосистемних послуг, близько п'ятої частини поверхні Землі перебуває під загрозою через біологічні інвазії (IPBES, 2019). Інвазійні види здатні істотно змінювати екосистеми, впливаючи на умови навколишнього середовища та екологічні процеси (Vilà & Hulme, 2017). Головними наслідками їхнього поширення є витіснення аборигенних видів, трансформація структури фітоценозів та зниження біорізноманіття (Pyšek et al., 2020). Окрім цього, інвазії впливають на склад і властивості ґрунту (Vilà et al., 2020), змінюють гідрологічні умови (D'Antonio & Meyerson, 2002) та можуть становити загрозу для здоров'я людини (Della Rocca et al., 2023).

Для України проблема поширення інвазійних видів є надзвичайно актуальною, оскільки рівень адвентизації флори залишається високим (Protoporova et al., 2002). За дослідженнями фахівців з Інституту ботаніки НАН України сучасна флора України налічує близько 760 видів чужорідних судинних рослин (Zavialova et al., 2021). Важливо зазначити, що нині практично всі флорокомплекси України містять чужорідні види. Більше того, проникнення інвазійних рослин відбувається навіть у деревно-чагарникові угруповання, які традиційно вважаються найбільш стабільними за своєю структурою (Lukash, 2008).

Чернігів та його околиці характеризуються високим рівнем флористичного різноманіття, зумовленого поєднанням поліських та лісостепових умов, однак це робить регіон особливо чутливим до поширення чужорідних видів. (Zavialova, 2008). Значним шляхом проникнення адвентивних рослин є річка Десна та її заплави, що забезпечують сприятливі умови для натуралізації інвазійних видів. Урбанізація, транспортна

інфраструктура (особливо залізничні та автомобільні шляхи, які слугують активними коридорами для поширення ксенофітів, наприклад, *Ulmus pumila*) та рекреаційне навантаження на приміські території сприяють активному розселенню таких агресивних видів, як *Acer negundo* (L.), *Ulmus pumila* (L.), *Solidago canadensis* (L.), *Amorpha fruticosa* (L.), *Robinia viscosa* (L.) та інші (Lukash et al., 2024).

Водночас у флорі міста вже зафіксовано понад 250 видів немісцевої флори, що становить близько чверті всієї міської флори (Zavialova, 2008).

Флора Чернігова неодноразово ставала об'єктом наукових досліджень. Зокрема, вивчення адвентивної та інвазійної фракції флори проводили Zavialova (2008, 2009, 2010, 2012) та Lukash et al. (2022, 2024), а також сучасні дослідження охоплюють природоохоронні території міста, зокрема РЛП «Ялівщина» (Sverdlov & Karpenko, 2023). Проте характерною рисою інвазійних видів є їхня здатність швидко розселятися і формувати нові осередки. Тому навіть для добре досліджених регіонів постає необхідність у постійному моніторингу та уточненні сучасного стану флори. Особливо це стосується периферійних частин міста, де поєднання урбанізованих територій з природними екосистемами створює сприятливі умови для закріплення та поширення інвазійних рослин. Отже, актуальність проблеми визначила мету та завдання даного дослідження.

Дослідження присвячене аналізу поширення інвазійних рослин в урбанофлорі міста Чернігова та являє собою систематичний огляд наукових джерел, що стосуються цієї тематики. Для аналізу було використано відкриті джерела інформації, що висвітлюють поширення інвазійної флори на території міста Чернігова.

Предметом дослідження є стан урбанофлори міста Чернігова в контексті поширення неаборигенних видів рослин, а

об'єктом – експансія інвазійних видів у межах екосистем м. Чернігова.

Метою роботи є визначення найбільш поширених інвазійних видів рослин в урбанофлорі м. Чернігова. Дослідження спрямоване на виявлення найбільш поширених інвазійних видів, встановлення ступеню натуралізації, а також екологічних ризиків, пов'язаних з їх присутністю в межах урбаністичного середовища.

Матеріали і методи дослідження

Методологічною основою дослідження став систематичний огляд літератури, спрямований на виявлення, аналіз і узагальнення наявних наукових відомостей щодо інвазійної флори міста Чернігова.

Для проведення дослідження було використано джерела інформації, що містять дані про поширення інвазійних видів рослин в урбанофлорі міста Чернігова.

Під час польових досліджень протягом 2023–2025 років у південно-східній околиці м. Чернігова та паркових зонах міста.

Критерії класифікації рослини як інвазійної включають швидкий ріст, швидке розмноження та агресивну конкуренцію за ресурси (Pereyga, 2016). Головним критерієм визначення ступеня поширеності інвазійного виду у м. Чернігові ми обрали високу адаптивність до різних середовищ.

За ступенем натуралізації види інвазійних рослин урбанофлори міста Чернігова розподілені на агріофіти (види, які натуралізувалися у природних та напівприродних місцезростаннях) та епекофіти (види, які натуралізувалися на трансформованих, вторинних екотопах).

Латинські назви рослин були уніфіковані відповідно до міжнародної бази даних The WFO Plant List (WFO, 2025).

Результати дослідження та обговорення

Для флори Чернігова зазначається 34 види інвазійних рослин (Lukash et al., 2022). Низка з цих видів, зокрема *Asclepias syriaca* L., *Grindelia squarrosa* (Pursh) Dunal, *Padus serotina* (Ehrh.) J. Agardh. та інші, у межах м. Чернігова не виявляють високої адаптивності до різних середовищ.

Нами було виділено 18 найбільш поширених у м. Чернігові видів інвазійних рослин, які розділено на високоактивні та помірно-активні (табл. 1). До їх складу входять

представники 11 родин, серед яких найбільш чисельними є *Asteraceae* Giseke, *Fabaceae* Lindl. та *Balsaminaceae* A.Rich.. Переважають види північноамериканського походження (понад 60 %), зокрема *Acer negundo*, *Solidago canadensis*, *Amorpha fruticosa*, *Robinia pseudo-acacia*, *Ambrosia artemisiifolia*. Види азійського походження: *Ulmus pumila*, *Reynoutria japonica*, *Impatiens glandulifera* становлять другу за чисельністю групу. Поширенню цих рослин сприяють кліматичні умови Чернігова, особливості ландшафтно-типологічної структури та строкатість ґрунтового покриву (Lukash et al., 2022). Таке співвідношення пояснюється активним інтродукуванням північноамериканських деревно-чагарникових видів. З метою озеленення, а також високою екологічною пластичністю цих таксонів. Види північноамериканського походження відзначаються багатоваріантністю адаптивних механізмів, високою репродуктивною здатністю та широкою екологічною толерантністю. Унаслідок цього, за схожих кліматичних умов і наявності екологічних ніш, подібних до первинного ареалу, а також в умовах уніфікації антропогенного середовища, їхнє поширення має виражений експансивний характер (Protopopova & Shevera, 2019).

Більшість виявлених видів тяжіють до заплавлених екосистем річки Десна та її приток, узбіч доріг і рудеральних ділянок, що є типовими осередками вторинної колонізації (Shen et al., 2023; Protopopova et al., 2002). Наприклад, *Amorpha fruticosa*, *Bidens frondosa* і *Fraxinus pennsylvanica* поширені у вологих біотопах, тоді як *Ambrosia artemisiifolia* та *Amaranthus retroflexus* – на порушених ґрунтах. *Ulmus pumila* активно розселяється вздовж залізничних шляхів. Це свідчить про широкий екологічний діапазон інвазійних видів, які легко адаптуються до різних урбанізованих умов.

Доказом того є результати проведених у південно-східній околиці м. Чернігова польових досліджень, під час яких виявлено великі площі *Ambrosia artemisiifolia*, *Acer negundo*, *Solidago canadensis* та *Ulmus pumila* (рис. 1). Особливо щільні зарості *Solidago canadensis* виявлено на узбіччях поблизу садибної забудови, де вид формує майже монодомінантні фітоценози.

Таблиця 1

**Найбільш поширені види інвазійних рослин урбанofлори
міста Чернігова**

№	Видова назва	Родина	Походження	Ступінь натуралізації	Основні місця зростання
Високоактивні					
1.	<i>Acer negundo</i> L.	<i>Sapindaceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Заплавні ліси, узлісся (РЛП «Ялівщина»), рудеральні ділянки.
2.	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Береги річок та водойм, узбіччя доріг.
3.	<i>Impatiens parviflora</i> DC.	<i>Balsaminaceae</i>	Центральна Азія	Агріофіт	Затінені листяні ліси, парки, вологі узлісся.
4.	<i>Xanthium strumarium</i> Lour.	<i>Asteraceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Рудеральні ділянки, сміттєзвалища, узбіччя залізниць.
5.	<i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. & A.Gray	<i>Cucurbitaceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Береги річок, заплави, чагарники, огорожі.
6.	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Рудеральні ділянки, порушені ґрунти, сади та городи.
7.	<i>Bidens frondosa</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Заплавні луки, береги водойм, канами, вологі рудеральні місця.
8.	<i>Solidago canadensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Узлісся та луки.
9.	<i>Erigeron canadensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Сухі луки, узбіччя доріг, порушені піщані ґрунти.
10.	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Узлісся, лісосмуги, піщані ґрунти, зелені зони міста.
11.	<i>Helianthus subcanescens</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Північна Америка	Агріофіт	Узбіччя доріг, порушені ґрунти.
12.	<i>Ulmus pumila</i> L.	<i>Ulmaceae</i>	Центральна та Східна Азія	Агріофіт	Узбіччя залізниць та прилеглі території.
Помірноактивні					
13.	<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	<i>Polygonaceae</i>	Східна Азія	Епекофіт	Береги річок, яри, вологі узбіччя, тіністі місця.
14.	<i>Impatiens glandulifera</i> Royle	<i>Balsaminaceae</i>	Південна Азія	Агріофіт	Береги річок, вологі ліси та чагарники.
15.	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh.	<i>Oleaceae</i>	Північна Америка		Заплавні та листяні ліси (Ялівщина), парки.
16.	<i>Heracleum mantegazzianum</i> Sommier & Levier	<i>Apiaceae</i>	Західний Кавказ	Агріофіт	Вологі рудеральні місця, береги річок, узбіччя доріг.
17.	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv.	<i>Poaceae</i>	Європа та Азія	Епекофіт	Порушені ґрунти, вологі рудеральні місця.
18.	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	<i>Amaranthaceae</i>	Північна та Центральна Америка	Епекофіт	Рудеральні місця, порушені ґрунти.

Популяції *Ambrosia artemisiifolia* спостерігалися на порушених ґрунтах піщаного масиву «Лісковиця» на площі близько 4 га і вздовж русла р. Стрижень, що свідчить про стабільне закріплення виду та його здатність до активного саморозселення. Вияв-

лення *Ulmus pumila* на околицях міста підтверджує розширення його ареалу поза межі промислових зон і залізничних шляхів (Stupak, 2025), що є ознакою успішної натуралізації у напівприродних біотопах.



Рис. 1. Інвазійні види *Solidago canadensis* L. (ліворуч) та *Ulmus pumila* L. (праворуч) поширюються уздовж доріг (південно-східна околиця м. Чернігова, 2025 р.)

У складі урбанofлори Чернігова визначено 12 високоактивних (трансформерів) і 6 помірноактивних видів. Найбільшу загрозу для місцевих екосистем становлять *Ambrosia artemisiifolia*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia* та *Solidago canadensis*.

Ці види характеризуються високою продуктивністю, швидким ростом і здатністю пригнічувати відновлення аборигенних видів. Поширення інвазійних видів у межах міста призводить до зменшення флористичного різноманіття, трансформації біоценозів і зміни структури трав'яного покриву у природоохоронних зонах (зокрема в РЛП «Ялівщина»).

Висновки

У результаті проведеного аналізу літературних джерел, баз даних та польових спостережень встановлено, що інвазійний компонент урбанofлори м. Чернігова є

сформованим і представлений 18 видами судинних рослин, серед яких 12 належать до високоактивних (агріофітів або трансформерів) і 6 до помірноактивних. Переважають види північноамериканського походження (*Acer negundo*, *Amorpha fruticosa*, *Solidago canadensis*, *Robinia pseudoacacia*, *Ambrosia artemisiifolia*), які завдяки високій екологічній пластичності та адаптивному потенціалу успішно натуралізувалися в умовах урбанізованого середовища.

Польові дослідження підтвердили активне розселення найбільш агресивних таксонів, серед яких *Solidago canadensis* формує щільні монодомінантні ценози на узбіччях доріг і порушених ділянках, *Ambrosia artemisiifolia* поширюється на рудеральних біотопах, а *Ulmus pumila* активно освоює території вздовж залізничних колій. Такі тенденції свідчать про значну адапта-

ційну здатність інвазійних видів до умов міського фітоландшафту.

Найбільшу екологічну загрозу для місцевих екосистем становлять *Ambrosia artemisiifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo* та *Solidago canadensis* їх масове поширення призводить до зниження

флористичного різноманіття, трансформації біоценотичної структури та деградації природних і напівприродних біотопів.

Отримані результати підтверджують необхідність регулярного моніторингу динаміки інвазійних видів у межах міста.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до автора / Dataset available on request from the author.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних/ This study did not use generative artificial intelligence or AI technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

D'Antonio, C. M., & Meyerson, L. A. (2002). Exotic plant invasions and water resources in the Western United States. *Restoration Ecology*, 10(3), 552–560. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1526-100X.2002.01051>.

Della Rocca, G., Ruzza, F., Caccia, S., Galasso, I., De Marco, G., & D'Amico, E. (2023). Invasive Alien Plant Species and Human Health: An Overview of the Current Situation in Europe and Future Prospects. *Plants*, 12(3), 661. <https://doi.org/10.3390/plants12030661>

IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Daszak et al. (Eds.). IPBES Secretariat, Bonn, Germany.

Lukash, O., Miroshnyk, I., & Boyko, V. (2022). Inwazyjne gatunki flory miasta Czernihów (Ukraina). *Biota. Human. Technology*, 1, 7–19. Retrieved from <https://journal.chnpu.edu.ua/index.php/biota/article/view/78>

Lukash, O., Miroshnyk, I., Morskyi, V., Stupak, Y., Aravin, M., Shakhnazarian, O., Sliuta, A., Sazonova, O., Strilets, S., & Szikura, A. (2024). Ecological strategies of ornamental invasive tree and shrub species in Chernihiv's green infrastructure. *Taiwan Journal of Forest Science*, 39(4), 241–252. [https://doi.org/10.7075/TJFS.202412_39\(4\).0006](https://doi.org/10.7075/TJFS.202412_39(4).0006)

Pereyra, P. J. (2016). Revisiting the use of the invasive species concept: An empirical approach: use of invasive species concept. *Austral Ecology*, 41(5), 519–528. <https://doi.org/10.1111/aec.12340>

Protopopova, V. V., & Shevera, M. V. (2019). Invasive species in the flora of Ukraine. I. Group of highly active species. *Geo & Bio*, 17, 116–135. (in Ukrainian) http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnnpm_2019_17_11
Протопопова В. В., Шевера М. В. Інвазійні види у флорі України. I. Група високо активних видів. *Geo & Bio*. 2019. Т. 17. С. 116–135. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnnpm_2019_17_11

Protopopova, V. V., Mosiakin, S. L., & Shevera, M. V. (2002). *Phytointvasions in Ukraine as a threat to biodiversity: Current state and tasks for the future*. M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine. (in Ukrainian). <https://botany.kiev.ua/doc/shevera38.pdf>
Протопопова В. В., Мосякін С. Л., Шевера М. В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, 2002. 28 с. <https://botany.kiev.ua/doc/shevera38.pdf>

Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., Jeschke, J. M., Jones, G., Kenis, M., Kühn, I., Mrugała, A., Pergl, J., Rabitsch, W., Ricciardi, A., Richardson, D. M., & Vilà, M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1535–1558. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13656>

Shen, C., Chen, P., Zhang, K., He, M., Wan, J., Wang, Y., Tao, Z., Huang, W., & Siemann, E. (2023). Dynamics and mechanisms of secondary invasion following biological control of an invasive plant. *New Phytol*, 238, 2594–2606. <https://doi.org/10.1111/nph.18878>

Stupak, Yu. (2025). Methods of controlling the spread of the invasive species *Ulmus pumila* L. near railway tracks. *Biota. Human. Technology*, (2), 8–17. (in Ukrainian) <https://doi.org/10.58407/bht.2.25.1>
Ступак Ю. Методи контролю поширення інвазійного виду *Ulmus pumila* L. поблизу залізничних колій. *Biota. Human. Technology*. 2025. №2. С. 8–17

Sverdlov, V. O., & Karpenko, Y. O. (2023). Invasive species as a threat to the natural phytodiversity of the Regional Landscape Park "Yalivshchyna" (Chernihiv region). *Biosphere Reserve "Askania Nova" Reports*, 25, 68–74 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2023-25/7>
Свердлов В., Карпенко Ю. Інвазійні види як загроза природному фіторізноманіттю регіональних ландшафтних парків поліської частини України (на прикладі РЛП «Ялівщина»). *Вісник біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2023. Т. 25. С. 68–74. <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2023-25/7>

Vilà, M., & Hulme, P. E. (Eds.). (2017). *Impact of biological invasions on ecosystem services*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45121-3>

Vilà, M., Weiner, L. D., & Jurena, P. (2020). Invasive plant effects on soil properties and biogeochemical cycling: A global meta-analysis. *Biological Reviews*, 95(5), 1324–1347. <https://doi.org/10.1111/brv.12511>

WFO (2025). Plant List. In World Flora Online. Version 2025.06. Retrieved September 04, 2025, from <https://wfpantlist.org/plant-list/>

Zavialova, L. V. (2008). Ecological analysis of the adventive fraction of the flora of Chernihiv city. *Biodiversity: Research and Conservation*, 11–12(3), 27–31. (in Ukrainian) <https://doi.org/10.14746/biorc.2008.11-12.3>
Зав'ялова, Л. В. Екологічний аналіз адвентивної фракції флори м. Чернігова. *Biodiversity: Research and Conservation*. 2008. Vol. 11–12, No 3. Р. 27–31. <https://doi.org/10.14746/biorc.2008.11-12.3>

Zavialova, L. V., Protopopova, V. V., Kucher, O. O., Ryff, L. E., & Shevera, M. V. (2021). Plant invasions in Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*, 9(4), 1–13. <https://doi.org/10.2478/environ-2021-0020>

Zavyalova, L. V. (2008). Alien fraction of Chernihiv urban flora: Analysis and checklist. *Biodiversity Research and Conservation*, 11(12), 17–26.

Zavyalova, L. V. (2009). Addition to the adventive flora of Chernihiv Polissya. *Ukrainian Botanical Journal*, 66 (5), 635–639. (in Ukrainian)

Зав'ялова Л. В. Доповнення до адвентивної флори Чернігівського Полісся. Український ботанічний журнал. 2009. Т. 66. Вип. 5. С. 635–639.

Received: 12.10.2025. **Accepted:** 04.11.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Кириєнко С., Карпенко Ю., Мехед О. Найбільш поширені види інвазійних рослин урбанofлори міста Чернігова. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 30–37. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.3>

Cite this article in APA style as:

Kyryienko, S., Karpenko, Yu., & Mekhed, O. (2025). Naibil'sh poshyreni vydy invaziinykh roslyn urbanoflory mista Chernihova [The most common species of invasive plants in the Chernihiv city urban flora]. *Biota. Human. Technology*, (3), 30–37. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.3> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Kyryienko S. [*in Ukrainian: Кириєнко С.*]¹, PhD (Biology), Assoc. Prof., email: vettavl@ukr.net

ORCID: 0000-0002-2960-8656

Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Karpenko Yu. [*in Ukrainian: Карпенко Ю.*]², PhD (Biology), Assoc. Prof., email: yuch2011@i.ua

ORCID: 0000-0002-1703-8473 Scopus-Author ID: 57225225632

Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Mekhed O. [*in Ukrainian: Мехед О.*]³, PhD (Biology), D.Sc. (Pedagogica), Professor, email: mekhedolga@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9485-9139 Scopus Author ID: 6506181994 ResearcherID: AAC-7333-2021

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, data collection, data analysis, manuscript preparation.

² Data collection, data analysis, manuscript preparation.

³ Data collection, data analysis, manuscript preparation.



Copyright (c) 2025 Olena Bulakh, Vasyl Budzhak

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Олена Булах, Василь Буджак

PORTULACA SOCOTRANA (PORTULACACEA) У ФЛОРИ УКРАЇНИ

Olena Bulakh, Vasyl Budzhak

PORTULACA SOCOTRANA (PORTULACACEAE) IN THE FLORA OF UKRAINE**АНОТАЦІЯ**

Мета роботи. З'ясувати місце *Portulaca socotrana* в комплексі *P. oleracea* на підставі макро- та мікоморфологічного дослідження і узагальнити його сучасне поширення в Україні.

Методологія. Об'єкт дослідження *P. oleracea* aggr. та його внутрішньовидові таксони. Було вивчено зразки з майже 450 локалітетів *P. oleracea*, матеріали по яким представлено з гербарних колекцій України (KW, CHER, CHU, YALT, UU, LWKS) та у польових зборах, отриманих з територій окремих регіонів України. Досліджено по 15–20 насінин з рослин кожного гербарного аркуша. Визначення таксонів виконувалось на підставі макро- та мікоморфологічних ознак насінин за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ), для визначення діаметру насінин було проведено вимірювання довжини полярної та екваторіальної осей за допомогою програми AxioVision Rel.4.8 для кожної зафіксованої на столику для СЕМ насінини.

Наукова новизна. Вперше узагальнено відомості про поширення *P. socotrana* в Україні, одного з таксонів аналізованого комплексу, зафіксовано 13 його локалітетів з Житомирської, Полтавської, Рівненської, Чернігівської областей та АР Крим. Нові місця зростання *P. socotrana*, виявлені на території країни, свідчать про розширення його вторинного ареалу.

Висновки. Поширення *P. socotrana* в Україні характеризується спорадичністю та віддаленістю локалітетів дослідженого таксону як від основного центру походження (Північно-Східна Африка), так і локалітетів між собою на території країни. Потрапляння *P. socotrana* в Україну спостерігається лише останніми роками, що свідчить про його недавнє занесення та майже одночасне розповсюдження у різні регіони. Найближчим часом можливо з'являться нові спонтанні місця зростання рослин цього таксону в регіонах України, тому фіксація нових локалітетів і моніторинг подальшого поширення, а також встановлення його участі у різних біотопах є актуальним завданням для подальших досліджень.

Ключові слова: *Portulaca*, нові знахідки, поширення, ультраструктура поверхні насінин, чужорідний вид

ABSTRACT

Purpose of the work. To clarify the place of *Portulaca socotrana* in the *P. oleracea* complex based on macro- and micromorphological research and to generalize its current distribution in Ukraine.

Methodology. The object of the study is *P. oleracea* aggr. and its intraspecific taxa. Samples from almost 450 localities of *P. oleracea* were studied, the materials for which were presented from the herbarium collections of Ukraine (KW, CHER, CHU, YALT, UU, LWKS) and in field collections obtained from the territories of individual regions of Ukraine. Taxa were determined based on macro- and micromorphological characteristics of seeds using a scanning electron microscope (SEM). To determine the diameter of seeds, the length of the polar and equatorial axes was measured using the AxioVision Rel.4.8 program for each seed fixed on the SEM stage.

Scientific novelty. For the first time, information on the distribution of *P. socotrana* in Ukraine, one of the taxa of the analyzed complex, has been summarized, 13 of its localities from Zhytomyr, Poltava, Rivne, Chernihiv regions and the Autonomous Republic of Crimea have been recorded. New locations of *P. socotrana* growth discovered in Ukraine indicate the expansion of its secondary range.

Conclusions. The distribution of *P. socotrana* in Ukraine is characterized by the sporadic nature and remoteness of the localities of the studied taxon both from the main center of origin (North-East Africa) and from localities to each other on the territory of Ukraine, which corresponds to its wide ecological amplitude. The entry of *P. socotrana* into the country has been observed only in recent years, which indicates its recent introduction and almost simultaneous distribution in different regions of Ukraine. In the near future, new spontaneous growth sites of plants of this taxon may appear in the regions of Ukraine, therefore, recording new localities and monitoring its further distribution and establishing its participation in various biotopes is an urgent task for further research.

Key words: alien species, distribution, new records, *Portulaca*, seed surface ultrastructure

Постановка проблеми

Останніми роками в регіонах України спостерігається стрімке поширення багатьох видів чужорідних рослин. Одним із критичних таксонів є *Portulaca oleracea* aggregate, серед систематиків дотепер немає єдиної думки щодо його обсягу та статусу.

Portulaca oleracea L. (*Portulacaceae*) – однорічна рослина, виявляє широку екологічну амплітуду (толерантність до світлового періоду, інтенсивності світла, температури, вологості та типу ґрунту) (Danin et al., 2016). Рослини виду активно розповсюджуються на всіх континентах від помірних до тропічних широт, тяжіють до порушених місць, а також вказуються як бур'ян сільськогосподарських угідь (Tutin et al., 1993). Широке поширення пояснюється його адаптивністю та швидкістю продукування значної кількості насінин (Zimmerman, 1976; Matthews et al., 1993). Географічне походження виду остаточно не з'ясовано. Свого часу, результати молекулярно філогенетичних досліджень роду *Portulaca* L. продемонстрували існування двох основних ліній роду, одна є обмеженою Старим Світом, друга має південноамериканське походження і рослини видів, які входять до складу цієї клади, могли неодноразово поширюватися на інші континенти (Ocampo & Columbus, 2012).

В Україні вид вважається адвентивним (Протопопова, 1991), за часом занесення – археофітом ірано-туранського походження, за способом натуралізації – епекофітом, виявляє схильність до проникнення у напівприродні рослинні угруповання (агіо-епекофіт), а у окремих регіонах України та прикордонних з нею країнах є потенційно інвазійним.

За результатами досліджень, проведених А. Даніном зі співавторами з використанням комбінованих ознак ультраструктури поверхні насінин та плоідності, було доведено, що це поліплоїдний комплекс, який представлений принаймні 9–19 морфотипами в Європі (Danin et al., 1978, 2008, 2012, 2014, 2016; Soltis & Soltis, 1999; Danin & Reyes-Betancort, 2006). Оскільки в останні часи спостерігається активізація вивчення таксономії аналізованого комплексу, тому виникла необхідність більш детального, поглибленого, з використанням методів електронної мікроскопії вивчення *P. oleracea* у флорі України (Bulakh et al., 2019, 2020, 2023, 2024).

Мета: з'ясувати місце *P. socotrana* в комплексі *P. oleracea* на підставі макро- та мікоморфологічного дослідження та узагальнити його сучасне поширення в Україні.

Матеріали та методи дослідження

Об'єкт дослідження *P. oleracea* aggr. та його внутрішньовидові таксони. Методичною основою дослідження послужили результати багаторічної роботи А. Даніна зі співавторами по *P. oleracea* s.l. світової флори (Danin et al., 1978, 2008, 2012, 2014, 2016). За даними Danin et al. морфологічні характеристики вегетативних органів *P. oleracea* s.l. не мають діагностичного значення, для диференціації таксонів автори використали мікоморфологічні ознаки поверхні та діаметр насінин, з залученням плоідності рослин.

Нами було вивчено зразки *P. oleracea* (майже з 450 локалітетів), матеріали по яким представлено з гербарних колекцій України (KW, CHER, CHU, YALT, UU, LWKS) та у польових зборах, отриманих з територій окремих регіонів України (зокрема, Волинська, Житомирська, Закарпатська, Запорізька, Київська, Луганська, Миколаївська, Чернівецька, Чернігівська, Харківська, Херсонська, обл.; Крим) впродовж 2019–2025 рр.

Було досліджено по 15–20 насінин з рослин кожного гербарного аркуша. Визначення таксонів виконувалось на підставі макро- та мікоморфологічних ознак насінин за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ) при збільшеннях $\times 30$, $\times 100$, $\times 200$, $\times 400$, $\times 800$. Для визначення діаметру насінин було проведено вимірювання довжини полярної та екваторіальної осей за допомогою програми AxioVision Rel.4.8 для кожної зафіксованої на столику для СЕМ насінини. Після ідентифікації морфотипів були занотовані їхні місцезнаходження та створені карти з використанням координат GPS.

Результати дослідження та обговорення

На сьогодні для флори України встановлено 11 морфотипів комплексу *P. oleracea* (Bulakh et al., 2024), серед яких одним із цікавих у фітогеографічному відношенні є *P. socotrana*. Особливість та незвичність цього таксону для флори України полягає у тому, що він є ендеміком острова Сокотра у

північно-східній Африці, відстань до України становить понад 5000 кілометрів. *Portulaca socotrana* відомий для науки з 2008 року, коли був описаний на підставі вивчення гербарних колекцій (PAL, Університет м. Палермо, Італія) та під час ботанічних досліджень на острові Сокотра (Ємен). Голотип, ізотип: Soqotra (Yemen), Shata Qansia, river bed, 12°37'38,00"N 53°36'27,13"E, 6.4.2008, Domina, Guiglia, Raimondo, Scafidi & Schimmenti (PAL). Його locus classicus – вздовж русла річки, де сезонно спостерігалось затоплення (Domina & Raimondo, 2009).

Таксон був ідентифіковано за особливостями насінин по мікрофотографіям, отриманим СЕМ-дослідженням. Насінини за

формою майже кулясті, темні (переважно чорні), з глянцевою поверхнею, довжина досліджених насінин від 0,713 мм до 0,819 мм, їхня ширина від 0,678 мм до 0,768 мм, їх діаметр в межах 0,85–1,1 мм. Діагностичні ознаки поверхні насінин відповідають оригінальному опису, наведеному для типового зразка (Domina & Raimondo, 2009): клітини ізодіаметричні, переважно у вигляді зірок з променями (бічні проекції від основного тіла клітини), довжина променів дорівнює ширині; при основі кожного променя розташовані сосочки, які припідняті над поверхнею клітини (Рис. 1).

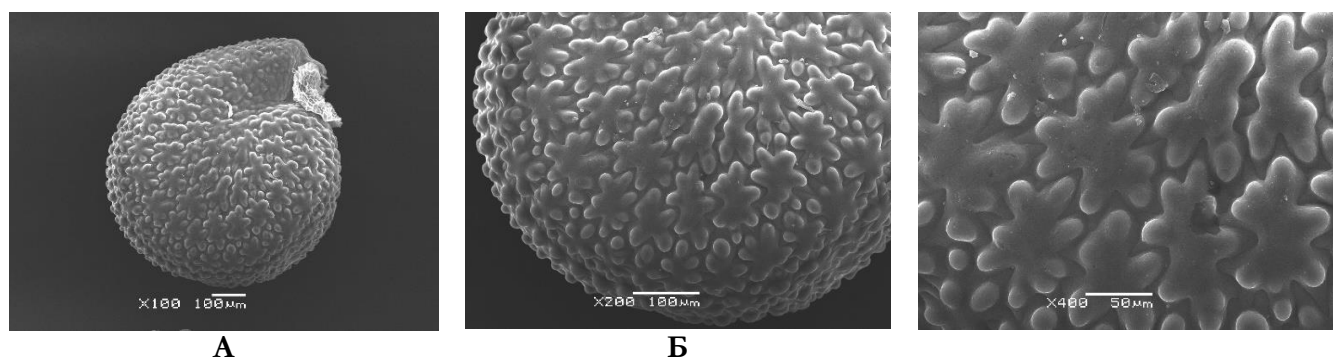


Рис. 1. *Portulaca socotrana* (СЕМ) (Крим, Гурзуф, 02.10.2021, Л. Рифф).

А – загальний вигляд насінини; Б – поверхня насінини; В – ізодіаметрична клітина поверхні

Аналізований таксон за мікоморфологічними характеристиками насінин належить до групи з діаметром насінин меншим або дорівнює 0,85 мм, клітини поверхні яких переважно трохи опуклі і мають орнаментацию (різне розташування на поверхні горбиків або сосочків). Це три таксони комплексу, встановленого у флорі України, *P. daninii* Galasso, Banfi & Soldano, *P. Granulato-stellulata* (Poelln.) Ricceri & Arrigoni, *P. socotrana*. До іншої групи відносяться таксони з діаметр насінин від 0,85 мм до 1,1 мм і також з різним рисунком орнаменту на поверхні клітин (*P. cypria* Danin, *P. macrantha* (Maire) C. Ricceri et P.V. Arrigoni, *P. Papillato-stellulata* (Danin & H.G. Baker) Danin та ін.). *Portulaca socotrana* за даними Domina & Raimondo (2009) виявився найбільш близько-спорідненим до *P. granulato-stellulata*, але відміни між ними полягають передусім за довжиною променів на клітинах (у *P. socotrana* вона така ж, як і ширина, у

P. granulato-stellulata – у 1,5–2 рази перевищує ширину) та за характером розташування сосочків (у *P. socotrana* в основі кожного променя є помітні сосочки, що припідняті над поверхню клітин, на відміну від *P. granulato-stellulata* з сосочками, які розташовані переважно в центральній частині або у декількох клітин біля основи та на кінцях променів). Також сосочків на клітинах *P. socotrana* значно більше ніж у *P. Granulato-stellulata*.

На сьогодні, окрім locus classicus таксон наведений з Ірану (Amini Rad et al., 2017) та Румунії (Bulakh et al. 2024). Вперше з території України зафіксовано в Криму у 2021 р. (Крим, Гурзуф, 02.10.2021, Л. Рифф) (Bulakh et al., 2023). Подальше спеціальне дослідження комплексу з різних регіонів України дозволило ідентифікувати таксон окрім вже відомого локалітету (Крим) і в інших областях країни. Зокрема, визначений *P. socotrana* у матеріалах польових зборів

Житомирської обл., виявився зібраним раніше ніж з Криму, у 2019–2020 рр.

У цілому, сучасне поширення *P. socotrana* в країні зафіксовано в 13 локалітетах з території Житомирської, Полтавської,

Рівненської, Чернігівської областей та Криму, зокрема в Лісостепу, Поліссі та ПБК. Нижче подаємо перелік локалітетів та складену на їхній основі картосхему поширення таксону (Рис. 2).

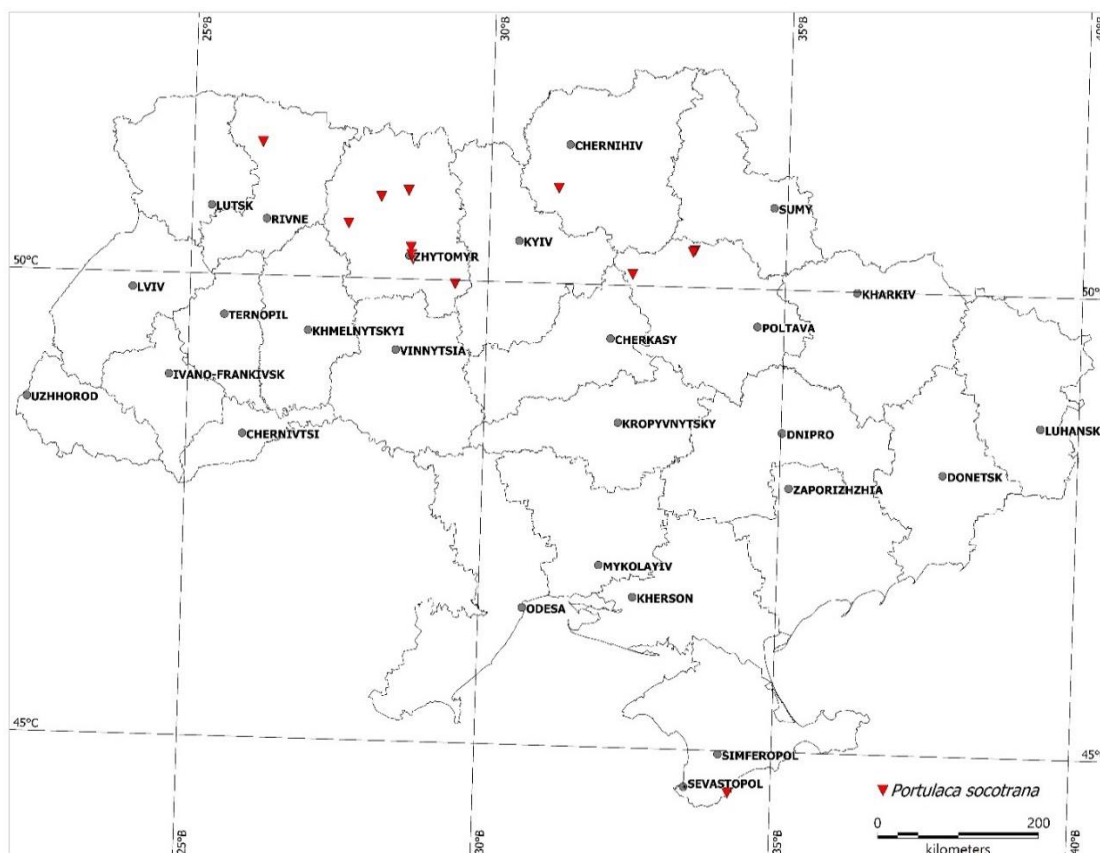


Рис. 2. Картосхема поширення *Portulaca socotrana* на території України

Житомирська обл., м. Житомир, з/д колії, 03.07.2020, М.В. Шевера (KW);

Житомирська обл., м. Коростень, центр, на клумбі, 24.08.2020, О. Орлов (KW);

Житомирська обл., м. Звягель (колишнє м. Новгород-Волинський), на клумбі, 19.09.2019, О. Орлов (KW);

Житомирська обл., Житомирський р-н, с. Станишівка, на узбіччі шосе Житомир – Андрушівка, 09.09.2019, О. Орлов (KW);

Житомирська обл., Житомирський р-н, с. Оліївка, на городі, великі листки 2-3 см завд., 23.08.2020, О. Орлов (KW);

Житомирська обл., Коростенський р-н, с. Гулянка, на городі, великі листки 2,0-2,5 см завд., 24.08.2020, О. Орлов (KW);

Житомирська обл., Попільнянський р-н, смт. Попільня, на городі, 17.08.2020, О. Орлов (KW);

Полтавська обл., Миргородський р-н, Заводська МОТГ, околиці с. Піски, біля

польової дороги, 50.39549 N, 33.46255 E, 24.VIII.2022, І. Ольшанський (KW);

Полтавська обл., Миргородський р-н, Заводська МОТГ, с. Піски, вул. Шевченка, на городі, в кукурудзі, 50.37976 N, 33.43413 E, 19.VIII.2022, І. Ольшанський (KW);

Полтавська обл., Лубенський р-н, Гребінківська МОТГ, м. Гребінки, на пристанційному ринку, 50.12115 N, 32.42899 E, 27.VIII.2022, І. Ольшанський (KW);

Рівненська обл., Володимирецький р-н, село Володимирець, на городі, 22.07.2024, О. Орлов (KW);

Чернігівська обл., Козелецький р-н, с. Пісоцьке, на узбіччі траси Е 95, 51.030792 N, 31.145791 E, 27.08.2022, Л. Зав'ялова (KW);

Крим, Гурзуф, 02.10.2021, Рифф Л. (YALT).

Як і більшість таксонів комплексу *P. socotrana* тяжіє до антропогенних місць існування. Всі встановлені місцезростання *P. socotrana* в регіонах України приурочені до антропогенних біотопів, наприклад, вздовж

по авто- та залізничних шляхах (узбіччя доріг, залізничні колії), на присадибних ділянках, клумбах міст та сіл.

Висновки

Поширення *P. socotrana* в Україні характеризується спорадичністю і віддаленістю локалітетів дослідженого таксону як від основного центру походження (Північно-Східна Африка), так і локалітетів між собою на території України. Потрапляння *P. socotrana* в країну спостерігається лише останніми роками, що свідчить про його недавнє

занесення та майже одночасне розповсюдження у різні регіони України. Нові місця зростання *P. socotrana*, виявлені на території України, свідчать про розширення її вторинного ареалу. Найближчим часом можливо будуть з'являтися нові спонтанні місця зростання рослин цього таксону в регіонах України, тому фіксація нових локалітетів і моніторинг подальшого поширення та встановлення його участі у різних біотопах є актуальним завданням для подальших досліджень.

Подяки

Автори щиро вдячні д.б.н. О.О. Орлову (ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»), к.б.н. Л.В. Зав'яловій, к.б.н. І.Г. Ольшанському, к.б.н. М.В. Шевері (Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України), к.б.н. Н.М. Сичак (Інститут екології Карпат НАН України) та к.б.н. Л.Е. Рифф (Українське ботанічне товариство) за люб'язно наданий гербарний матеріал.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування. Робота виконана в межах наукової теми № 478 «Виявлення закономірностей просторового розміщення і тенденцій змін ареалів модельних видів та ведення таксономічної системи судинних рослин України з використанням інформаційних технологій» відділу систематики і флористики судинних рослин Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України / This research received no external funding. The work was carried out within the framework of the scientific topic No. 478 "Identification of patterns of spatial distribution and trends in changes in the ranges of model species and maintenance of the taxonomic system of vascular plants of Ukraine using information technologies" of the Department of Systematics and Floristics of Vascular Plants of the M.G. Kholodny Institute of Botany of the NAS of Ukraine.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до автора / Dataset available on request from the author.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Amini Rad, M., Sajedi, S., & Domina, G. (2017). First data on the taxonomic diversity of the *Portulaca oleracea* aggregate (*Portulacaceae*) in Iran. *Turk. J. Bot.*, 41, 535–541. <https://doi.org/10.3906/bot-1611-43>
- Bulakh, E. V., Orlov, O. O., Szkudlarz, P., Celka, Z., & Shevera, M. V. (2024). Intraspecific diversity of *Portulaca oleracea* s. l. (*Portulacaceae*) in Zhytomyr Polissia and Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. *Chornomorski Botanical Journal*, 20(2), 190–208. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2024-20-2-5>
- Bulakh, O. V., Protopopova, V. V., & Shevera, M. V. (2019). *Portulaca cypria* Danin, *P. granulatos-tellulata* (Poelln.) Ricceri & Arrigoni, *P. papillatostellulata* (Danin & H. G. Baker) Danin (*Portulacaceae* Juss.) – new taxa for the flora of Ukraine from the territory of Transcarpathia. *Nauk. visn. Chernivtsi Univ., ser. Biol. (Biol. systems)*, 10(1), 87–92.
- Булах О. В., Протопопова В. В., Шевера М. В. 2019. *Portulaca cypria* Danin, *P. granulatos-tellulata* (Poelln.) Ricceri & Arrigoni, *P. papillatostellulata* (Danin & H. G. Baker) Danin (*Portulacaceae* Juss.) – нові для флори України таксони із території Закарпаття. *Наук. вісн. Чернівецького ун-ту, сер. Біол. (Біол. системи)*, 10(1): 87–92.
- Bulakh, O. V., Volutsa, O. D., Tokaryuk, A. I., Budzhak, V. V., Korzhan, K. V., Zavyalova, L. V., Kucher, O. O., & Shevera, M. V. (2020). *Portulaca oleracea* aggregate (*Portulacaceae*) from the territory of Chernivtsi region (Ukraine). *Biol. systems. Visn. Chernivtsi. nat. un-tu*, 12(2), 251–262. <https://doi.org/10.31861/biosystems2020.02.251>
- Булах О. В., Волуца О. Д., Токарюк А. І., Буджак В. В., Коржан К. В., Зав'ялова Л. В., Кучер О. О., Шевера М. В. *Portulaca oleracea* aggregate (*Portulacaceae*) з території Чернівецької області (Україна). *Біол. системи. Вісн. Чернівецьк. нац. ун-ту*, 2020, 12 (2): 251–262. <https://doi.org/10.31861/biosystems2020.02.251>
- Bulakh, E., Ryff, L., & Shevera, M. (2023). *Portulacaceae* [Crimea]. Pp. 65–71. In : Raab-Straube E. von & Raus Th. (ed.), Euro+Med Checklist Notulae, 16. *Willdenowia*, 53, 57–77. <https://doi.org/10.3372/wi.53.53104>
- Danin, A., Buldrini, F., Bandini Mazzanti M., Bosi, G., Caria, M. C., Dandria, D., Lanfranco, E., Mifsud, S., & Bagella, S. (2016). Diversification of *Portulaca oleracea* L. complex in the Italian peninsula and adjacent islands. *Botany Letters*, 163, 261–272. <https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1200482>
- Danin, A., Baker, I., & Baker, H. G. (1978). Cytogeography and taxonomy of the *Portulaca oleracea* L. polyploidy complex. *Israel Journal of Botany*, 27, 177–211.
- Danin, A., Buldrini, F., Bandini Mazzanti, M., & Bosi, G. (2014). The history of the *Portulaca oleracea* aggregate in the Emilia-Romagna Po Plain (Italy) from the Roman age to the present. *Plant Biosystems*, 148(4), 622–634. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.788098>
- Danin, A., Caria, M.C., Marrosu, G. M., & Bagella, S. (2012). A new species of *Portulaca oleracea* aggregate from Sardinia, Italy. *Plant Biosystems*, 146(1), 137–141. <https://doi.org/10.1080/11263504.2012.681319>
- Danin, A., Domina, G., & Raimondo, F. M. (2008). Microspecies of the *Portulaca oleracea* aggregate found on major Mediterranean islands (Sicily, Cyprus, Crete, Rhodes). *Flora Mediterranea*, 18, 89–107.
- Danin, A., & Reyes-Betancort, J. A. (2006). The status of *Portulaca oleracea* L. in Tenerife, the Canary Islands. *Lagascalia*, 26, 71–81.

Domina, G., & Raimondo, F. M. (2009). A new species in the *Portulaca oleracea* aggregate (*Portulacaceae*) from the island of Soqatra (Yemen). *Webbia*, 64, 9–12. <https://doi.org/10.1080/00837792.2009.10670848>

Matthews, J. F., Ketron, D. W., & Zane, S. F. (1993). The biology and taxonomy of the *Portulaca oleracea* L. (*Portulacaceae*) complex in North America. *Rhodora*, 95, 166–183.

Ocampo, G., & Columbus, J. T. (2012). Molecular phylogenetics, historical biogeography, and chromosome number evolution of *Portulaca* (*Portulacaceae*). *Mol. Phylogenet. Evol.*, 63(1), 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.12.017>

Protopopova, V. V. (1991). Synanthropic flora of Ukraine and ways of its development. Nauk. Dumka. (in Russian)

Протопопова В.В. Синантропная флора Украины и пути ее развития. Киев: Наук. думка, 1991. 204 с.

Soltis, D. E., & Soltis, P. S. (1999). Polyploidy: recurrent for mation and genome evolution. *Trends in Ecol. & Evol.*, 14(9), 348–352.

Tutin, T. G., Burges, N. A., Chater, A. O., Edmondson, J. R., Heywood, V. H., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M., & Webb, D. A. (1993). *Flora Europaea*. Second Edition. University Press, Vol. 1.

Zimmerman Craig, A. (1976). Growth characteristics of weediness in *Portulaca oleracea* L. *Ecology*, 57(5), 964–974. <https://doi.org/10.2307/1941061>

Received: 22.10.2025. Accepted: 08.11.2025. Published: 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Булах О., Буджак В. *Portulaca socotrana* (*Portulacaceae*) у флорі України. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.4>

Cite this article in APA style as:

Bulakh, O., & Budzhak, V. (2025). *Portulaca socotrana* (*Portulacaceae*) u flori Ukrainy [*Portulaca socotrana* (*Portulacaceae*) in the flora of Ukraine]. *Biota. Human. Technology*, (3), 38–44. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.4> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Bulakh O. [in Ukrainian: **Булах О.**] ¹, PhD (Biology), Senior scientific researcher, e-mail: anemone@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8471-3750 Scopus-Author ID: 9249477700
Department of Systematics and Floristics of Vascular Plants, M.H. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
2 Tereshchenkivska Street, Kyiv, 01004, Ukraine

Budzhak V. [in Ukrainian: **Буджак В.**] ², D.Sc. (Biology), Senior Research Fellow, e-mail: budzhak.v.v@nas.gov.ua
ORCID: 0000-0002-7754-6437 Scopus-Author ID: 55922695900
Government institution “Institute of Evolutionary Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine”
37 Acad. Lebedeva St., Kyiv, 03143, Ukraine;
Biosphere Reserve “Askania-Nova” named after F.E. Falz-Fein NAAS
15 Parkova St., Askania-Nova, Kakhovsky District, Kherson Region, 75230, Ukraine;
National University of Kyiv-Mohyla Academy
2 Skovorody St., Kyiv 04070, Ukraine

¹ Study design, data collection, manuscript preparation.

² Study design, data collection, manuscript preparation.



Copyright (c) 2025 Liudmyla Zavialova, Vitaliy Kolomiichuk, Oksana Kucher, Vitaliy Virchenko, Viktoria Polska, Olena Miskova, Vira Protopopova, Myroslav Shevera

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**Людмила Зав'ялова, Віталій Коломійчук, Оксана Кучер, Віталій Вірченко,
Вікторія Польська, Олена Міськова, Віра Протопопова, Мирослав Шевера**

**ВІДНОВЛЕННЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ,
ПОШКОДЖЕНОГО ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ
НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ЗАЛІССЯ»**



**Liudmyla Zavialova, Vitaliy Kolomiichuk, Oksana Kucher, Vitaliy Virchenko, Viktoria Polska,
Olena Miskova, Vira Protopopova, Myroslav Shevera**

**RESTORATION OF VEGETATION COVER DAMAGED OF MILITARY ACTIONS
ON THE TERRITORY OF ZALISSIA NATIONAL NATURE PARK**

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. З'ясувати особливості відновлення рослинного покриву Національного природного парку «Залісся», що зазнав пошкоджень внаслідок російської воєнної агресії.

Методологія. В основу роботи покладені результати оригінальних моніторингові дослідження авторів, включно з маршрутними, проведені на території НПП «Залісся» впродовж 2023–2025 рр., з подальшою камеральною обробкою матеріалів. Приналежність аналізованих видів до апофітної та адвентивної фракцій флори НПП визначали послуговуючись підходами Rikli та Thelung, допрацьовані й узагальнені в класифікаційній схемі Kornaš (1968). Індeksi синантропізації, апофітизації та антропофітизації обраховані відповідно до підходів запропонованих Jackowiak (1990). Назви та обсяг таксонів мохоподібних наведено за Продромусом спорових рослин України (Virchenko & Nyporko, 2022), судинних рослин – за POWO (<https://powo.science.kew.org/>) із деякими винятками, які відповідають Mosyakin & Fedoronchuk (1999). Для встановлення подібності видового складу рослинного покриву порушених ділянок із тими, які не зазнали руйнувань, використовували ідею методики парних ділянок (Bazalová et al., 2018), адаптовану відповідно до специфіки дослідження.

Наукова новизна. Встановлено склад видів, які беруть участь у відновленні рослинного покриву вирв, спричинених вибухами снарядів різних типів на території НПП «Залісся». З'ясовано загальні тенденції та особливості цього процесу в соснових і дубових лісах на території цього об'єкта Природно-заповідного фонду України. За результатами трирічного моніторингу участь у заростанні вирв загалом беруть 161 вид флори судинних рослин НПП, з яких 114 – автохтонних (включно з 45 апофітами) і 47 – алохтонних (25 – археофіти і 22 – кенофіти), а також 22 види мохоподібних. Фітоценотичні зв'язки видів усіх фракцій флори досить різноманітні. Більшість з них має широку екологічну амплітуду, всі види входять до складу різних лісових, трав'яних, рудеральних угруповань, представлених на території НПП «Залісся». Головним ресурсом для відновлення рослинного покриву пошкоджених ділянок є діаспори видів флори НПП, які здебільшого наявні поблизу вирв, що встановлено за результатами порівняння видового складу пошкоджених і контрольних ділянок. Кількісно видовий склад новосформованих угруповань збільшується, що свідчить про позитивну динаміку заростання. Якісні зміни видового складу цих угруповань здебільшого забезпечують автохтонні види зі складу природної флори НПП, кількість яких зростає: у 2023 р. всього 66, з яких 33 – апофіти і 33 – аборигенні; у 2024 р. всього 83, з них 38 – апофіти і 45 – аборигенні; у 2025 всього 114, з них 45 – апофіти і 69 – аборигенні. Значною в заростанні вирв є участь рудеральних (серед яких чимало апофітів) і лучних видів, пов'язаних із більше або менше зволженими місцезростаннями, що загалом зумовлено значною синантропізацією рослинного покриву території НПП.

Висновки. З'ясовано основні тенденції та особливості відновлення рослинного покриву на прикладі лісових біотопів території НПП «Залісся», які зазнали руйнувань внаслідок воєнних дій. За три роки спостережень видовий склад на досліджених ділянках збільшився на 35%. Кількісне заростання відбулося в усіх фракціях флори, чисельно зріс і склад мохоподібних, що свідчить про позитивну динаміку заростання. Якісні зміни видового складу цих угруповань здебільшого забезпечують автохтонні види зі складу природної флори НПП. У новосформованому рослинному покриві пошкоджених ділянок спостерігається поступова поява проростків дерев як адвентивних, так і аборигенних видів, що свідчить як про позитивну динаміку заростання вирв, так і про збереження лісового характеру флори та рослинності парку. Загалом видове різноманіття та швидкість відновлення рослинного покриву вирв залежить від площі й обсягу пошкоджень, типу біотопів,

рудералізованості навколишніх ділянок, наявності повторного порушення і антропогенного навантаження. Чим менші обсяги пошкоджень, тим швидше відбувається відновлення рослинного покриву. Відповідно, чим масштабнішими є пошкодження, особливо в соснових лісах із бідним видовим різноманіттям, тим складнішим і довшим буде відновлення їхнього рослинного покриву.

Ключові слова: вирви, рослинний покрив, фіторізноманіття, флора, фракційний аналіз, Україна

ABSTRACT

Purpose of the work. To determine the features of the spontaneous restoration of vegetation cover damaged as a result of military actions on the territory of the Zalissia National Nature Park.

Methodology. The work is based on the authors' original research results, conducted by route method on the territory of the Zalissia National Nature Park, and with subsequent office processing of the material, from 2023 to 2025. The species belonging to the apophytic and alien fractions of the analyzed flora are distinguished according to the approaches by Rikli and Thelung, based on which several classification schemes have been developed. The most widely used of these is the scheme by Kornaś (1968). The indices of synanthropization, apophytization, and anthropophytization were calculated according to Jackowiak (1990). To assess the similarity of the species composition of vegetation cover in disturbed areas with that of undisturbed sites, we applied the concept of the twin-plots method (Bazalová et al., 2018), adapted to the specific conditions of our study. The names of species, their authors, and scope for vascular plants are given according to POWO (<https://powo.science.kew.org/>), with few exceptions corresponding to Mosyakin & Fedoronchuk (1999). The names of bryophytes are given according to Prodromus of spore plants of Ukraine (Virchenko & Nyporko, 2022).

Scientific novelty. The species composition (161 taxa of vascular plants and 22 bryophyte species) of the shell craters has been established, and the features of restoring the vegetation cover damaged as a result of military actions on the territory of the Zalissia National Nature Park have been clarified. Phytocoenotic relationships of species of all flora fractions are quite diverse. Most of them have a wide ecological amplitude, but all species are part of various forest communities represented in the Zalissia territory. The main resource for restoring the vegetation cover of damaged areas is the diaspores of the species of the NPP flora, which are mostly present near the shell craters, as established by the results of comparing the species composition of damaged and control plots. The quantitative species composition of the newly formed communities is increasing, which indicates a positive overgrowth dynamics. Qualitative changes in the species composition of these communities are mainly provided by autochthonous species from the natural flora of the NPP, the number of which is increasing. The significant participation of ruderal (among which there are many apophytes) and meadow species associated with more or less humid habitats in the overgrowth of shell craters is generally due to the significant synanthropization of the vegetation cover of the NPP territory.

Conclusions. Over three years of monitoring, the species composition in the studied areas increased by 35%. At the same time, quantitative growth occurred in all fractions of the flora, and the composition of bryophytes also increased, which indicates a positive dynamic of overgrowth. Qualitative changes in the species composition of these communities are mainly provided by autochthonous species from the composition of the natural flora of the National Nature Park, the number of which is increasing. In the newly formed vegetation cover of the damaged areas, the gradual appearance of tree seedlings of both alien and aboriginal species is observed, which indicates both a positive dynamics of overgrowth of the shell craters and the preservation of the forest character of the flora and vegetation of the park. In general, the species diversity and the speed of restoration of the vegetation cover of the shell craters depend on the area and volume of damage, the type of biotopes, the ruderalization of the surrounding areas, the presence of repeated disturbance, and anthropogenic load. The smaller the volume of damage, the faster the restoration of the vegetation cover. Accordingly, the more extensive the damage, especially in pine forests with poor species diversity, the more difficult and longer it will take to restore their vegetation cover.

Key words: flora, fractional analysis, phytodiversity, shell craters, Ukraine, vegetation cover

Вступ

Війна порушує функціонування усіх систем життєзабезпечення, склад і структуру компонентів біосфери, стан природних ресурсів, темпи їхнього відтворення. Сучасна російська воєнна агресія характеризується застосуванням всього можливого арсеналу техніки, систем озброєння та боєприпасів, що впливає на біорізноманіття і середовище його існування як безпосередньо, так і опосередковано. Масоване застосування артилерії, ударної авіації, ракетних атак, висока інтенсивність бойових дій викли-

кають масштабні порушення рослинного покриву, зокрема його повне або часткове руйнування (пошкодження в результаті падіння та розривів снарядів, дії вибухових хвиль, хімічного забруднення, пожеж тощо). Природні екосистеми на території бойових дій зазнають дедалі більших прямих втрат унаслідок руйнування або високого ступеня перетворення. Знищення та пошкодження рослинного покриву, біорізноманіття і цілих екосистем, призводить до порушення їхнього функціонування на тривалий час. Це унеможливує чи ускладнює надання ними екосистемних послуг, а також зумовлює

суттєве збільшення площі антропогенно-трансформованих земель. Різним аспектам негативного впливу війни на флору та фауну присвячено дедалі більше наукових досліджень, в яких зафіксовані типи пошкоджень, обраховані втрати й збитки, завдані природним екосистемам, і запропоновані методики їх оцінювання (Didukh et al., 2024, 2025), представлені результати моніторингу та проаналізований сучасний стан біорізноманіття (Zavialova et al., 2022, 2023, 2024; Moysiienko et al., 2023, 2025; Dzerkal et al., 2024; Kletonkin, 2024; Kolomiichuk et al., 2024a; Kolomiichuk & Zymarioieva, 2024; Smagol et al., 2024).

Об'єкти природно-заповідного фонду України, так само як і критична та цивільна інфраструктура, зазнають прямого (руйнування і пошкодження, особливо на території бойових дій і в окупації) та опосередкованого впливу воєнних дій. З'ясування сучасного стану екосистем, оцінка масштабів і наслідків впливу воєнних дій на біоту, передусім фіксація втрат і проведення моніторингу відновлення є одним із пріоритетних завдань наукових досліджень (Zavialova et al., 2022, 2023; Smagol et al., 2024).

НПП «Залісся» створено Указом Президента України № 1049 у 2009 р. з метою збереження, відтворення, використання типових і унікальних природних комплексів, що мають передусім важливе природоохоронне та наукове значення (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1049/2009#Text>). У 2021 р. було проведено науково-організаційні роботи, за результатами яких розроблено «Проект організації території НПП «Залісся», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів» (On approval of Project..., 2022). У структурі НПП виділено чотири природоохоронних науково-дослідних відділення (далі – ПНДВ), розташовані на території двох адміністративних областей України: Деснянське, Заліське, Рожнянське ПНДВ і невелика частка Літківського ПНДВ у межах Київської обл. і більша частина Літківського ПНДВ – у Чернігівській обл. Загальна площа НПП «Залісся» становить 14836 га (On approval of Project..., 2022; Smagol et al., 2024). За сучасними даними флора НПП налічує 778 видів та підвидів судинних рослин, 612 з яких належать до аборигенної фракції, і має добре виражений лісовий характер (Kolomiichuk et al., 2024b, c). У бріофлорі парку на

сьогодні встановлено 74 види (Virchenko, 2025).

На початок фактичного функціонування НПП «Залісся» як новоствореного об'єкта Природно-заповідного фонду припало широкомасштабне воєнне вторгнення РФ в Україну, внаслідок якого постраждали адміністративні будівлі установи (помешкання співробітників, господарські та інші споруди) і, звичайно, біота. У період 8–29 березня 2022 р. територію парку частково було окуповано російськими військами (Smagol et al., 2024). Територія всіх ПНДВ зазнала різних типів прямого впливу воєнних дій: пожеж, замінування, ракетно-артилерійських обстрілів, руйнації та пошкодження рослинного і ґрунтового покриву після пересування важкої військової техніки поза дорогами, розбудови польових фортифікацій тощо. У цьому повідомленні проаналізовані особливості спонтанного відновлення рослинного покриву вирв, розташованих у різних ПНДВ та різних функціональних зонах парку.

Матеріали та методи дослідження

В основу роботи покладені результати оригінальних досліджень авторів, включно з маршрутними, проведені на доступній (не замінованій) території НПП «Залісся» упродовж вегетаційних сезонів 2023–2025 років із подальшою камеральною обробкою даних. Для з'ясування особливостей заростання вирв на території НПП «Залісся», де загалом зафіксовано понад 20 різних за розмірами поодиноких вирв, що утворилися упродовж 2022–2025 рр. після ракетно-артилерійських обстрілів, моніторинговими дослідженнями охоплено сім. П'ять з них від артилерійських обстрілів (дослідження розпочато у 2023 р.), дві найбільші на сьогодні – від ракетного обстрілу (з 2024 р.), а також кілька пошкоджень від падіння уламків безпілотних літальних апаратів (з 2025 р.). Діаметр найменших пошкоджень становить близько 1 м, найбільших – до 9 м. Їхня глибина сягає 0,4–5 м. На місцях вирв та на контрольних ділянках було виконано 28 геоботанічних описів, які було використано для укладання узагальнених переліків видів і їх флористичного аналізу. Для встановлення подібності видового складу рослинного покриву порушених ділянок із такими, що не зазнали руйнувань використовували методику парних ділянок (Bazalová et al.,

2018), модифіковану відповідно до специфіки дослідження: до кожної пошкодженої ділянки обирали також контрольну ділянку з непо-руйнованим рослинним покривом, розташо-вану поблизу.

Приналежність аналізованих видів до апофітної та адвентивної фракцій флори НПП визначали послуговуючись підходами Rikli та Thelung, які були допрацьовані й узагальнені в класифікаційній схемі Kornaš (1968). Індeksi синантропізації, апофітизації та антропофітизації обраховані відповідно до підходів запропонованих Jackowiak (1990). Назви та обсяг таксонів мохоподібних наведено за Продромусом спорових рослин України (Virchenko & Nyporko, 2022), видів судинних рослин – за POWO (<https://powo.science.kew.org/>) із деякими винятками, які відповідають Mosyakin & Fedoronchuk (1999).

Результати дослідження та обгово-рення

За результатами трирічного моніто-рингу заростання у вирвах загалом відмі-чено 161 вид судинних рослин, з яких 114 – автохтонні (включно з 45 апофітами) і 47 – алохтонні (25 – археофіти і 22 – кенофіти), а також 22 види мохоподібних (табл. 1).

Фітоценотичні зв'язки видів усіх фракцій флори досить різноманітні, більшість з них має широку екологічну амплітуду, але головним чином всі вони входять до складу різних лісових, трав'яних, рудеральних угруповань, представлених на території НПП «Залісся». Склад судинних рослин дослідженої групи таксономічно різнома-нітний, водночас найчисельніше представ-лені провідні родини флори НПП, хоча чіткої структури таксономічні спектри поки що не мають. Серед мохоподібних виявлено один печіночник (*Marchantia polymorpha*) і 21 вид мохів. За систематичною приналежністю мохи – це представники здебільшого лісових родин Brachytheciaceae (6 видів), Polytricha-ceae (3), Dicranaceae s.l. (3), Mniaceae (3). Ще п'ять родин представлені лише 1-2 видами. У еколого-ценотичному відношенні усі мохи – епігейні, як соснових лісів (*Polytrichum juniperinum*, *P. piliferum*, *Dicranum polysetum*, *Pleurozium schreberi*), так і листяних (*Atrichum undulatum*, *Oxyrrhynchium hians*, *Brachythecium* spp.). Певну участь в зарос-танні беруть також космополіти *Funaria hygrometrica*, *Marchantia polymorpha* і, особ-ливо, *Ceratodon purpureus*, який найчастіше з'являється на пошкоджених ділянках, включно з вирвами.

Таблиця 1

Списки видів судинних рослин та мохоподібних, зафіксованих на пошкоджених ділянках території НПП «Залісся» в різні роки моніторингових досліджень

2023	2024	2025	Фракція флори
СУДИННІ РОСЛИНИ			
<i>Acer negundo</i>	<i>Acer negundo</i>	<i>Acer negundo</i> L.	A (k)
<i>Acer platanoides</i>	<i>Acer platanoides</i>	<i>Acer platanoides</i> L.	Ab
<i>Acer tataricum</i>	<i>Acer tataricum</i>	<i>Acer tataricum</i> L.	Ab
<i>Achillea millefolium</i>	<i>Achillea millefolium</i>	<i>Achillea millefolium</i> L.	Ap
<i>Aegopodium podagraria</i>	<i>Aegopodium podagraria</i>	<i>Aegopodium podagraria</i> L.	Ap
–	–	<i>Agrostis capillaris</i> L.	Ab
–	<i>Ajuga genevensis</i>	<i>Ajuga genevensis</i> L.	Ab
<i>Ajuga reptans</i>	<i>Ajuga reptans</i>	<i>Ajuga reptans</i> L.	Ab
<i>Alliaria petiolata</i>	<i>Alliaria petiolata</i>	<i>Alliaria petiolata</i> (M.Bieb.) Cavara & Grande	Ap
<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	A (k)
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	A (k)
<i>Anchusa cf. procera</i>	<i>Anchusa cf. procera</i>	<i>Anchusa cf. procera</i> Besser ex Link	Ab
–	<i>Anthriscus sylvestris</i>	<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	Ap
<i>Arabidopsis thaliana</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	A (k)
–	<i>Argentina anserina</i>	<i>Argentina anserina</i> (L.) Rydb.	Ap

2023	2024	2025	Фракція флори
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.	Ap
–	–	<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	A (k)
<i>Artemisia vulgaris</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Ab
<i>Atriplex micrantha</i>	<i>Atriplex micrantha</i>	<i>Atriplex micrantha</i> C.A. Mey.	A (k)
<i>Berteroa incana</i>	<i>Berteroa incana</i>	<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	Ap
–	–	<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) Beauv.	Ab
–	–	<i>Bromus arvensis</i> L.	A (a)
<i>Bromus hordeaceus</i>	<i>Bromus hordeaceus</i>	<i>Bromus hordeaceus</i> L.	Ap
–	<i>Bromus inermis</i>	<i>Bromus inermis</i> Leyss.	Ab
<i>Bromus squarrosus</i>	<i>Bromus squarrosus</i>	<i>Bromus squarrosus</i> L.	A (k)
<i>Bromus sterilis</i>	<i>Bromus sterilis</i>	<i>Bromus sterilis</i> L. (syn. <i>Anisantha sterilis</i> (L.) Nevski)	A (a)
<i>Bromus tectorum</i>	<i>Bromus tectorum</i>	<i>Bromus tectorum</i> L. (syn. <i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski)	A (a)
<i>Calamagrostis epigejos</i>	<i>Calamagrostis epigejos</i>	<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth	Ab
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Ap
<i>Carex brizoides</i>	<i>Carex brizoides</i>	<i>Carex brizoides</i> L.	Ab
<i>Carex cf. ericetorum</i>	<i>Carex cf. ericetorum</i>	<i>Carex cf. ericetorum</i> Pollich	Ab
<i>Carex hirta</i>	<i>Carex hirta</i>	<i>Carex hirta</i> L.	Ab
<i>Carex spicata</i>	<i>Carex spicata</i>	<i>Carex spicata</i> Huds.	Ab
<i>Cerastium semidecandrum</i>	<i>Cerastium semidecandrum</i>	<i>Cerastium semidecandrum</i> L.	Ab
–	–	<i>Cerastium holosteoides</i> Fr.	Ap
<i>Chelidonium majus</i>	<i>Chelidonium majus</i>	<i>Chelidonium majus</i> L.	Ap
<i>Chaenomeles japonica</i>	<i>Chaenomeles japonica</i>	<i>Chaenomeles japonica</i> (Thunb.) Lindl. ex Spach	A (k)
–	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Wol.) Klásk.	Ab
<i>Chenopodium album</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Chenopodium album</i> L.	Ap
–	–	<i>Cichorium intybus</i> L.	A (a)
<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	Ap
<i>Convallaria majalis</i>	–	<i>Convallaria majalis</i> L.	Ab
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Ap
–	–	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Ab
<i>Crepis tectorum</i>	<i>Crepis tectorum</i>	<i>Crepis tectorum</i> L.	Ap
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Ap
<i>Cynoglossum officinale</i>	<i>Cynoglossum officinale</i>	<i>Cynoglossum officinale</i> L.	A (a)
–	–	<i>Dactylis glomerata</i> L.	Ab
–	<i>Daucus carota</i>	<i>Daucus carota</i> L.	Ap
–	<i>Deschampsia cespitosa</i>	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv.	Ab
<i>Descurainia sophia</i>	<i>Descurainia sophia</i>	<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl	A (a)
<i>Digitaria ischaemum</i>	<i>Digitaria ischaemum</i>	<i>Digitaria ischaemum</i> (Schreb.) Muhl.	
<i>Draba verna</i>	<i>Draba verna</i>	<i>Draba verna</i> L.	Ap
–	–	<i>Dryopteris cristata</i> (L.) A.Gray	Ab
–	–	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) P.Beauv.	A (a)
<i>Elytrigia repens</i>	<i>Elytrigia repens</i>	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	Ap
–	–	<i>Epilobium angustifolium</i> L.	Ap
–	<i>Epilobium palustre</i>	<i>Epilobium palustre</i> L.	Ab
<i>Eragrostis minor</i>	<i>Eragrostis minor</i>	<i>Eragrostis minor</i> Host	A (k)
<i>Erechtites hieraciifolius</i>	<i>Erechtites hieraciifolius</i>	<i>Erechtites hieraciifolius</i> (L.) Raf. ex DC.	A (k)
<i>Erigeron annuus</i>	<i>Erigeron annuus</i>	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.	A (k)
<i>Erigeron canadensis</i>	<i>Erigeron canadensis</i>	<i>Erigeron canadensis</i> L.	A (k)
–	–	<i>Euphorbia cyparissias</i> L.	Ap

2023	2024	2025	Фракція флори
–	–	<i>Fallopia dumetorum</i> (L.) Holub	Ap
<i>Fragaria vesca</i>	<i>Fragaria vesca</i>	<i>Fragaria vesca</i> L.	Ab
–	–	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Ab
–	–	<i>Galeopsis bifida</i> Boenn.	Ap
–	<i>Galium aparine</i>	<i>Galium aparine</i> L.	Ap
<i>Galium mollugo</i>	<i>Galium mollugo</i>	<i>Galium mollugo</i> L.	Ab
<i>Galium palustre</i> L.	<i>Galium palustre</i> L.	<i>Galium palustre</i> L.	Ab
<i>Geranium pusillum</i>	<i>Geranium pusillum</i>	<i>Geranium pusillum</i> L.	A (a)
<i>Geranium robertianum</i>	<i>Geranium robertianum</i>	<i>Geranium robertianum</i> L.	Ab
<i>Geum urbanum</i>	<i>Geum urbanum</i>	<i>Geum urbanum</i> L.	Ap
<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Glechoma hederacea</i> L.	Ap
<i>Hypochaeris radicata</i>	<i>Hypochaeris radicata</i>	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	Ab
–	–	<i>Humulus lupulus</i> L.	Ab
–	–	<i>Hylotelephium maximum</i> (L.) Holub	Ab
<i>Impatiens parviflora</i>	<i>Impatiens parviflora</i>	<i>Impatiens parviflora</i> DC.	A (k)
<i>Juncus effusus</i>	<i>Juncus effusus</i>	<i>Juncus effusus</i> L.	Ab
	<i>Lactuca muralis</i>	<i>Lactuca muralis</i> (L.) Gaertn.	Ab
<i>Lactuca serriola</i>	<i>Lactuca serriola</i>	<i>Lactuca serriola</i> L.	A (a)
–	<i>Lamium galeobdolon</i>	<i>Lamium galeobdolon</i> (L.) L.	Ab
–	<i>Lamium purpureum</i>	<i>Lamium purpureum</i> L.	A (a)
–	–	<i>Lapsana communis</i> L.	Ap
–	<i>Lathyrus niger</i>	<i>Lathyrus niger</i> (L.) Bernh.	Ab
<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Ap
–	–	<i>Luzula multiflora</i> (Ehrh.) Lej.	Ab
–	–	<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	Ab
–	<i>Luzula sylvatica</i>	<i>Luzula sylvatica</i> (Huds.) Gaudin	Ab
<i>Lysimachia nummularia</i>	<i>Lysimachia nummularia</i>	<i>Lysimachia nummularia</i> L.	Ab
–	–	<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt	Ab
<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	A (a)
<i>Medicago lupulina</i>	<i>Medicago lupulina</i>	<i>Medicago lupulina</i> L.	Ap
<i>Melandrium album</i>	<i>Melandrium album</i>	<i>Melandrium album</i> (Mill.) Garcke	Ap
<i>Melica nutans</i>	<i>Melica nutans</i>	<i>Melica nutans</i> L.	Ab
<i>Melilotus officinalis</i>	<i>Melilotus officinalis</i>	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	Ap
–	–	<i>Moebria trinervia</i> (L.) Clairv.	Ab
<i>Myosotis arvensis</i>	<i>Myosotis arvensis</i>	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	A (a)
–	–	<i>Myosotis sparsiflora</i> J.C.Mikan ex Pohl	Ab
–	–	<i>Nepeta cataria</i> L.	A (a)
–	–	<i>Oenothera biennis</i> L.	A (k)
–	<i>Oxybasis urbica</i>	<i>Oxybasis urbica</i> (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch	Ap
<i>Oxalis stricta</i>	<i>Oxalis stricta</i>	<i>Oxalis stricta</i> L.	A (k)
<i>Papaver dubium</i>	<i>Papaver dubium</i>	<i>Papaver dubium</i> L.	A (a)
<i>Papaver rhoeas</i> (cult.!)	<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Papaver rhoeas</i> L.	A (a)
<i>Persicaria minor</i>	<i>Persicaria minor</i>	<i>Persicaria minor</i> (Huds.) Opiz	Ab
–	<i>Phedimus spurius</i>	<i>Phedimus spurius</i> (M.Bieb.) 't Hart	A (k)
–	<i>Phleum pratense</i>	<i>Phleum pratense</i> L.	Ab
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Ab
<i>Plantago lanceolata</i>	<i>Plantago lanceolata</i>	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Ap
<i>Plantago major</i>	<i>Plantago major</i>	<i>Plantago major</i> L.	Ap

2023	2024	2025	Фракція флори
<i>Poa palustris</i>	<i>Poa palustris</i>	<i>Poa palustris</i> L.	Ab
<i>Poa pratensis</i>	<i>Poa pratensis</i>	<i>Poa pratensis</i> L.	Ab
<i>Poa nemoralis</i>	<i>Poa nemoralis</i>	<i>Poa nemoralis</i> L.	Ab
—	—	<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce	Ab
—	<i>Polygonum arenastrum</i>	<i>Polygonum arenastrum</i> Boreau	Ab
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Polygonum aviculare</i> L. s.str.	Ap
<i>Populus alba</i>	<i>Populus alba</i>	<i>Populus alba</i> L.	Ab
<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Portulaca oleracea</i> L.	A (a)
<i>Potentilla argentea</i>	—	<i>Potentilla argentea</i> L.	Ap
<i>Prunus serotina</i>	<i>Prunus serotina</i>	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	A (k)
<i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Ab
—	—	<i>Quercus robur</i> L.	Ab
<i>Ranunculus repens</i>	<i>Ranunculus repens</i>	<i>Ranunculus repens</i> L.	Ap
<i>Ribes nigrum</i>	<i>Ribes nigrum</i>	<i>Ribes nigrum</i> L.	Ab
<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	A (k)
<i>Rubus caesius</i>	<i>Rubus caesius</i>	<i>Rubus caesius</i> L.	Ab
<i>Rumex acetosella</i>	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Rumex acetosella</i> L.	Ap
—	—	<i>Rumex crispus</i> L.	Ab
<i>Rumex obtusifolius</i>	<i>Rumex obtusifolius</i>	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	Ab
—	<i>Salix caprea</i>	<i>Salix caprea</i> L.	Ab
—	—	<i>Sambucus ebulus</i> L.	Ap
—	—	<i>Senecio viscosus</i> L.	A (k)
<i>Setaria pumila</i>	<i>Setaria pumila</i>	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult.	A (a)
<i>Setaria viridis</i>	<i>Setaria viridis</i>	<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv.	A (a)
—	—	<i>Silene nutans</i> L.	Ab
<i>Solidago canadensis</i>	<i>Solidago canadensis</i>	<i>Solidago canadensis</i> L.	A (k)
—	<i>Sonchus arvensis</i>	<i>Sonchus arvensis</i> L.	A (a)
<i>Stellaria media</i>	<i>Stellaria media</i>	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Ap
<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. aggr.	Ap
<i>Tragopogon major</i>	<i>Tragopogon major</i>	<i>Tragopogon major</i> Jacq.	Ab
<i>Trifolium arvense</i>	<i>Trifolium arvense</i>	<i>Trifolium arvense</i> L.	Ap
<i>Trifolium medium</i>	<i>Trifolium medium</i>	<i>Trifolium medium</i> L.	Ab
—	—	<i>Trifolium pratense</i> L.	Ab
<i>Trifolium repens</i>	<i>Trifolium repens</i>	<i>Trifolium repens</i> L.	Ap
—	<i>Ulmus glabra</i>	<i>Ulmus glabra</i> Huds	Ab
<i>Urtica dioica</i>	<i>Urtica dioica</i> L.	<i>Urtica dioica</i> L.	Ap
<i>Veronica arvensis</i>	<i>Veronica arvensis</i>	<i>Veronica arvensis</i> L.	A (a)
<i>Veronica chamaedrys</i>	—	<i>Veronica chamaedrys</i> L.	Ab
—	—	<i>Veronica officinalis</i> L.	Ab
<i>Veronica polita</i>	<i>Veronica polita</i>	<i>Veronica polita</i> Fr.	A (a)
<i>Veronica persica</i>	<i>Veronica persica</i>	<i>Veronica persica</i> Poir.	A (k)
—	—	<i>Veronica verna</i> L.	Ap
<i>Vicia sativa</i>	<i>Vicia sativa</i>	<i>Vicia sativa</i> L.	Ab
—	<i>Vicia sepium</i>	<i>Vicia sepium</i> L.	Ap
<i>Vicia tetrasperma</i>	<i>Vicia tetrasperma</i>	<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb.	A (a)
<i>Vicia villosa</i>	<i>Vicia villosa</i>	<i>Vicia villosa</i> Roth	A (a)
—	—	<i>Vinca minor</i> L.	A (k)
<i>Viola arvensis</i>	<i>Viola arvensis</i>	<i>Viola arvensis</i> Murray	A (a)
<i>Viola canina</i>	<i>Viola canina</i>	<i>Viola canina</i> L.	Ab
—	—	<i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau	Ab

2023	2024	2025	Фракція флори
МОХОПОДІБНІ			
<i>Atrichum undulatum</i>	<i>Atrichum undulatum</i>	<i>Atrichum undulatum</i> (Hedw.) P.Beauv.	Ab
<i>Brachythecium albicans</i>	<i>Brachythecium albicans</i>	<i>Brachythecium albicans</i> (Hedw.) Schimp.	Ab
<i>Brachythecium campestre</i>	—	<i>Brachythecium campestre</i> (Mull. Hal.) Schimp.	Ab
—	<i>Brachythecium rutabulum</i>	<i>Brachythecium rutabulum</i> (Hedw.) Schimp.	Ab
<i>Brachythecium salebrosum</i>	—	<i>Brachythecium salebrosum</i> (Hoffm. & D.Mohr) Schimp.	Ab
<i>Ceratodon purpureus</i>	<i>Ceratodon purpureus</i>	<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	Космополіт
—	<i>Dicranella heteromalla</i>	<i>Dicranella heteromalla</i> (Hedw.) Schimp.	Ab
—	<i>Dicranum polysetum</i>	<i>Dicranum polysetum</i> Sw. ex Anon.	Ab
—	<i>Dicranum scoparium</i>	<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	Ab
<i>Funaria hygrometrica</i>	<i>Funaria hygrometrica</i>	<i>Funaria hygrometrica</i> Hedw.	Космополіт
<i>Hypnum cupressiforme</i>	—	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw.	Ab
—	—	<i>Marchantia polymorpha</i> L.	Космополіт
<i>Oxyrrhynchium bians</i>	<i>Oxyrrhynchium bians</i>	<i>Oxyrrhynchium bians</i> (Hedw.) Loeske	Ab
—	<i>Pleurozium schreberi</i>	<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.	Ab
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	<i>Plagiomnium cuspidatum</i> (Hedw.) T.J.Kop.	Ab
—	—	<i>Plagiomnium rostratum</i> (Schrad.) T.J.Kop.	Ab
—	<i>Poblia nutans</i>	<i>Poblia nutans</i> (Hedw.) Lindb.	Ab
—	<i>Polytrichum juniperinum</i>	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Ab
<i>Polytrichum piliferum</i>	<i>Polytrichum piliferum</i>	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Ab
—	<i>Ptychostomum capillare</i>	<i>Ptychostomum capillare</i> (Hedw.) Hol. & N.Pedersen	Ab
—	<i>Ptychostomum imbricatum</i>	<i>Ptychostomum imbricatum</i> (Mull.Hal) Hol. & N.Pedersen	Ab
<i>Sciuro-hypnum curtum</i>	—	<i>Sciuro-hypnum curtum</i> (Lindb.) Ignatov	Ab

Примітка. В останній колонці таблиці вказано фракційну приналежність видів за допомогою умовних позначень: Ab – аборигенний вид; Ap – апофіт; A (a) – вид адвентивних рослин (археофіт); A (k) – вид адвентивних рослин (кенофіт).

Уже на початку моніторингових досліджень було відмічено, що заростання вирв відбувається дещо по-різному: на одних рослинний покрив починає формуватися на наступний вегетаційний сезон після пошкодження, при цьому до кінця вегетаційного сезону загальне проєктивне покриття досягає 30 %, тоді як на інших з'являється до десяти видів рослин, а загальне проєктивне покриття зберігається в межах 3–5 %. Тобто, на тих вирвах, які заростають, відновлення рослин-

ного покриву здебільшого йде швидкими темпами (Zavialova et al., 2023, 2024). Однак, є випадки, коли вирви майже не заростають (рис. 1) або ж заростають, але настільки повільно, що встановлення особливостей відновлення цих пошкоджених ділянок (напрямів і орієнтовного часу, за який на цих місцях сформуються рослинні угруповання подібні до сусідніх непорушених) потребує довготривалого моніторингу.



А



Б

Рис. 1. Вирви в сосновому лісі від ракетних обстрілів:
А – осінь 2024 р. (автор світлини Віталій Коломійчук);
Б – весна 2025 р. (автор світлини Людмила Зав'ялова).

До таких пошкоджень, які досить повільно заростають, належать невеликі за розмірами вирви в сосновому лісі, наприклад, розташовані в зоні регульованої рекреації Літківського ПНДВ. На одній з них протягом 2022–2025 рр. рослинний покрив практично не відновився (рис. 2). За всі роки

спостережень тут зафіксовано найменшу кількість видів рослин (до чотирьох), а загальне проєктивне покриття не перевищувало 20 %. Поруч із цією вирвою знаходяться дерева *Pinus sylvestris* посічені уламками снарядів і низовинною пожежею, які у 2024 р. почали всихати.



А



Б

Рис. 2. Вирва від артилерійських обстрілів у сосновому лісі:
А – літо 2023 р.; Б – весна 2025 р. (автор світлини Людмила Зав'ялова)

Подібний характер заростання спостерігається протягом 2024–2025 рр. і на ділянках, пошкоджених уламками БПЛА у цьому ж ПНДВ (рис. 3), що нашу думку є особливістю поновлення рослинного покриву, порушеного обстрілами в соснових лісах, де загалом обмежений доступ діаспор видів-однорічників, які найчастіше забезпечують початкові стадії заростання. Уповіль-

нене відновлення рослинного покриву на таких типах пошкоджень ймовірно також пов'язано із пожежами і хімічним забрудненням території, адже вирви від нерозірваних артилерійських снарядів здебільшого заростають швидше, що, наприклад, спостерігається в листяному лісі урочища «Гоголівські гаї» Заліського ПНДВ парку.



А



Б

Рис. 3. Пошкодження від уламків БПЛА в сосновому лісі, обидва зафіксовані навесні 2025 р. (автор світлин Людмила Зав'ялова)

За даними обстежень, проведених навесні, влітку та восени з'ясовано, що відновлення більшості вирв відбувається здебільшого за участі як природних (апофітів і аборигенних) видів судинних рослин, так і адвентивних. Якщо на перший рік спостережень кількість видів в геоботанічних описах складала 1(2)–18, то на 2024 р. вона зросла до 23 загалом, а в 2025р. перевищувала 30. При цьому щорічно зростала і середня кількість видів у описах вирв, особливо великих (рис. 4). У малих вирвах видовий склад нових угруповань якісно і кількісно суттєво не змінювався, зросло загальне проективне покриття і

роль окремих видів у формуванні угруповань. Серед іншого якісними та кількісними змінами характеризується участь деревних та чагарникових рослин, як адвентивних, так і аборигенних видів, зокрема, *Pinus sylvestris*, *Prunus serotina*, *Acer platanooides*, *A. tataricum*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus glabra*, сходів яких стає дедалі більше. Кількість чужорідних видів на перший рік відновлення рослинного покриву у вирвах найбільша, однак вже за три роки їхня загальна частка (рис. 5) і роль у новосформованих угрупованнях здебільшого зменшуються.



А



Б

Рис. 4. Великі вирви від артилерійських обстрілів у господарській зоні НПП «Залісся»:
А – літо 2023 р.; (автор світлина Людмила Зав'ялова);
Б – осінь 2025 р. (автор світлина Вікторія Польська)

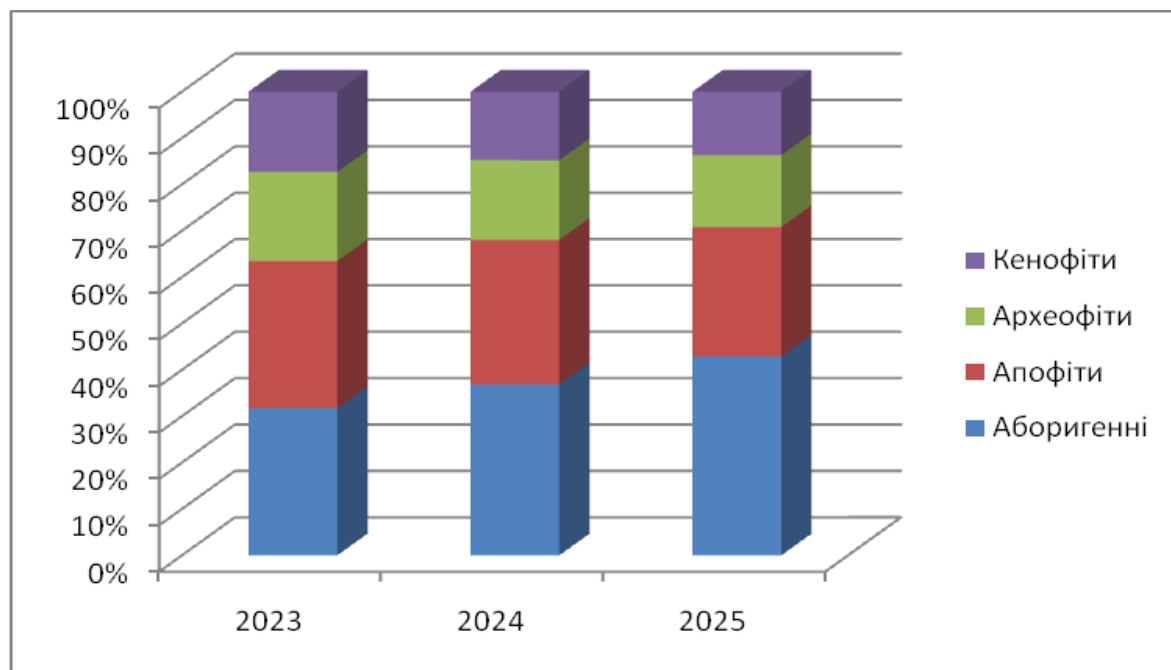


Рис 5. Динаміка змін видового складу судинних рослин досліджених ділянок пофракційно

Видовий склад адвентивних рослин досліджених ділянок не зазнав суттєвих кількісних змін (рис. 5) за три роки спостережень. Кенофітів зафіксовано дещо менше в порівнянні з археофітами, що загалом не характерно для сучасного рослинного покриву України, адже здебільшого чужорідні види цієї групи не лише представлені повсюдно, але й характеризуються значною роллю в рослинних угрупованнях і високою часткою у флорах

як природних, так і антропогенно-трансформованих територій. Разом із тим відомо, що частка і роль чужорідних видів у рослинному покриві об'єктів ПЗФ України загалом незначні в порівнянні з регіональними флорами, урбанізованими територіями або іншими антропогенно трансформованими землями. Тоді як участь апофітів і археофітів, як більш стабільного елемента в рослинному покриві заповідних територій, вагоміша, в порівнянні з більшістю

кенофітів. Передусім це зумовлено збереженням і цілісністю природних біотопів та їх високою представленістю на охоронюваних територіях і об'єктах ПЗФ. Відповідно, і роль стабільного компонента рослинного покриву тут є визначальною у відновленні його пошкоджень, проте може змінюватися за повторних руйнувань або значного антропогенного навантаження. Несталість складу угруповань, сформованих на вирвах, сприяє занесенню і вкоріненню чужорідних видів рослин, зокрема кенофітів та ергаціофітів, що спотерігалось не на початковій, а на пізніших стадіях відновлення рослинного покриву. Так, у 2024 р. у вирві поблизу музею НПП з'явився *Phedimus spurius*, який вирощували на території господарської зони, неподалік вирви. У 2025 р. з'являються *Senecio viscosus*, *Vinca minor*, *Armeniacas vulgaris*, *Oenothera biennis*, що ймовірно зумовлено ще й розташуванням вирви у господарській зоні, де значно більше можливостей занесення діаспор чужорідних видів та високе антропогенне навантаження, що з одного боку сприяє швидшому заростанню,

але з іншого – послаблює роль аборигенних видів у цих процесах.

Серед особливостей відновлення рослинного покриву вирв на території НПП «Залісся» треба виділити ще й те, що всі види адвентивних рослин, виявлені на досліджених ділянках, раніше були відмічені у флорі парку (Kolomiichuk et al., 2024b, c). Кількість аборигенних видів, які беруть участь у заростанні вирв, за три роки загалом зросла майже вдвічі. З'являються такі типові лісові види як *Agrostis capillaris*, *Polygonatum odoratum*, *Veronica officinalis*, *Viola reichenbachiana* тощо; кількість апофітів також поступово збільшується. На початкових стадіях заростання пошкоджених ділянок участь видів аборигенних та адвентивних рослин майже однакова. Разом з тим, на перший рік відновлення індекс антропофітизації є найвищим у порівнянні з наступними роками і перевищує індекс апофітизації за загального високого індексу синантропізації, що зумовлено нижчою часткою аборигенних видів (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняння індексів синантропізації (IS), апофітизації (IAp) і антропофітизації (IAn) рослинного покриву досліджених ділянок

Індекси (у %)	Роки досліджень		
	2023	2024	2025
IS	68,26	62,09	57,14
IAp	31,73	30,64	27,95
IAn	36,53	31,45	29,19

На третій рік відновлення рослинного покриву частка видів адвентивних рослин зменшується в порівнянні з попередніми роками, проте все ще залишається високою (рис. 5). Відповідно, попри зростання кількості, їхня роль поступово знижується, що підтверджено показниками індексу антропофітизації (табл. 2) і зменшенням проєктивного покриття майже всіх чужорідних видів. Наприклад, проєктивне покриття таких однорічних кенофітів як *Erigeron canadensis* та *Ambrosia artemisiifolia* знижується з 10% до 2%. Натомість загальне проєктивне покриття на пошкоджених ділянках зростає, що здебільшого відбувається за

рахунок кореневищних злаків. Роль чужорідних видів може посилювати занесення діаспор (повторне включно) і зростання антропогенного навантаження, що особливо ймовірно в межах господарської зони парку. Разом із тим відбувається поступове зниження індексу апофітизації, яке загалом вказує на незначне зниження синантропізованості досліджених ділянок і позитивні тенденції у відновленні рослинного покриву внаслідок зростання ролі аборигенних видів.

Незначні пошкодження від снарядів артилерійських систем, що розташовані в господарській зоні парку в урочищі «Гого-

лівські гаї», на третій рік спостережень візуально майже непомітні і фактично не відрізняються за видовим складом від контрольних ділянок дубового лісу. Кенофіти в складі цих вирв взагалі не відмічені, рослинний покрив тут найменше синантропізований у порівнянні з іншими дослідженими ділянками. Тобто, на цих пошкодженнях рослинний покрив вже відновився. Цього не можна сказати про значні руйнування лісових біотопів від ракет, завглибшки до 5 метрів (рис. 1). За рік після пошкодження на дні цієї вирви не відмічено жодного виду рослин. Тож, можна припустити, що без спеціальних заходів (рекультивациі), відновлення не лише рослинного покриву, але й мікрорельєфу таких типів пошкоджень неможливе в осяжному майбутньому.

Отже, головним ресурсом відновлення рослинного покриву вирв на території НПП «Залісся» є види природної флори, мезофіти, види освітлених місцезростань. У новосформованому рослинному покриві пошкоджених ділянок спостерігається поступова поява проростків дерев як адвентивних, так і аборигенних видів, що свідчить як про позитивну динаміку заростання вирв, так і про збереження лісового характеру флори та рослинності парку.

Висновки

З'ясовано основні тенденції та особливості відновлення рослинного покриву на прикладі лісових біотопів території НПП «Залісся», які зазнали руйнувань внаслідок воєнних дій. За три роки спостережень видовий склад на досліджених ділянках збільшився на 35%, при цьому кількісне

зростання відбулося по всіх фракціях флори, чисельно зріс і склад мохоподібних. На третій рік у рослинному покриві вирв суттєво зросла кількість і роль аборигенних видів, що загалом зумовило незначне зниження показника індексу синантропізації. Приблизно однаково значимі для відновлення рослинного покриву вирв показники індексів апофітизації та антропофітизації, остання досі відіграє помітну роль, оскільки в господарській зоні парку сконцентровано потужний банк діаспор чужорідних видів, який є джерелом повторних заносів. Головним ресурсом для відновлення рослинного покриву пошкоджених ділянок є діаспори видів флори НПП, які здебільшого наявні поблизу вирв, що встановлено за результатами порівняння видового складу пошкоджених і контрольних ділянок. Кількісно видовий склад новосформованих угруповань збільшується, що свідчить про позитивну динаміку заростання. Якісні зміни видового складу цих угруповань здебільшого забезпечують автохтонні види зі складу природної флори НПП.

Загалом видове різноманіття та швидкість відновлення рослинного покриву вирв залежить від площі й обсягу пошкоджень, типу біотопів, рудералізованості навколишніх ділянок, наявності повторного порушення і антропогенного навантаження. Чим менші обсяги пошкоджень, тим швидше відбувається відновлення рослинного покриву. Відповідно, чим масштабнішими є пошкодження, особливо в соснових лісах із бідним видовим різноманіттям, тим складнішим і довшим буде відновлення їхнього рослинного покриву.

Подяки / Acknowledgements

Автори вдячні адміністрації НПП «Залісся», зокрема директору Т.І. Когуту, за всебічну допомогу під час проведення польових досліджень / The authors express their sincere gratitude to the administration of the Zalissia National Nature Park, in particular to Director Taras I. Kohut, for comprehensive assistance during the field research.

Фінансування / Funding

Дослідження співробітників Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України частково виконані за підтримки програмно-цільової та конкурсної тематики НАН України ("Розроблення і використання методології та алгоритмів оцінки впливу воєнних дій на фіторізноманіття природних екосистем України для визначення їхніх втрат, відновлювального та адаптивного потенціалу", номер державної реєстрації 0125U000701) / The research conducted by the staff of the M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of

Ukraine, was partially supported by the program-targeted and competitive research projects of the NAS of Ukraine ("Development and application of methodologies and algorithms for assessing the impact of military actions on the phytodiversity of natural ecosystems of Ukraine to determine their losses, restoration, and adaptive potential," state registration No. 0125U000701).

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Дані, що підтверджують результати цього дослідження, доступні у відповідного автора. Усі фітосоціологічні описи та додаткові матеріали були отримані та проаналізовані в рамках поточного дослідження та зберігаються у співавторів в Інституті ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України / Data supporting the results of this study are available from the corresponding author. All phytosociological relevés and additional materials were obtained and analyzed within the framework of the current study and are stored by the co-authors at the M.G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується. У дослідженні не брали участі люди чи тварини, які потребують інформованої згоди / Not applicable. The study did not involve human participants or animals requiring informed consent.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори повідомляють про відсутність будь-якого конфлікту інтересів, які могли би вплинути на зміст цієї статті / The authors declare that there are no conflicts of interest that could have influenced the content of this article.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

Під час підготовки цієї статті автори не використовували інструменти ШІ / The authors did not use AI tools when preparing this article.

References

Bazalová, D., Botková, K., Hegedüšová, K., Májeková, J., Medvecká, J., Šibíková, M., Škodová, I., Zaliberová, M., Jarolímek, I. (2018). Twin plots – appropriate method to assess the impact of alien tree on understory? *Hacquetia*, 17(2), 163–169.

Didukh, Ya. P. (2022). Ecosystem approach to assessing the impact of threats and losses caused by military actions. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6, 17–26. <https://doi.org/10.15407/visn2022.06.017> (in Ukrainian)

Дідух Я. П. Екосистемний підхід до оцінки збитків, завданих воєнними діями. *Вісник Національної академії наук України*. 2022. №6. С. 17–26. <https://doi.org/10.15407/visn2022.06.017>

Didukh, Ya. P., Hrad, Yu. A., & Moysiienko, I. I. (2025). Methodology for assessing damage to forest ecosystems as a result of the creation of trenches. *Ukrainian Geographical Journal*, 1(129), 8–16. <https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.008> (in Ukrainian)

Дідух Я. П., Град Ю. А., Мойсієнко І. І. Методика оцінювання збитків, завданих лісовим екосистемам у результаті створення окопів. *Український географічний журнал*. 2025. №1. С. 8–16. <https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.008>

Dzerkal, V. M., Davydova, A. O., & Klymenko, V. M. (2024, July 4–5). The impact of military operations on the ecosystems of the Nizhnyodniprovsky National Nature Park. [Conference presentation abstract]. *The All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Functioning of the objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine in the conditions of military state: paths of renewal and development"*. Kyiv. (in Ukrainian)

Дзеркаль В. М., Давидова А. О., Клименко В. М. Вплив військових дій на екосистеми Національного природного парку "Нижньодніпровський". *Функціонування об'єктів природно-заповідного фонду України в умовах воєнного стану: шляхи відновлення та розвитку: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 4–5 липня 2024 р.)*. Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2024. С. 64 – 66.

Jackowiak, B. (1990). *Anthropogenic changes in the vascular plant flora of Poznań*. Poznań: Adam Mickiewicz University Publishing House. (in Polish)

Kletonkin, V. H. (2024, July 4–5). The impact of military actions on the natural complexes and infrastructure of the Dvorichansky NPP. [Conference presentation abstract]. *The All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Functioning of the objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine in the conditions of military state: paths of renewal and development"*. Kyiv. (in Ukrainian)

Клетьонкін В. Г. Вплив воєнних дій на природні комплекси та інфраструктуру НПП "Дворічанський". *Функціонування об'єктів природно-заповідного фонду України в умовах воєнного стану: шляхи відновлення та розвитку: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 4–5 липня 2024 р.)*. Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2024. С. 79 – 81.

Kolomiichuk, V. P., Vyshnevskiy, D. O., & Melnychuk, T. V. (2024a, November 21). Impact of military actions on the territory of the Chernobyl radiation and ecological biosphere reserve. [Conference presentation abstract]. *Role of biosphere reserves and other protected areas in implementation of sustainable development strategy in Ukraine: proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 55th anniversary of the Carpathian Reserve and the 30th anniversary since biosphere reserves designation in Ukraine*. Rakhiv. (in Ukrainian)

Коломійчук В. П., Вишневецький Д. О., Мельничук Т. В. Вплив військових дій на території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника. *Role of biosphere reserves and other protected areas in implementation of sustainable development strategy in Ukraine: proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 55th anniversary of the Carpathian Reserve and the 30th anniversary since biosphere reserves designation in Ukraine*. Львів: Простір-М, 2024a. С. 187 – 194).

Kolomiichuk, V., Shynder, O., Baranskyi, O., & Shevera, M. (2024b). Checklist of vascular plants flora of the Zalissia National Nature Park. *Biota. Human. Technology*, 1, 19–34. <https://doi.org/10.58407/bht.1.24.2> (in Ukrainian)

Коломійчук В., Шиндер О., Баранський О., Шевера М. Конспект флори судинних рослин Національного природного парку "Залісся". *Biota. Human. Technology*. 2024b. №1. С. 19–34. <https://doi.org/10.58407/bht.1.24.2>

Kolomiichuk, V. P., Shynder, O. I., Kohut, T. I., Smagol, V. O., & Shevera, M. V. (2024c). *Flora of the Zalissia National Nature Park*. Bykhun V. Yu. (in Ukrainian)

Флора Національного природного парку "Залісся" / Коломійчук В. П. та ін. Київ: Бихун В. Ю., 2024c. 95 с.

Kolomiichuk, V., & Zymarioieva, A. (2024). Features of vegetation restoration on military fortifications in the Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. *Biosphere Reserve "Askania Nova" Reports*, 26, 142–150. <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2024-26/10> (in Ukrainian)

Коломійчук В. П., Зимароєва А. А. Особливості відновлення рослинності на військових фортифікаційних спорудах у Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику. *Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова"*. 2024. №26. С. 142–150. <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2024-26/10>

Kornaś, J. (1968). A geographical-historical classification of synanthropic plants. *Materials of the Department of Applied Phytosociology of the University of Warsaw*, 25, 33–41.

Moysienko, I. I., Didukh, Ya. P., Zavialova, L. V., Kucher, O. O., Shapoval, V. V., Chusova, O. O., Khodosovtsev, O. E., Grad, Yu. A., & Dyrenko, N. V. (2025). Ecological-floristic analysis of the impact of field fortification constructions on forest phytosystems. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(4), 367–383. (in Ukrainian) <https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.04.367>

Мойсієнко І. І., Дідух Я. П., Зав'ялова Л. В., Кучер О. О., Шаповал В. В., Чусова О. О., Ходосовцев О. Є., Град Ю. А., Диренко Н. В. Еколого-флористичний аналіз впливу розбудови польових фортифікацій на лісові фітосистеми. *Український ботанічний журнал*. 2025. Т. 82. №4. С. 367–383. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.04.367>

Moysiienko, I. I., Khodosovtsev, O. Ye., Vasylyuk, O. V., Parkhomenko, V. V., Rusin, M. Yu., Viter, S. H., Kuzemko, A. A., Drapalyuk, A. M., Biatov, A. P., Sadohurska, S. S., Marushchak, O. Yu., Nekrasova, O. D., Vasheniak, Yu. A., Varukha, A. V., Kutsokon, Yu. K., Bezsmertna, O. A., Sirenko, I. P., Artamonov, V. A., & Filiuta, K. O. (2023, April 23). Consequences of the Russian terrorist attack on the Kakhovka hydroelectric power station for wildlife. [Conference presentation abstract]. *The traditions of reserve management, modern problems of conservation and post-war restoration of the territories of the nature reserve fund: materials of the All-Ukrainian round table dedicated to the 160th anniversary of the birth of Friedrich Faltz-Fein, a scientist in the fields of acclimatization, animal husbandry, plant growing, nature conservation, nature management (Ecological research station “Deep Balyky”, Balyko-Shchuchynka village)*. (in Ukrainian)

Мойсієнко І. І., Ходосовцев О. Є., Василюк О. В., Пархоменко В. В., Русін М. Ю., Вітер С. Г., Куземко А. А., Драпалюк А. М., Біатов А. П., Садогурська С. С., Марущак О. Ю., Некрасова О. Д., Вашеньяк Ю. А., Варуха А. В., Куцоконь Ю. К., Безсмертна О. А., Сіренко І. П., Артамонов В. А., Філюта К. О. Наслідки російського теракту на Каховській ГЕС для дикої природи. *Традиції заповідної справи, сучасні проблеми збереження та повоєнного відновлення територій природно-заповідного фонду: збірка наукових праць за матеріалами всеукраїнського круглого столу, присвяченого 160-й річниці із дня народження Фрідріха Фальц-Фейна, вченого у галузях акліматизації, тваринництва, рослинництва, заповідної справи, природокористування (8 квітня 2023 р., Екологічна дослідницька станція “Глибокі Балики”, с. Балико-Щучинка) / за ред. В. В. Шаповала. Чернівці : Друк Арт, 2023. С. 151 – 157.*

On approval of Project for the organization of the territory of the Zalissia National Nature Park, protection, reproduction, and recrea-tional use of its natural complexes and objects. (2022) <https://mepr.gov.ua/documents/pro-zatverdzhennya-proyektu-organizatsiyi-terytoriyi-natsionalnogo-pryrodnogo-parku-zalissya-ohorony-vidtvorennya-ta-rekreatsijnogo-vykorystannya-jogo-pryrodnyh-kompleksiv-i-ob-yektiv/> (in Ukrainian)

Про затвердження Проєкту організації території національного природного парку “Залісся”, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об’єктів. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів від 26.04.2022 №180. URL : <https://mepr.gov.ua/documents/pro-zatverdzhennya-proyektu-organizatsiyi-terytoriyi-natsionalnogo-pryrodnogo-parku-zalissya-ohorony-vidtvorennya-ta-rekreatsijnogo-vykorystannya-jogo-pryrodnyh-kompleksiv-i-ob-yektiv/> (дата звернення: жовтень 2025)

Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). *Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist*.

Plants of the World Online. (2023). *POWO*. Retrieved from <https://powo.science.kew.org/>

Smagol, V. O., Kohut, T. I., Kolomiichuk, V. P., Kucher, O. O., Protopopova, V. V., Zavialova, L. V., Shevera, M. V., & Smagol, K. V. (2024, July 4–5). Zalissia National Nature Park: consequences of military impact on nature. [Conference presentation abstract]. *The All-Ukrainian Scientific and Practical Conference “Functioning of the objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine in the conditions of military state: paths of renewal and development”*. Kyiv. (in Ukrainian)

Смаголь В. О., Когут Т. І., Коломійчук В. П., Кучер О. О., Протопопова В. В., Зав'ялова Л. В., Шевера М. В., Смаголь К. В. Національний природний парк “Залісся”: наслідки воєнного впливу на природу. *Функціонування об’єктів природно-заповідного фонду України в умовах воєнного стану: шляхи відновлення та розвитку: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 4–5 липня 2024 р.)*. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2024. С. 74–79.

Virchenko, V. M. (2025). To the bryophyte flora of the National Nature Park "Zalissia". *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 13, 28–35. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.2> (in Ukrainian)

Вірченко В. М. До бріофлори Національного природного парку «Залісся». *Український журнал природничих наук*. 2025. №13. С. 28–35. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.2>

Virchenko, V. M., & Nyporko, S. O. (2022). *Prodromus of spore plants of Ukraine: bryophytes*. Naukova dumka.

Вірченко В. М., Нипорко С. О. Продромус спорових рослин України: мохоподібні. Київ : Наукова думка, 2022. 176 с.

Zavialova, L. V., Protopopova, V. V., Panchenko, S. M., Smagol, V. O., Kolomiichuk, V. P., Kucher, O. O., & Shevera, M. V. (2022). Synanthropization of the vegetation cover of Ukraine as a result of military actions. *Overcoming ecological risks and threats to the environment in emergencies* (P. 31–52). Dnipro : Serednyak T. K. <https://doi.org/10.23939/monograph2022> (in Ukrainian)

Зав'ялова Л. В., Протопопова В. В., Панченко С. М., Смаголь В. О., Коломійчук В. П., Кучер О. О., Шевера М. В. Синантропізація рослинного покриву України внаслідок воєнних дій. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій* : колективна монографія / Дніпро, 2022. С. 31–52. <https://doi.org/10.23939/monograph2022>

Zavialova, L., Kolomiichuk, V., Kucher, O., Panchenko, S., Smagol, V., Protopopova, V., & Shevera, M. (2024, September, 11 – 12). Spontaneous restoration of vegetation cover after the direct impact of military actions. *Synanthropization of the vegetation cover of Ukraine: book of scientific articles of IV All-Ukrainian Scientific Conference*. Kyiv, Bila Tserkva. (in Ukrainian)

Зав'ялова Л., Коломійчук В., Кучер О., Панченко С., Смаголь В., Протопопова В., Шевера М. Спонтанне поновлення рослинного покриву після прямого впливу воєнних дій. *Синантропізація рослинного покриву України: збірник наукових статей IV Всеукр. наук. конф. (11–12 вересня 2024 р., м. Київ, м. Біла Церква)*. Київ : [б. в.], 2024. С. 45–50.

Zavialova, L., Kolomiichuk, V., Protopopova, V., Shevera, M., Kucher, O., Panchenko, S., & Smagol, V. (2023). The main trends of post-entry restoration of vegetation cover of Ukraine. In *Joint ESENIAS and DIAS Scientific Conference and 12th ESENIAS Workshop "Globalisation and invasive alien species in the Black Sea and Mediterranean regions – management challenges and regional cooperation"*: Book of Abstracts (p. 146).

Received: 22.10.2025. **Accepted:** 16.11.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Зав'ялова Л., Коломійчук В., Кучер О., Вірченко В., Польська В., Міськова О., Протопопова В., Шевера М. Відновлення рослинного покриву, пошкодженого внаслідок воєнних дій на території національного природного парку «Залісся». *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 45–62. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.5>

Cite this article in APA style as:

Zavialova, L., Kolomiichuk, V., Kucher, O., Virchenko, V., Polska, V., Miskova, O., Protopopova, V., & Shevera, M. (2025). Vidnovlennia roslynnoho pokryvu, poshkod-zhenoho vnaslidok voiennykh dii na terytorii Natsionalnoho pryrodnoho parku «Zalissia» [Restoration of vegetation cover damaged by military actions on the territory of Zalissia National Nature Park]. *Biota. Human. Technology*, (3), 45–62. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.5> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Zavialova L. [*in Ukrainian: Зав'ялова Л.*] ¹, PhD (Biology), Senior scientific researcher, e-mail: l.zavialova7@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4160-1083 Scopus-Author ID: 57226021598
Department of Geobotany and Ecology, M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
2 Tereshchenkivska Street, Kyiv, 01601, Ukraine
Department of Social, Humanities, Natural, and Technical Sciences, State Research Institution "Encyclopedia Press"
51-A, Bohdan Khmelnytsky Str., Kyiv, 01030, Ukraine

Kolomiichuk V. [*in Ukrainian: Коломійчук В.*] ², D.Sc. (Biology), Associate professor, e-mail: vkolomiychuk@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5767-344X Scopus-Author ID: 56800856300
Acad. O.V. Fomin Botanical Garden, Taras Shevchenko National University in Kyiv
2 Symona Petliury Street, Kyiv, 01032, Ukraine

Kucher O. [*in Ukrainian: Кучер О.*] ³, PhD (Biology), Senior scientific researcher, e-mail: kucher.oksana29@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4197-0441 Scopus-Author ID: 57225987937
Department of Geobotany and Ecology, M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
2 Tereshchenkivska Street, Kyiv, 01601, Ukraine

Virchenko V. [*in Ukrainian: Вірченко В.*] ⁴, PhD (Biology), Senior scientific researcher, e-mail: vir_chen_ko@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8205-5122 Scopus-Author ID: 55120941700
Department of Phycology, lichenology and bryology, M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
2 Tereshchenkivska Street, Kyiv, 01601, Ukraine

Polska V. [*in Ukrainian: Польська В.*] ⁵, PhD (Biology), Senior researcher, e-mail: smagol19750@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2354-4348 Scopus-Author ID: 57224059957
Scientific Department, "Zalissia" National Nature Park
Bohdanivka, Brovary District, Kyiv Region, 01014, Ukraine;
Department of paleontology, National Museum of Natural History, NAS of Ukraine
15, Bohdana Khmelnytskoho Street, 01601, Kyiv, Ukraine

Miskova O. [*in Ukrainian: Міськова О.*] ⁶, PhD (Biology), Junior scientific researcher, e-mail: lena.miskova.enot@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3827-7307 Scopus Author ID: 58204655200
Department of Systematics and Floristics of Vascular Plants, M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
2 Tereshchenkivska Street, Kyiv, 01601, Ukraine

Protopopova V. [*in Ukrainian: Протопопова В.*] ⁷, D.Sc. (Biology), Professor, protopopova.vira@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6942-6881 Scopus Author ID: 55924611300
Department of Biology and Chemistry, Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian University,
6 Kossuth square, Beregszász, Transcarpathia, 90200, Ukraine
Department of Systematics and Floristics of Vascular Plants, M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
2 Tereshchenkivska Street, Kyiv, 01601, Ukraine

Shevera M. [*in Ukrainian: Шевєра М.*] ⁸, PhD (Biology), Senior scientific researcher, e-mail: shevera.myroslav@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1178-0458 Scopus-Author ID: 55401219700
Department of Systematics and Floristics of Vascular Plants, M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
2 Tereshchenkivska Street, Kyiv, 01601, Ukraine

¹ Feld trip (2023–2025), data collection, statistical analysis, manuscript preparation & editing, corresponding author.

² Field trip (2023–2025), data collection, manuscript editing.

³ Field trip (2023–2024), data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

⁴ Field trip (2023–2025), data collection, manuscript preparation.

⁵ Feld trip (2022–2025), data collection.

⁶ Field trip (2024–2025), data collection, manuscript preparation.

⁷ Field trip (2023), data collection, manuscript preparation.

⁸ Field trip (2023–2025), data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

UDC 632.5(477.5)

DOI: 10.58407/bht.3.25.6



Copyright (c) 2025 Tetiana Dvirna, Valentyna Minarchenko, Iryna Tymchenko

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Тетяна Двірна, Валентина Мінарченко, Ірина Тимченко

**СТРУКТУРА ТА ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙ *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L.
У МЕЖАХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Tetiana Dvirna, Valentyna Minarchenko, Iryna Tymchenko

**STRUCTURE AND DYNAMICS OF *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L.
POPULATIONS WITHIN THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE****АНОТАЦІЯ**

Мета роботи. Встановити структуру та динаміку популяцій *Ambrosia artemisiifolia*, а також впливу деяких кліматичних показників на стан та ресурсну спроможність досліджуваних популяцій.

Методологія. В основу дослідження покладено результати власних оригінальних даних, зібраних у процесі польових спостережень, проведених упродовж 2011–2024 рр. Об'єктом дослідження стали популяції *Ambrosia artemisiifolia*, що зосереджені на території села Лелюхівка Полтавської області. У межах популяційного поля нами було закладено 15 пробних ділянок розміром 1×1 м. Популяційні дослідження проводилися згідно з методикою Злобіна. Відповідно до методів обліку нами визначено щільність запасу сировини досліджуваного виду.

Наукова новизна. Вперше проведено дослідження з визначенням типів структури популяцій *Ambrosia artemisiifolia* в межах Лівобережного Лісостепу України; проаналізовано вплив деяких кліматичних показників на структуру та ресурсну спроможність.

Висновки. Розглянуте популяційне поле *Ambrosia artemisiifolia* демонструє чіткі ознаки процвітаючого інвазійного угруповання, яке активно розширює площу та збільшує щільність. Високий фенотиповий поліморфізм, варіативність просторового розміщення та значна екологічна пластичність забезпечують її стійкість і ефективну конкуренцію. За останні 14 років популяційне поле збільшилося приблизно у 9 разів, що свідчить про успішну натуралізацію та екологічне закріплення виду в місцевому середовищі. Незважаючи на локальні депресивні ділянки, загальний стан популяції є рівноважним і процвітаючим. Подальше потепління може спричинити поширення, повноцінне повторне плодоношення, дозрівання та подальше розповсюдження насіння. Ці результати підкреслюють необхідність моніторингу та заходів контролю, оскільки *A. artemisiifolia* є екологічно небезпечним інвазійним видом і становить ризики як для біорізноманіття, так і для здоров'я населення (алергенність).

Ключові слова: *Ambrosia artemisiifolia*, карантинний вид, популяційне поле, щільність, динаміка

ABSTRACT

Purpose of the work. To conduct a comprehensive study of the structure and dynamics of *Ambrosia artemisiifolia* populations, along with the influence of various climatic indicators on their condition and resource capacity.

Methodology. The study is based on original data collected during field observations from 2011 to 2024. The research focused on *Ambrosia artemisiifolia* populations concentrated in the village of Lelyukhivka, in the Poltava region. Within the study area, we established 15 plots, each measuring 1 × 1 meters. Population studies were conducted using the Zlobin method. Through these accounting methods, we determined the density of the raw material stock for the studied species.

Scientific novelty. We previously conducted a study to determine the structural types of *Ambrosia artemisiifolia* populations within the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine. We analyzed the effects of certain climatic indicators on the structure and resource capacity.

Conclusions. The considered population field of *Ambrosia artemisiifolia* shows clear signs of a thriving invasive community, which is actively expanding its area and increasing its density. High phenotypic polymorphism, variability of spatial distribution and significant ecological plasticity ensure its stability and effective competition. Over the past 14 years, the population field has increased approximately nine times, which indicates successful naturalization and ecological consolidation of the species in the local environment. Despite local depressed areas, the general state of the population is balanced and thriving. Further warming may cause spread, full re-fruiting, ripening and further dispersal of seeds. These results emphasize the need for monitoring and control measures, since *A. artemisiifolia* is an ecologically dangerous invasive species and poses risks to both biodiversity and public health (allergenicity).

Key words: *Ambrosia artemisiifolia*, quarantine species, population field, density, dynamics

Вступ

Одним із потужних деструктивних чинників, що негативно впливають на навколишнє природне середовище, зокрема на рослинний світ, є поширення неаборигенних організмів (Protopopova et al., 2002). Глобалізація сприяла збільшенню переміщень людей та товарів по всьому світу, що призвело до появи більшої кількості інтродукованих видів за межами їхнього природного ареалу. Деякі з них, класифіковані як інвазійні, приживаються і спричиняють негативний вплив на місцеве біорізноманіття та екосистеми, а в деяких випадках – шкодять природним ресурсам і погіршують якість життя людей (Invasive alien species and climate change, 2025). Інвазійні чужорідні види можуть спричинити вимирання видів та глобальну втрату біорізноманіття, вони є одним із п'яти прямих чинників змін у природі з найбільшим відносним глобальним впливом (Brundu et al., 2022).

Зі зростанням інтенсивності світової торгівлі в другій половині 20-го століття в Європу було завезено багато інвазійних видів рослин (Makra et al., 2015). Найпоширенішим з них є *Ambrosia artemisiifolia* L., яка відома як агрономічний бур'ян із шкідливим впливом на сільське господарство, але

насамперед – як джерело алергенного пилку, що спричиняє проблеми зі здоров'ям у людей (Knolmajer et al., 2024).

Вид усебічно досліджено, а результати висвітлено в низці публікацій (Lawalrée, 1953; Wagner & Beals, 1958; Bassett & Crompton, 1975; Juhász, 1998; Jäger, 1998; Rybníček et al., 2000; Rybníček & Jäger, 2001; Essl et al., 2009; Chauvel & Cadet, 2011; Bullock et al., 2012; Neilyk & Tsytsyura, 2020). Однак на сьогодні гостро постає питання впливу кліматичних коливань на поширення, адаптацію, натуралізацію та подальший стан популяцій *A. artemisiifolia*.

Мета роботи – встановлення структури та динаміки популяцій *Ambrosia artemisiifolia*, а також впливу деяких кліматичних показників на стан та ресурсну спроможність досліджуваних популяцій.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження ґрунтується на оригінальних даних, зібраних у процесі власних польових спостережень, проведених упродовж 2011–2024 років. Об'єктом дослідження стали популяції *A. artemisiifolia*, зосереджені на території села Лелюхівка Полтавського району Полтавської області. Досліджувана ділянка розташована в північно-східній частині України (рис. 1).



Рис. 1. Карта розташування досліджуваної території *Ambrosia artemisiifolia*

Відповідно до ботаніко-географічного районування (National atlas of Ukraine, 2007), ця територія належить до Лісостепової зони Лівобережного Лісостепу. Згідно з фізико-

географічним районуванням України (1968), вона також належить до Лісостепової зони.

Рельєф досліджуваної території ерозійно-аккумулятивний (Bulava, 1996). Село знаходиться на берегах річки Полузир'я (права

притока Ворскли). У ґрунтовому покриві переважають сірі лісові ґрунти, ближче до долин річки – ясно-сірі (Bulava, 1996; Balaev et al., 2005).

Територія дослідження, як і весь Лівобережний Лісостеп, належить до помірного кліматичного поясу (Khilchevskiy et al., 2014). Згідно з даними Філіалу Державного архіву матеріалів гідрометеорологічних спостережень Центральної геофізичної обсерваторії

імені Бориса Срезневського нами було складено базу даних, яка дала змогу створити кліматичні графіки. Ці діаграми демонструють середньомісячну температуру повітря ($^{\circ}\text{C}$) (рис. 2) та загальну місячну кількість опадів (мм) (рис. 3). Дані зареєстровані на найближчій до досліджуваної території метеостанції, для с. Лелюхівка – це метеостанція Кобеляки.

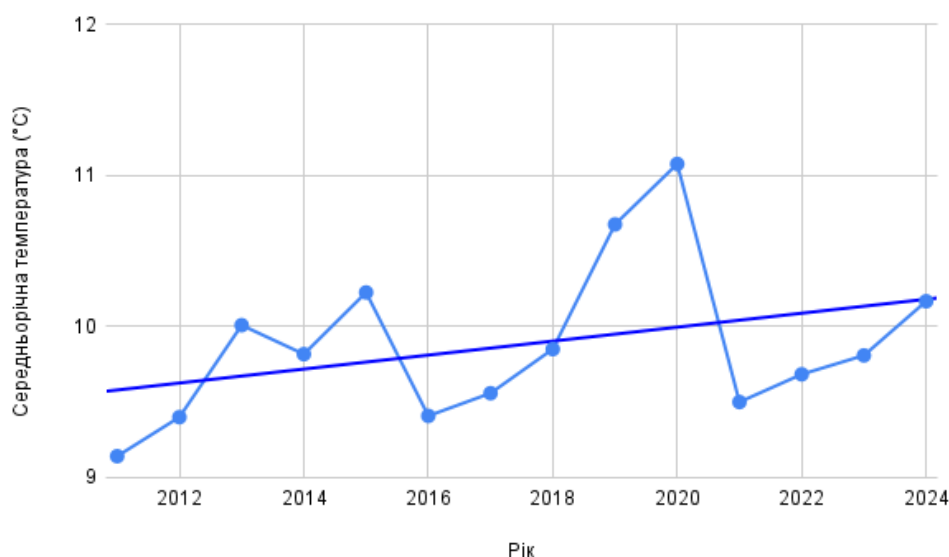
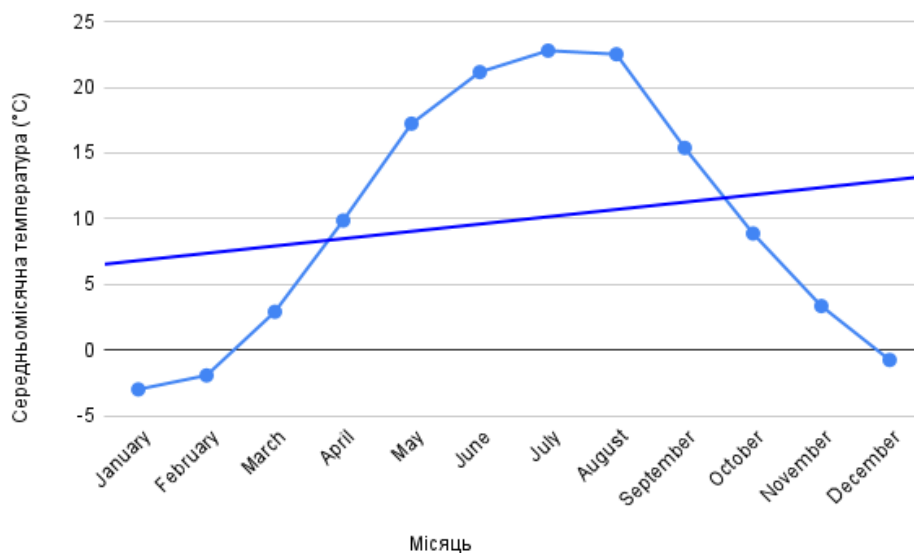
**А****Б**

Рис. 2. Графіки тенденції зміни температури на метеостанції Кобеляки:
А – середньорічна температура; Б – середньомісячна температура

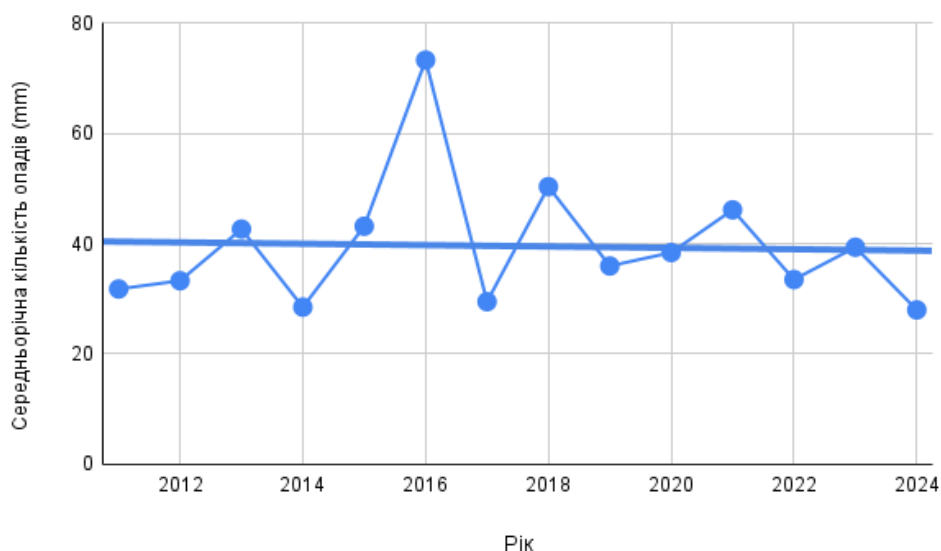


Рис. 3. Середньорічна кількість опадів (мм) на досліджуваній території

Найнижча середня температура для досліджуваної території була зафіксована у 2016 році та становила приблизно $7,3^{\circ}\text{C}$, з тенденцією до зростання приблизно на $2,5^{\circ}\text{C}$ за останні 14 років (рис. 2а). Зими після 2018 року стали м'якшими, 2016 та 2017 роки були холоднішими, а 2020 рік – помітно теплішим. Літня температура досягла $25,1^{\circ}\text{C}$ у липні 2023 року, з тенденцією до стабільного зростання, особливо з 2017 року (рис. 2б). У період 2011–2024 років спостерігається чітка тенденція до потепління клімату. Зими стають м'якшими, з меншою кількістю морозних днів, а влітку частіше фіксуються температурні піки $22\text{--}24^{\circ}\text{C}$. Навесні та восени також відзначається підвищення температури, що свідчить про загальний зсув кліматичних умов у бік потепління: зими коротшають, а річний діапазон температур звужується.

Однією з характеристик клімату Лівобережного Лісостепу є його нестабільний рівень вологості (Adamenko, 2014). Згідно з агрокліматичним районуванням, досліджувана територія класифікується як слабо зволожена зона (Adamenko, 2014). Аналіз даних показує (рис. 3), що рівень опадів був найвищим у 2016 р. та в деяких інших роках, а найменшим – у 2018 та 2020 роках. Найвищі місячні показники спостерігались навесні та восени, особливо у квітні, травні та жовтні. Тенденція за кілька років свідчить про коливання кількості опадів із значною варіативністю між різними місяцями та роками.

Обране популяційне поле розміром 450×10 м займає рудерально-сегетальний екотоп. У межах популяційного поля було закладено 15 пробних ділянок з довільним розташуванням, а розмір становив 1×1 м. Популяційні дослідження проводилися згідно з методикою Ю.А. Злобіна (2009, 2013). Кількість особин у популяції визначається як загальна кількість одиниць популяції в ній. Для невеликих ділянок проводили повний підрахунок пагонів. На більших ділянках оцінювали загальний розмір площі популяції, визначали середню щільність популяції шляхом підрахунку пагонів на пробних ділянках, а потім обчислювали середню загальну кількість пагонів у всій популяції. Вивчаючи просторову організацію популяцій *A. artemisiifolia*, фіксували розташування особин у межах пробних ділянок.

Просторову структуру, тобто характер розміщення особини в популяціях, визначили за К.А. Кершоу (1964) та Ю.А. Злобін (2009). Це положення в полі популяції рослинних особин – надземних пагонів.

Дослідження біомаси рослин амброзії полинослистої проводилося згідно методики облікових (пробних) площ (Minarchenko, 2014). Проводилося зважування свіжозібраної сировини на одиниці площі. Результати виражені в грамах на квадратний метр (г/м^2). Додатково проводили повторне зважування висушеної сировини.

Результати дослідження та обговорення

A. artemisiifolia – кенофіт північно-американського походження. Вид вперше було зафіксовано у США до 1838 р. (Wagner & Beals, 1958; Makra et al., 2015), в Канаді – у 1860 р. (Bassett & Crompton, 1975; Makra et al., 2015), у Європі перші записи датуються XIX ст. (Essl et al., 2009; Bullock et al., 2012; Mang et al., 2018). В Україні перші записи про культивування виду зафіксовані в 1914–1918 роках; очевидно, на Дніпропетровщині (Knolmajer et al., 2024). Однак перша згадка як втікача датується 1925 р.: «*Ambrosia artemisiifolia* L. Окр. Києва, Пуца-Водица, 1925» (KW), «*Ambrosia artemisiifolia* L. Київ, Теличка, Елеватор Т-в Насінництва. На участку, де сіялася суданка (не вдалося), 14.X.1925, Leg.: Як. Лепченко» (KW).

A. artemisiifolia поширена у США, Європі, Австралії, Африці, Європі (Lawalrée, 1953; Jäger, 1998; Juhász, 1998; Rybníček et al., 2000; Strother, 2006; Rybníček & Jäger, 2001; Bullock et al., 2010; Chauvel & Cadet, 2011; Storchous, 2021). Вид росте також по всій території України (GBIF, 2023).

У первинному ареалі досліджуваний вид росте на вологих та сухих ґрунтах, порушених ділянках (Strother, 2006). На території України *A. artemisiifolia* трапляється також переважно по антропогенно трансформованих екотопах: уздовж транспортних шляхів, залізничних насипів, на рудеральних та сегетальних землях, а також у напівприродних та природних: по берегах річок, у полезахисних смугах.

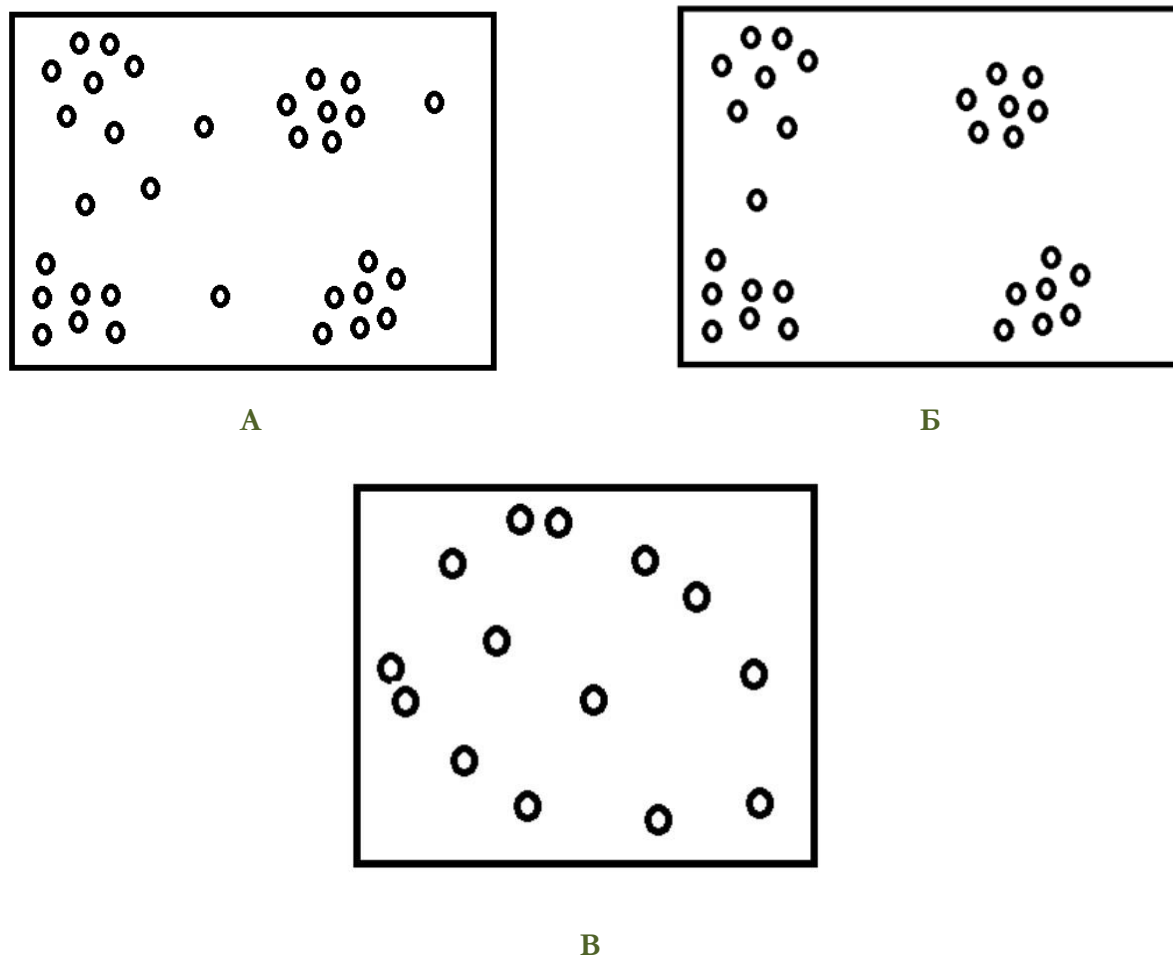


Рис. 4. Типи просторового розміщення особин *Ambrosia artemisiifolia* на пробних ділянках: А – випадково-контагіозне; Б – контагіозне; В – випадкове

Ambrosia artemisiifolia включено до Списку інвазійних чужорідних рослин Європейською організацією з карантину та захисту рослин з 2004 р. (EPPO, 2021). Рослини із цього списку мають великий

потенціал для поширення, становлять серйозну загрозу для культурних рослин, довкілля й біорізноманіття загалом, а також можуть спричинити інші шкідливі соціальні наслідки (Neilyk & Tsytsyura, 2020). З 2016 р.

вид внесено до списку шкідників категорії A2 Євразійським економічним союзом (Follak & Starfinger, 2021). В Азербайджані, Казахстані, Узбекистані, росії він занесений до списку шкідників категорії A2, у Йорданії – до списку шкідників категорії A1; Білорусі – до списку карантинних шкідників, а в Іспанії та Швейцарії є регульованою інвазійною чужорідною рослиною (Follak & Starfinger, 2021). В Україні це карантинний інвазійний вид (Quarantine status of Ukraine, 2025).

A. artemisiifolia (Asteraceae) – однорічна трав'яниста рослина. Для досліджуваних популяцій виду рослинам притаманний фенотиповий поліморфізм, який проявляється в різній висоті та ширині особин (наприклад, в межах однієї пробної ділянки висота пагонів коливається від 16 см до 81,3 см). Імовірно, що поліморфізм має забезпечувати стійке існування популяції. Дослідження різноманітності просторової структури популяцій, особливо адвентивних видів, зокрема інвазійних, має екологічні наслідки. Це дає змогу популяціям ефективно використовувати ресурси навколишнього середовища та мінімізувати внутрішньовидову конкуренцію. Як результат, вони можуть зміцнити позиції в межах своїх середовищ існування. Просторова структура популяції визначається характером розміщення особин у просторі, що створює своєрідний популяційний візерунок. До уваги береться розподіл особин на популяційному полі. Для *A. artemisiifolia* характерні випадково-контагіозний, контагіозний та випадковий типи просторового розміщення (рис. 4). Таке розміщення особин рослин зумовлено середовищем існування, а також особливостями перебігу онтогенезу та розмноження в певних умовах. Загалом на популяцію одночасно впливає низка слабких чинників середовища. Контагіозний тип пов'язаний із тенденцією опадання насіння поблизу материнської особини.

Характеристики популяції зазвичай оцінюють за розміром, щільністю та чисельністю. На пробних ділянках 1 × 1 м щільність пагонів коливалася від 5 до 156 у 2011 р.; від 8 до 1231 у 2023 р. та від 33 до 138 у 2024 р. Загалом можемо стверджувати, що щільність цієї популяції зросла у 8 разів за 14-річний період спостереження. Однак щільність пробних ділянок сильно варіює, і в останні роки спостерігаємо відносно рівномірний розподіл особин.

У 2011 р. площа, яку займав досліджуваний вид, становила 210 м × 2,5 м (525 м²), до 2023 р. – 450 м × 10 м. (4500 м²), у 2024 р. площа не змінилася.

Ця популяція виникла орієнтовно у 2009–2010 рр. та поступово розширила свій ареал, що зумовлено високим антропогенним впливом в останні роки (розорювання земель, висівання озимих культур та ін.). Аналізуючи дані, робимо висновок, що досліджене популяційне поле *A. artemisiifolia* зростає. За типом життєздатності популяції є процвітаючими.

Щодо визначення щільності біосами, то ми отримали наступні результати: у 2023 р. під час зважування свіжої сировини (зелених надземних пагонів) вага коливалася від 1,1 до 0,3 кг, тоді як суха вага коливалася від 0,4 до 0,02 кг. Кількість пагонів на квадратний метр коливалася від 12 до 618.

Під час повторного обстеження у 2024 р. вага свіжозібраної сировини коливалася від 1 кг до 0,3 кг. Відповідно вага сухої сировини коливалася від 0,4 кг до 0,003 кг. Кількість пагонів, що спостерігалися протягом цього періоду, коливалася від 5 до 138.

Аналізуючи такі показники, доходимо висновку, що в середньому втрачається близько 0,5 кг ваги під час висихання. Такі коливання ваги зумовлені фенотиповим поліморфізмом та різноярусністю, оскільки в межах однієї пробної ділянки може бути понад 500 пагонів рослини, але їх висота коливатиметься від 8 см до 82 см, а діаметр від 4 см до 43 см.

Віталітетна структура популяції *A. Artemisiifolia* рівноважна, однак місцями в межах популяційного поля – депресивна.

Висновки

Вищеописані моніторингові дослідження популяцій *Ambrosia artemisiifolia* були проведені вперше на території Лівобережного Лісостепу. Аналіз кліматичних даних демонструє чіткий зсув клімату за останні 14 років. Спостерігається тенденція до потепління та зменшення річної кількості опадів. Однак слід зазначити, що необхідно враховувати місцеві кліматичні умови (особливо те, що вказана територія час від часу переживає весняну повінь). Тому досліджуваний вид може переносити тимчасове перезволоження, а також посушливі періоди.

У зв'язку з тим, що для *A. artemisiifolia* характерна широка екологічна амплітуда,

загалом як і для більшості інвазійних видів, можемо стверджувати, що підвищення температури та коливання опадів суттєво не впливають на вид. Відмічаємо нерівномірне та різноярусне розташування особин виду на території досліджуваного популяційного поля. Місцями помітно, що відбувається

ущільнення ділянок, але подекуди – навпаки.

Імовірно, що подальше потепління може призвести до повторного повноцінного дозрівання та поширення насіння. Тому проведення моніторингових популяційних досліджень є важливим етапом попередження та боротьби з *A. artemisiifolia*.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-Enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

Adamenko, T. I. (2014). Agroclimatic zoning of Ukraine's territory with the consideration of climate change. VEGO "Mama-86". (in Ukrainian)

Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ: ВЕГО "МАМА-86", 2014. 16 с.

Balaev, A.D., Nesterov, G.I., & Tonkha, O.L. (2005). Geography of Ukrainian soils. Methodical handbook. Kyiv, 204 p. (in Ukrainian)

Балаєв А.Д., Нестеров Г.І., Тонха О.Л. Географія ґрунтів України. Методичний посібник. Київ, 2005. 204 с.

Bassett, I.J., & Crompton, C.W. (1975). Biology of Canadian weeds. 11. *Ambrosia artemisiifolia* L. and *A. psilostachya* DC. *Canadian Journal of Plant Science*, 55(2), 463–476.

Brundu, G., Costello, K.E., Maggs, G., Montagnani, C., Nunes, A.L, Pergl, J., Peyton, J., Robertson, P., Roy, H, Scalera, R., Smith, K., Solarz, W., Tricarico, E., & van Valkenburg, J. (2022). An introduction to the invasive alien species of Union concern Version 2022. Publications Office of the European Union.

Bulava, L.M. (1996). Geography of Poltava Region. Poltava: POIPOP. 56 p. (in Ukrainian)

Булава Л.М. Географія Полтавської області. Полтава: ПОІПОП, 1996. 56 с.

Bullock, J. M., Chapman, D., Schafer, H., Roy, D., Girardello, M., Haynes, T., Beal, S., Wheeler, B., Dickie, I., Phang, Z., Tinch, M., Sofiev, M., Niemelä, S., Räisänen, P., Lees, B., Skinner, M., Finch, S., & Brough, C. (2012). Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe. Final report ENV.B2/ETU/2010/0037, European Commission, Brussels. <https://circabc.europa.eu/sd/d/d1ad57e8-327c-4fdd-b908-dadd5b859eff/FinalFinalReport.pdf>

Chauvel, B., & Cadet, É. (2011). Introduction et dispersion d'une espèce envahissante : le cas de l'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L.) en France. *Acta Botanica Gallica*, 158(3), 309–328. <https://doi.org/10.1080/12538078.2011.10516276>

EPPO (2021). EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int/>

Essl, F., Dullinger, S., & Kleinbauer, I. (2009). Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion of Austria. *Preslia*, 81, 119–133.

Follak, S., & Starfinger, U. (2021). PM 9/7 (2) *Ambrosia artemisiifolia*. *EPPO Bulletin*, 51(3), 602-609. <https://doi.org/10.1111/epp.12785>

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2023). <http://www.gbif.org/>

Invasive alien species and climate change. 2025. <https://iucn.org/sites/default/files/2025-03/invasive-alien-species-and-climate-change-feb.-2025-update.pdf>

Jäger, S. (1998). Global aspects of ragweed in Europe. In F.Th.M. Spieksma (Ed.) *Ragweed in Europe*. 6th International Congress of Aerobiology. Satellite Symposium Proceedings. Perugia, Italy, 1998, pp. 6–10.

Juhász, M. (1998). History of ragweed in Europe. In F.Th.M. Spieksma (Ed.) *Ragweed in Europe*. 6th International Congress of Aerobiology. Satellite Symposium Proceedings. Perugia, Italy, 1998, pp. 11–14.

Kershaw, K.A. (1964). Quantitative and Dynamic Ecology. E. Arnold.

Khilchevskyi, V.K., Vynarchuk, O.O., Honchar, O.M., Zabokrytska, M.R., Kravchynskyi, R.L., Stashuk, V.A., & Chunarov, O.V. (2014). Hydrochemistry of rivers of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Nika-Center. (in Ukrainian)

Хільчевський В.К., Винарчук О.О., Гончар О.М., Забокрицька М.Р., Кравчинський Р.Л., Сташук В.А., Чунарьов О.В. Гідрохімія річок Лівобережного Лісостепу України. Київ: Ніка-Центр, 2014. 230 с.

Knolmayer, B., Jócsák, I., Taller, J., Keszthelyi, S., & Kazinczi, G. (2024). Common Ragweed – *Ambrosia artemisiifolia* L.: A Review with Special Regards to the Latest Results in Biology and Ecology. *Agronomy*, 14, 497. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030497>

Lawalrée, A. (1953). Note complémentaire sur les *Ambrosia* adventices en Europe occidentale. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, 87, 207–208.

Makra, L., Matyasovszky, I., Hufnagel, L., & Tusnády, G. (2015). The history of ragweed in the world. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(2), 489–512. https://doi.org/10.15666/aer/1302_489512

Mang, T., Essl, F., Moser, D., & Dullinger, S. (2018). Climate warming drives invasion history of *Ambrosia artemisiifolia* in central Europe. *Preslia*, 90, 59–81. <https://doi.org/10.23855/preslia.2018.059>

Minarchenko, V.M. (2014). Resource Science. Medicinal Plants. Textbook. Fitosotsiotsentr. (in Ukrainian)

Мінарченко В.М. Ресурсознавство. Лікарські рослини. Підручник. Київ: Фітосоціоцентр, 2014. 215 с.

National atlas of Ukraine. (2007). Cartography.

Національний атлас України. Київ: ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.

Neilyk, M.M., & Tsytsyura, Y.G. (2020). Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.): systematics, biology, adaptive potential, and control strategy. Monograph. LLC "Druk Plus".

Нейлік М.М., Цицюра Я.Г. Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.): систематика, біологія, адаптивний потенціал та стратегія контролю. Монографія. Вінниця: ТОВ «Друк плюс», 2020. 700 с.

Physical and geographical zoning of the Ukrainian SSR. (1968). Ed. V.P. Popov. Publishing house Kyiv. University. (in Russian)

Физико-географическое районирование Украинской ССР. Ред. В.П. Попов. Киев: Издательство Киевского университета, 1968. 683 с.

Protopopova, V.V., Mosyakin, S.L., & Shevera, M.V. (2002). Phytoinvasions in Ukraine as a threat to biodiversity: the current state and challenges for the future. M.G. Kholodny Institute of Botany of NAS of Ukraine. (in Ukrainian)

Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, 2002. 28 с.

Quarantine status of Ukraine. (2025). <https://dpss.gov.ua/diyalnist/fitosanitariya-kontrol-u-sferi-nasinnictva-ta-rozsadnictva/fitosanitarnij-kontrol/oglyad-poshirennya-karantinnih-organizmiv-v-ukrayini>

Rybnicek, O., Novotna, B., Rybinickova, E., & Rybnicek, K. (2000). Ragweed in the Czech Republic. *Aerobiologia*, 16(2), 287–290. <https://doi.org/10.1023/A:1007611715820>

Rybníček, O., Jäger, S. (2001). *Ambrosia* (Ragweed) in Europe. *Allergy & Clinical Immunology*. 13(2), 60–66. <https://doi.org/10.1027/0838-1925.13.2.60>

Storchous, I. (2021). Climate change and its impact on the expansion of the area *Ambrosia artemisiifolia* in Europe. *Quarantine and Plant Protection*, 1(264), 31–39. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2021.1.31-39> (in Ukrainian)

Сторчоус І.М. Зміна клімату та його вплив на розширення ареалу *Ambrosia artemisiifolia* в Європі. *Карантин і захист рослин*. 2021. №1(264). С. 31–39. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2021.1.31-39>

Strother, J.L. (2006). *Ambrosia*. In Flora of North America Editorial Committee (Ed.), *Flora of North America*, vol. 21 (pp. 10–18). Oxford University Press

Wagner, W.H., Beals, T.F. (1958). Perennial ragweeds (*Ambrosia*) in Michigan, with the description of a new intermediate taxon. *Rhodora*, 60, 178–204.

Zlobin, Yu.A. (2009). Population ecology of plants: current state, growth points. Sumy: University book, 263 p. (in Russian)

Злобин Ю.А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста: монография. Сумы: Университетская книга, 2009. 263 с.

Zlobin, Yu.A., Sklyar, V.G., & Klimenko, A.A. (2013). Populations of rare plant species: theoretical foundations and methods of study: monograph. University Book. (in Russian)

Злобин Ю.А., Скляр В. Г., Клименко А.А. 2013. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения: монография. Сумы: Университетская книга, 439 с.

Received: 26.10.2025. Accepted: 18.11.2025. Published: 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Двірна Т., Мінарченко В., Тимченко І. Структура та динаміка популяцій *Ambrosia artemisiifolia* L. у межах Лівобережного Лісостепу України. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.6>

Cite this article in APA style as:

Dvirna, T., Minarchenko, V., & Tymchenko I. (2025). Struktura ta dynamika populatsii *Ambrosia artemisiifolia* L. u mezhakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Structure and dynamics of *Ambrosia artemisiifolia* L. populations within the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Biota. Human. Technology*, (3), 63–72. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.6> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Dvirna T. [in Ukrainian: **Двірна Т.**]¹, PhD (Biology), Senior scientific researcher, email: dvirna_t@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9279-9766

Department of Systematics and Floristics of Vascular Plants, M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2 Tereshchenkivska Str., 01004, Kyiv, Ukraine

Minarchenko V. [in Ukrainian: **Мінарченко В.**]², D.Sc. (Biology), email: valentyna.minarchenko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5049-7620

Department of Pharmacognosy and Botany, Bogomolets National Medical University
22 Chykalenska Str., 01601, Kyiv, Ukraine

Tymchenko I. [in Ukrainian: **Тимченко І.**]³, PhD (Biology), Senior scientific researcher, email: itymorchid@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7505-3164

Department of Systematics and Floristics of Vascular Plants, M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2 Tereshchenkivska Str., 01004, Kyiv, Ukraine

¹ Field trip (2011–2024), data collection, methodology, writing the original draft and critical revision.

² Statistical analysis, methodology, writing the original draft.

³ Statistical analysis, methodology, writing the original draft.



ZOOBIOTA

ЗООБИОТА





Copyright (c) 2025 Ishtvan Zhelitski

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Ishtvan Zhelitski

ASSESSMENT AND IMPROVEMENT OF SCAT ANALYSIS METHODOLOGY FOR DETERMINING RED FOX DIET



Іштван Желіцькі

ОЦІНКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ПОСЛІДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНУ РУДОЇ ЛИСИЦІ

ABSTRACT

Purpose of the work. The aim of the study was to develop a standardized and reproducible method for scat analysis to obtain comparable results on species' feeding habits.

Methodology. Fresh red fox scats (less than 24 hours old) were collected, georeferenced by GPS, dried, and disinfected in alcohol. Sample size was calculated using power analysis. Diet composition was analyzed micro- and macroscopically after washing and sieving (2 mm and 1 mm). Food remnants were identified under a microscope, and diet proportions were calculated as percentages of total fragments. The reliability of volumetric estimations was tested by comparing estimated and measured volumes of nine food categories. Inter- and intraobserver reliability were assessed by regression analysis. The independence of samples was verified through similarity index analysis based on distances between sampling points.

Scientific novelty. A standardized and statistically validated methodology for red fox scat analysis was developed. The improved volumetric method allows the application of two-way multivariate ANOVA, minimizing required sample size and ensuring reproducible results. The study defined the minimal distance between independent samples, the optimal number of scats and food remains to be analyzed, and demonstrated high intra- and interobserver reliability. The method enables accurate, comparable estimation of diet composition and temporal or spatial differences in feeding habits.

Conclusions. The study provides a reliable method for analyzing red fox scats to estimate diet composition. The improved volumetric approach allows the use of two-way multivariate ANOVA with fewer samples. Ensuring sample independence and sufficient numbers is important. Intra- and interobserver consistency was high. Collecting at least seven independent samples per site, spaced by 40 m and repeated three times, and analyzing enough food remains provides accurate and comparable results. This method can help monitor feeding habits in mammals for conservation purposes.

Key words: diet composition, faecal analysis, sample size, volumetric method, red fox

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Метою дослідження було розробити стандартизований і відтворюваний метод аналізу екскрементів для отримання порівняльних результатів щодо харчових звичок виду.

Методологія. Зібрано свіжі екскременти лисиці звичайної (не старші 24 годин), зафіксовано координати GPS, висушено та продезінфіковано в спирті. Розмір вибірки визначали методом аналізу потужності. Склад раціону досліджували мікро- та макроскопічно після промивання і просіювання (2 мм і 1 мм). Харчові рештки ідентифікували під мікроскопом, а частку кожного компонента розраховували у відсотках від загальної кількості фрагментів. Надійність об'ємних оцінок перевіряли шляхом порівняння розрахованих і вимірних об'ємів дев'яти категорій харчових ресурсів. Схожість результатів між різними спостерігачами, а також узгодженість повторних вимірювань одного спостерігача оцінювали за допомогою регресійного аналізу. Незалежність проб перевіряли за індексом подібності залежно від відстані між точками відбору.

Наукова новизна. Розроблено стандартизовану та статистично перевірену методику аналізу екскрементів лисиці звичайної. Удосконалений об'ємний метод дає змогу застосовувати двофакторний багатовимірний дисперсійний аналіз (ANOVA), зменшуючи необхідний обсяг вибірки та забезпечуючи відтворюваність результатів. Визначено мінімальну відстань між незалежними пробами, оптимальну кількість зразків і решток для аналізу, а також підтверджено схожість результатів між різними спостерігачами та узгодженість повторних вимірювань одного спостерігача. Метод дозволяє точно оцінювати склад раціону та його просторово-часові відмінності.

Висновки. Дослідження пропонує надійну методику аналізу екскрементів лисиці звичайної для оцінки складу раціону. Удосконалений об'ємний підхід дозволяє застосовувати двофакторний багатовимірний дисперсійний аналіз (ANOVA) з меншою кількістю зразків. Важливо забезпечити незалежність проб та достатню їх кількість. Схожість результатів між різними спостерігачами та повторні вимірювання одного спостерігача була високою. Збір щонайменше семи незалежних зразків на ділянці з відстанню 40 м і трьома повтореннями, а також аналіз достатньої кількості решток дозволяє отримати точні та порівнянні результати. Методика може бути корисною для моніторингу харчових звичок ссавців у програмах охорони природи.

Ключові слова: склад раціону, аналіз екскрементів, розмір вибірки, об'ємний метод, лисиця звичайна

Introduction

Trophic relations can influence activity, social and spatial organization of animals; additionally, predators have a central role in structuring of ecosystems (Dell'Arte & Leonardi, 2005; Zabala & Zuberogitia, 2003). Our subject, the red fox (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758), is a widespread predator living on all the continents except South America.

Detailed knowledge of feeding habits is important in order to understand the ecology of the species'. Historically, a wide range of methods was used. The diet of herbivores was studied mostly by volumetric methods, while that of carnivores by frequency of occurrence. Scat analysis may have difficulties that complicate their interpretation (Ciucci et al., 2004; Reynolds & Aebisher, 1991), besides, it was commonly used in the literature because scat collection is non-invasive and cost-effective. The number of collected faeces, the number of identified fragments and all the sampling procedures are different in the surveyed studies.

A few studies found it necessary to define the minimal sample size and analyse the spatial distribution that will guarantee the independence of scats (Katona & Altbäcker, 2002; Trites & Joy, 2005). Marucco et al. (2008) suggested using an additive method for collecting fecal samples of wolves living in groups. Independence is important because it can give information about the actual food choice of individuals.

For frequency of occurrence 94 scats will ensure that existing differences will be statistically detected, whereas 59 scats will ensure that at least one scat contains a species that has a 5% probability of occurring in a scat (Trites & Joy, 2005). Martin et al. (1995) collected scats from badgers latrines; the number of samples in each season was different. Hovens & Tungalakutja (2005) collected samples of wolves in each month and made a conclusion that 5-7 are insufficient for their method. Homolka (1982) used 10-20 samples for the different studies. Katona & Altbäcker (2002) (volumetric method)

suggested collecting 10 independent samples from one site in a season, which is many times lower than suggested by Trites & Joy (2005) for frequency of occurrence.

The aim of the present work was to improve the various existing scat analysing methodologies by establishing a standardized methodology which gives comparable and reproducible results on the feeding habits of species. For this, it is necessary to determine the number of required faecal samples; the minimal distance between sampling points, which would guarantee the independence of samples; a suitable statistical data processing procedure; and the number of analysed food remnants within a faecal sample for a correct estimation.

Materials and methods

Scats (n=383) were collected in Bócsa, Bugac and Orgovány at Kiskunsági National Park and in Nagykovácsi at Duna-Ipoly National Park. Our suggested volumetric methodology consists of the following steps:

Sampling – Only fresh (not older than 24 hours) faecal samples of red foxes were collected. The time and location of samples were recorded on the collecting boxes. The exact coordinates of the sampling points were determined by GPS and were recorded on a data sheet and on a map (1:10000) in order to calculate the distance between them. The samples were dried for 2 days. After that the samples were separately soaked in alcohol over 24 hours for disinfection.

Sample size determination – Minimum sample size was determined with the "Statistica" programme from StatSoft with power analysis sample size calculation.

Microhistological analysis – The diet composition of foxes was determined by microscopic and macroscopic analysis of remnants in faeces. The scats were considered as sample units and treated separately. We loosened each sample by pincers and thoroughly washed them for 20 minutes in flowing warm water through two sieves with mesh sizes of 2 mm and 1 mm.

The 2 mm sieve captured large amorphous items such as plants and insects, while the finer sieve captured mostly hairs. After drying of washed samples, the contents of sieves were put in separate bags with identification codes on them. We sampled the food remnants from both sieves with pincers and with plotting paper under the Petri dish. From the 2 mm sieve 50 pieces of remnants were chosen for identification from 50 fixed points, while from the 1 mm sieve 100. The remains were examined by microscope using magnification of 4x-200x. The cuticular and medullar preparations of hairs were made by the method of Teerink (1991). Proportion of diet components was estimated in each scat separately by:

$N_i / N_t \times 100$, where N_i – the number of fragments of item i ; N_t – the total number of fragments. These percentages were used for statistical calculations.

The reliability of estimation – First we estimated the volume of 10 scats by our suggested volumetric method without separation of components and they were analysed as mentioned in the microhistological analysis section. Then we separated the components into 9 categories. After this, the exact volume of each item category was measured by a plastic hypodermic syringe (20 ml). The air was pressed out of the syringe. After, we compared the exact volume of each item category with the volumes estimated by our suggested volumetric method.

Interobserver tests – Tests were performed by two authors using the same methodology. The observers made all the consecutive steps of the microhistological analysis separately. The relationship between results was estimated by regression analysis.

Intraobserver tests – All the consecutive steps of the microhistological analysis were performed two times by one of the authors with the same methodology. The relationship between the results was estimated by regression analysis.

Independency of scats – Fresh scats of red foxes were collected ($n=15$) in Nagykovácsi. On the first day the scats were marked and on the next day we collected all the unmarked ones. By similarity index we investigated the diet overlap of each sample. The distances between sampling points were determined. The relationship between the distance and similarities of samples was tested by regression analysis. The similarity of scats was calculated by Renkonen's proportional similarity index:

$S_{is} = \sum \min(P_{1,i}; P_{2,i})$, where $P_{1,i}$ is the proportion of prey category in one individual, $P_{2,i}$ in the other individual.

Comparison of the estimated volumes obtained by our suggested volumetric methodology with the exact volumes and with the following frequency of occurrence results:

Frequency of occurrence 1: frequency of occurrence expressed as a percentage of the total number of scats.

Frequency of occurrence 2: frequency of occurrence expressed as a percentage of the total number of occurrences of all food items.

Results

The power analysis for sample size calculation indicates that different statistical procedures need different sample sizes (Table 1; Fig 1). The group sample size for one-way ANOVA depends on the number of groups, while the Chi square test – on the differences in population variance. A minimum of seven faecal samples is sufficient from the same sampling site within the same sampling period (within a grouping variable) for the two-way multivariate ANOVA. The number of rows depends on the number of independent variables (e.g. number of sites and seasons) and the number of samples within groups (within independent variables); the number of columns depends on the number of item categories (according to unpublished data, in the case of long-term research this number will be more than eight).

The proportions of main food types in two sieves ($n=336$) were highly correlated $r_s=0.63-0.82$, $p=0.00$.

Intra- ($n=7$) and interobserver ($n=7$) reliabilities were measured to be high (Regression analysis: $r=0.91-1.00$, $b=0.73-1.11$, $p<0.05$), except for fox hair ($r=0.37$, $b=0.22$, $p=0.41$). The proposed microhistological faeces analysis does not depend on the observer.

The results of contents analysis made by the proposed method are similar to the percentage of volume ($r_s=0.83-1$, $p<0.05$) (Fig. 2).

There was no negative correlation between the distance of sampling places of scats and their diet similarity ($n(\text{distances})=105$, $r_s=0.18$, $p=0.23$). The similarity between two samples at a distance of 41 m was $S_{is}=0.25$. Larger distance alone cannot guarantee the independence because in some cases samples were found to be similar within a distance of several hundred metres.

The independent samples had individual patterns with high variability.

Table 1

Required group sample size for different statistics

Statistics	Required sample size	
One mean, t-Test	2-tailed	265
	1-tailed	216
2 mean, t-Test, ind. samples	2-tailed	527
	1-tailed	429
2 mean, t-Test, dep. samples	2-tailed	32
	1-tailed	26
1-way ANOVA	2 groups	170
	3 groups	103
	4 groups	77
	5 groups	63
	6 groups	54
	7 groups	48
	8 groups	43
	9 groups	40
	10 groups	37
Chi square test, when var1 is 1.25 times higher than var0	2-tailed	417
	1-tailed	342
Chi square test, when var1 is 1.5 times higher than var0	2-tailed	126
	1-tailed	104
Chi square test, when var1 is 2 times higher than var0	2-tailed	43
	1-tailed	36
F-Test	2-tailed	90
	1-tailed	74

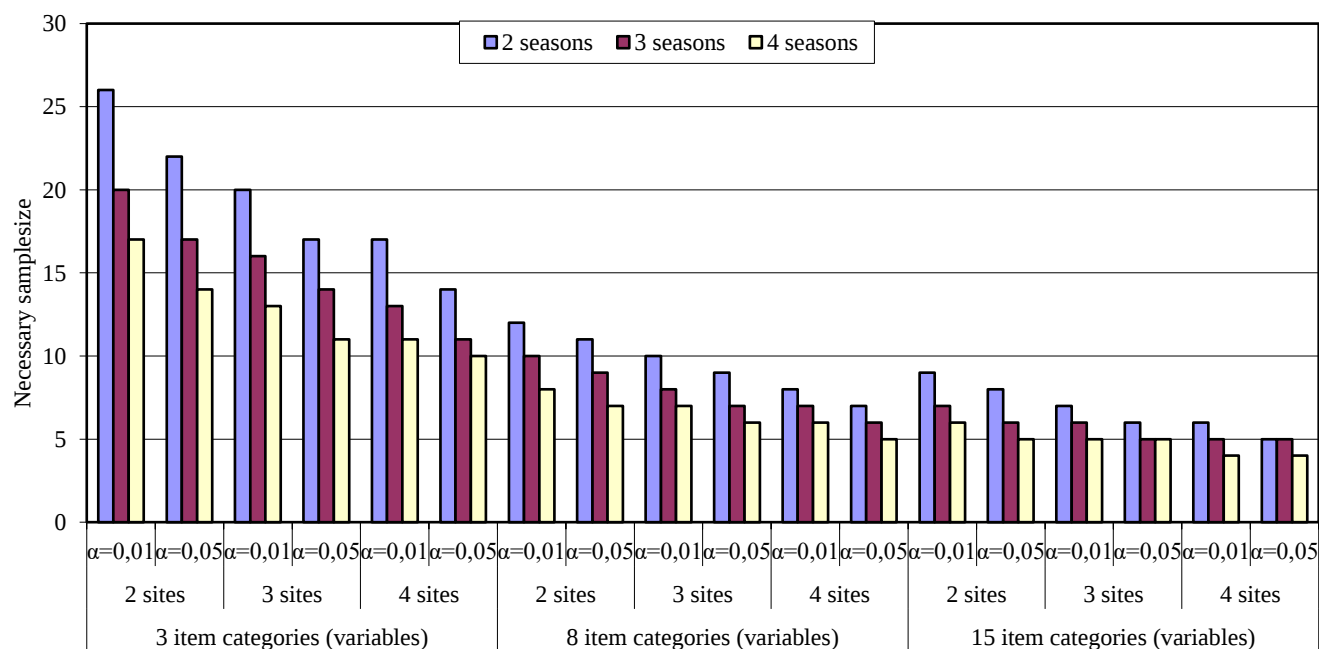


Fig. 1. Required sample size for 2-way ANOVA. The number of rows depends on the number of independent variables (like number of sites and seasons) and the number of samples within groups (within independent variables); the number of columns depends on the number of item categories (according to unpublished data, in the case of long-term research this number will be more than eight)

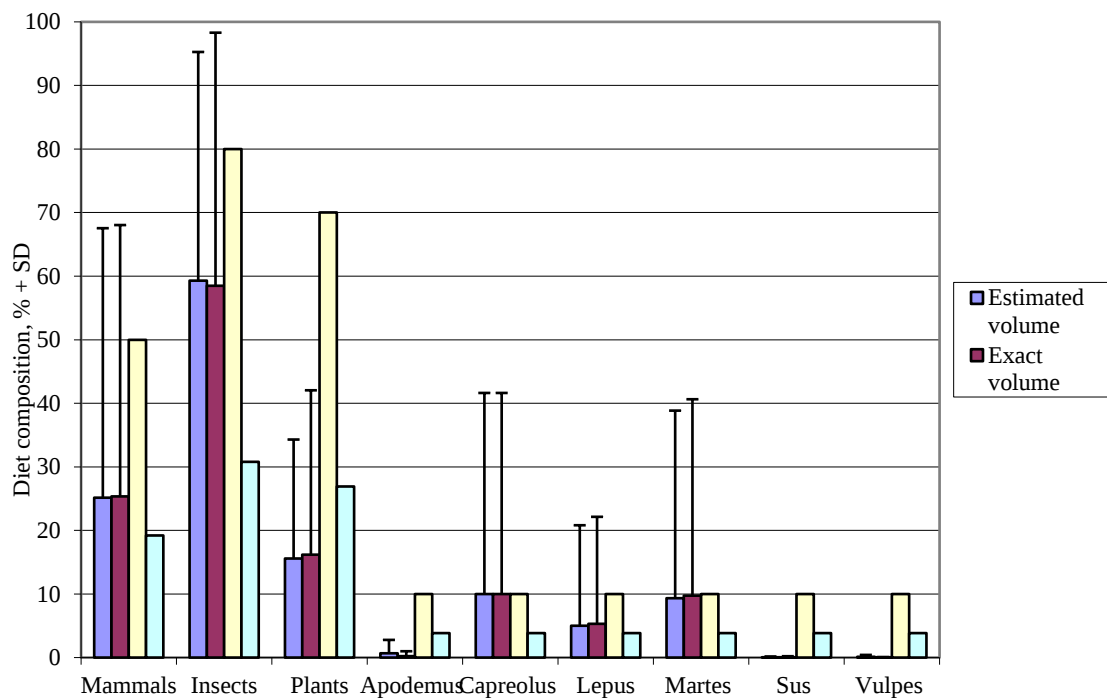


Fig. 2. Similarity between percentages. Comparison of the exact volume of categories of 10 samples with their estimated volume made by the proposed volumetric method and by two types of frequency of occurrence methods

Discussion

We analysed the variance components of the consecutive steps of the non-invasive scat analysis of the red fox diet estimates. We improved a volumetric method in a way what would allow the usage of two-way multivariate ANOVA, which requires the lowest sample size (Fig. 1). According to Zabala and Zuberogoitia (2003) the volumetric method shows the relative importance of ingested food items. First we investigated how many faecal samples need to be collected on a site in a season, then the number of hairs and other remains that need to be identified. We determined the minimal distance between independent scat samples. Our results suggest that it is necessary to analyse the samples separately in order to accurately estimate diet components and their variance. Some techniques are susceptible to interobserver sources of error (Ciucci et al., 2004). The intra- and interobserver reliabilities of the suggested methodology were measured to be high. The exact volume of faecal components is very close to the estimated volume (Fig. 2). So, this is a reliable method, which is able to investigate the percentage of volume of scats contents, and it is able to estimate site-dependent differences in the feeding habits of foxes and their change in time.

In the literature there are problems with samples size, which can be related to the methods used (Hovens & Tungalaktuja, 2005; Martin et al., 1995). Trites & Joy (2005) concluded that for the Chi square test it is necessary to use 94 samples. Scat analysis with the volumetric method, which we propose allows using ANOVA, which will prevent the problem of sample size. We suggest using a minimum of 63 samples for comparison, because for the two-way multivariate ANOVA three times three series minimum of seven independent samples are necessary at $\alpha=0.05$ when the power goal is 0.90.

Marucco et al. (2008) suggested performing scat contents analysis for diet estimation of wolves and combining these results with data on kills, which would allow a better representation of the missed kills not documented by other techniques. They concluded that small carnivores produce fewer scats per individual prey item; therefore the independence of samples will not be problematic. Our results suggest that the diet overlap estimated by Renkonen's proportional similarity index can be used as an additive method. Besides, it can only be used as a verification of the independence after the microhistological faeces analysis. The studied sites need to be large enough for seven fox individuals and the samples should be

collected along permanent tracks. The minimum distance between sampling points needs to be 40 m. The minimum distance was 100 m in the case of the European hare (Katona & Altbäcker, 2002) having the same home range size as the fox. The highest variance observed was between the individual compositions of samples; this possibly originated from the actual food choices of the individuals (Katona & Altbäcker, 2002). In the literature, there are cases when during the analysis the researchers made a mixture of samples (Mátrai et al., 2004; Ramirez et al., 1997; Szemethy et al., 2003) and subsamples were taken out from this mixture. Individuality of diet composition makes the validity of diet analysis from a faecal sample mixture doubtful.

We propose the described methodology because it gives reliable and reproducible results, which do not depend on the observers. This way the researchers can more precisely investigate the feeding habits of mammals, which is important in monitoring and managing restoration of threatened species. Without the correct knowledge of a particular species' diet and of the food availability in the restoration sites positive results will not be guaranteed. So, we propose collecting seven independent samples at least 40 m from each other at a time from each site, then repeating this process two more times with a set period of time between

repetitions, thus collecting $3 \times 7 \times 3 = 63$ samples altogether. Ciucci et al. (2004) used 50 remains with point-frame method but suggested 100. Our results suggest using 150 remains, choosing one remnant from 50 different points of 2 mm sieve, one from 100 different points of 1 mm sieve and use their summarised results when calculating the percentages of volume.

Conclusions

The study provides a standardized and reliable methodology for analyzing red fox scats to estimate diet composition.

The improved volumetric method allows the use of two-way multivariate ANOVA with a smaller sample size, while ensuring reproducible results.

Individual variability in diet was identified as the main source of variation, emphasizing the need to analyze samples separately.

High intra- and interobserver consistency confirms the method's reliability.

Collecting at least seven independent samples per site, spaced by 40 m and repeated in three series, and analyzing 150 food remains per sample, ensures accurate and comparable dietary assessments.

This approach can be applied to monitor feeding habits and support conservation and management programs for mammals.

Acknowledgements

Ми вдячні М. Тот за допомогу у застосуванні мікрогістологічних методів, а також К. Чатаді, П. Понграчу, І. Немету, С. Надь, Г. Месарошу, А. Міклоші, С. Штіхлойтнеру та В. Альтбекеру за їхню допомогу. Ми вдячні Національному парку Кішкуншаг за дозвіл працювати в охоронюваній досліджуваній зоні / We are indebted to M. Tóth for her help in applying microhistological techniques and to K. Csátádi, P. Pongrácz, I. Németh, S. Nagy, G. Mészáros, A. Miklósi, S. Stichleutner, and V. Altbäcker for their help. We are grateful to Kiskunság National Park for permission to work in the protected study area.

Фінансування / Funding

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування / The study received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Дані, що підтверджують результати цього дослідження, доступні у авторів за запитом / The data supporting the findings of this study are available from the authors upon request.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Для цього дослідження не було необхідності отримувати етичне схвалення, оскільки жодна тварина не зазнала шкоди під час неінвазивного дослідження / No ethical approval was required for this study, as no animals were harmed during the non-invasive research.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Інформована згода не застосовувалася, оскільки дослідження не включало участі людей / Informed consent was not applicable, as the study did not involve human participants.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

Під час написання статті та збору даних не використовувалися генеративні технології штучного інтелекту або інші технології на основі ШІ / No generative artificial intelligence or AI-enabled technologies were used in the writing or data collection for this article.

References

- Ciucci, P., Tosoni, E., & Boitani, L. (2004). Assessment of the point-frame method to quantify wolf *Canis lupus* diet by scat analysis. *Wildlife Biology*, 10, 149–153. <https://doi.org/10.2981/wlb.2004.020>
- Dell'Arte, G. L., & Leonardi, G. (2005). Effects of habitat composition on the use of resources by the red fox in a semi-arid environment of North Africa. *Acta Oecologica*, 28, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2004.12.003>
- Homolka, M. (1982). The food of *Lepus europaeus* in meadow and woodland complex. *Folia Zoologica*, 31, 243–253. https://www.researchgate.net/publication/316929611_The_food_of_Lepus_europaeus_in_a_meadow_and_woodland_complex
- Hovens, J. P. M., & Tungalakutja, K. (2005). Seasonal fluctuation of the wolf diet in the Hustai National Park (Mongolia). *Mammalian Biology*, 70, 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2004.12.003>
- Katona, K., & Altbäcker, V. (2002). Diet estimation by faeces analysis: sampling optimisation for the European hare. *Folia Zoologica*, 51, 11–15. https://www.researchgate.net/publication/228466460_Diet_estimation_by_faeces_analysis_Sampling_optimisation_for_the_European_hare
- Martin, R., Rodriguez, A., & Delibes, M. (1995). Local feeding specialization by badgers (*Meles meles*) in a Mediterranean environment. *Oecologia*, 101, 45–50. <https://doi.org/10.1007/BF00328898>
- Marucco, F., Pletscher, D. H., & Boitani, L. (2008). Accuracy of scat sampling for carnivore diet analysis: wolves in the Alps as a case study. *Journal of Mammalogy*, 89, 665–673. <https://doi.org/10.1644/07-MAMM-A-005R3.1>
- Mátrai, K., Szemethy, L., Toth, P., Katona, K., & Székely, J. (2004). Resource use by red deer in lowland nonnative forests, Hungary. *Journal of Wildlife Management*, 68, 879–888. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2004\)068\[0879:RUBRDI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2004)068[0879:RUBRDI]2.0.CO;2)
- Ramirez, R. G., Quintanilla, I. B., & Aranda, I. (1997). White-tailed deer food habits in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 25, 141–146. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00960-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00960-1)
- Reynolds, J. C., & Aebischer, N. J. (1991). Comparison and quantification of carnivore diet by faecal analysis: a critique, with recommendations, based on a study of the fox *Vulpes vulpes*. *Mammal Review*, 21, 97–122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.1991.tb00113.x>

Szemethy, L., Mátrai, K., Katona, K., & Orosz, S. (2003). Seasonal home range shift of red deer hinds, *Cervus elaphus*: are there feeding reasons? *Folia Zoologica*, 52, 249–258.

Teerink, B. J. (1991). Hair of West-European mammals: Atlas and identification key. Cambridge University Press.

Trites, A. W., & Joy, R. (2005). Dietary analysis from fecal samples: how many scats are enough? *Journal of Mammalogy*, 86, 704–712. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2005\)086\[0704:DAFFSH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2005)086[0704:DAFFSH]2.0.CO;2)

Zabala, J., & Zuberogoitia, I. (2003). Badger, *Meles meles* (Mustelidae, Carnivora), diet assessed through scat-analysis: a comparison and critique of different methods. *Folia Zoologica*, 52, 23–30. <https://icarus.es/contenido/uploads/2003/05/Badger-meles.pdf>

Received: 09.10.2025. **Accepted:** 04.11.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Zhelitski I. Assessment and improvement of scat analysis methodology for determining red fox diet. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. P. 74–81. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.7>

Cite this article in APA style as:

Zhelitski, I. Assessment and improvement of scat analysis methodology for determining red fox diet. (2025). *Biota. Human. Technology*, (3), 74–81. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.7>

Information about the author:

Zhelitski I. [*in Ukrainian: Желіцькі І.*], Senior lecturer, PhD student, email: zselicki.istvan@kmf.org.ua
ORCID: 0000-0001-5781-9509
Department of Biology and Chemistry, Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian University,
Kossuth Square 6, 90200 Berehovo, Ukraine
Department of Zoology, Uzhhorod National University
Narodna Square 3, 88000 Uzhhorod, Ukraine



FUNCTIONING OF BIOLOGICAL SYSTEMS

**ФУНКЦІОНУВАННЯ
БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**





Copyright (c) 2025 Yuliia Voronina-Tuzovskih, Viacheslav Poletai, Viktor Yanchenko

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).**Юлія Вороніна-Тузівських, Вячеслав Полетай, Віктор Янченко****ВИЗНАЧЕННЯ РЕПАРАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОЛІЇ
З ГОРІХІВ ТАМАНУ (*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM* L.)
НА МОДЕЛІ ПОВНОШАРОВИХ ТРАФАРЕТНИХ РАН У ЩУРІВ****Yuliia Voronina-Tuzovskih, Viacheslav Poletai, Viktor Yanchenko****DETERMINATION OF THE REPAIR PROPERTIES OF TAMAN NUT OIL
(*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM* L.)
IN A MODEL OF FULL-LAYER STENCIL WOUNDS IN RATS****АНОТАЦІЯ**

Мета роботи. Дослідити вплив олії таману на інтенсивність репаративних процесів в шкірі після її механічного пошкодження, проаналізувати швидкість процесів епітелізації шкіри в модельному експерименті *in vivo* за умов дії олії таману в порівнянні з контролем та за умов дії бепантену.

Методологія. Використано метод моделювання (моделі повношарових трафаретних ран *in vivo* на статевозрілих щурах, 3 групи тварин, одна з яких контрольна, n=30), хронічний експеримент тривалістю 14 днів з дослідження репаративної дії олії таману в порівнянні з контролем та дією іншого ефективного та більш дослідженого препарату (бепантен), під час якого проводилось спостереження, планіметричне та гістологічне дослідження репаративних процесів, а також використовувались статистичні методи дослідження.

Наукова новизна. Проаналізована ефективність застосування нефракціонованої олії таману на процеси епітелізації ран шкіри після механічного пошкодження; проведено порівняння інтенсивності репаративних процесів за дії олії таману та бепантену, дана оцінка ефективності дії олії таману на перебіг морфологічних змін в тканинах при наявності раньового дефекту шкіри.

Висновки. Олія таману прискорює проліферативні процеси в рані, що проявляється в більш ранньому (на 2-3 доби в порівнянні з контролем) заповненні раньового дефекту грануляційною тканиною та формуванні м'якого рубця. Заміна грануляцій на грубоволокнисту сполучну тканину та епітелізація механічного дефекту шкіри на 14 день під впливом олії таману досягала майже 82 % (на 16,3 % ефективніше в порівнянні з контролем); за показниками ефективності лише на 3,8 % поступається препарату порівняння (Бепантен). У тварин, які отримували досліджуваний препарат (Олія таману) спостерігалися більш завершені регенераційні зміни, а також протизапальний ефект, про що свідчить відсутність нейтрофілів в осередку в порівнянні з препаратом порівняння (Бепантен), при дії якого в окремих ділянках спостерігається виразна лімфоплазмоцитарна інфільтрація з домішками нейтрофілів.

Ключові слова: олія таману (*Calophyllum inophyllum* L.), репаративна дія, епітелізація ран

ABSTRACT

Purpose of the work. To investigate the effect of tamanu oil on the intensity of reparative processes in the skin after its mechanical damage, to analyze the speed of skin epithelialization processes in an *in vivo* model experiment under the conditions of tamanu oil exposure compared to the control and under the conditions of Bepanthen exposure.

Methodology. The modeling method was used (in vivo models of full-thickness stencil wounds on sexually mature rats, 3 groups of animals, one of which was a control, n=30), a chronic experiment lasting 14 days to study the reparative effect of tamanu oil in comparison with the control and the effect of another effective and more studied drug (bepanthen), during which observation, planimetric and histological study of reparative processes, as well as statistical research methods were conducted.

Scientific novelty. The effectiveness of the use of unfractionated tamanu oil on the processes of epithelialization of skin wounds after mechanical damage was analyzed; the intensity of reparative processes under the action of tamanu oil and bepamthen was compared, and the effectiveness of the action of tamanu oil on the course of morphological changes in tissues in the presence of a wound skin defect was assessed.

Conclusions. Tamanu oil accelerates proliferative processes in the wound, which is manifested in an earlier (2-3 days compared to the control) filling of the wound defect with granulation tissue and the formation of a soft scar. The replacement of granulations with coarse-fibrous connective tissue and epithelialization of the mechanical skin defect on day 14 under the influence of tamanu oil reached almost 82 % (16.3 % more effective compared to the control); in terms of effectiveness, it is only 3.8 % inferior to the reference drug (Bepanthen). In animals that received the study drug (Tamanu oil), more complete regenerative changes were observed, as well as an anti-inflammatory effect, as evidenced by the absence of neutrophils in the focus compared to the reference drug (Bepanthen), under the action of which in some areas a pronounced lymphoplasmacytic infiltration with admixtures of neutrophils is observed.

Key words: Tamanu oil (*Calophyllum inophyllum* L.), reparative effect, wound epithelialization

Вступ

Олія таману, отримана з горіхів *Calophyllum inophyllum* L., традиційно використовується для лікування різних захворювань шкіри. В останні роки ця олія набирає все більшої популярності, оскільки дослідники продовжують шукати нові природні альтернативні методи лікування різних захворювань шкіри. Загоєння ран відбувається за допомогою трьох основних процесів, що накладаються один на одного, включаючи запалення, проліферацію та формування грануляційної тканини, а також процес ремоделювання або формування рубця. Всі вказані події вимагають взаємодії багатьох типів клітин, а на швидкість їх перебігу впливають різноманітні фактори (Guo & Dipietro, 2010).

Місцеве лікування ран шкіри має бути ефективним, нетоксичним та відносно дешевим. Олія таману, яка містить широкий спектр біологічно активних інгредієнтів, включаючи тріацілгліцерини, гліколіпіди і фосфоліпіди, а також вільні жирні кислоти, фітостероли, тритерпени, стероїди та лактони, калофілоліди, неофлавоноїди, ксантон та похідні піранокумарину, якраз відповідає цим якостям (Morel et al., 2000; Nguyen et al., 2017).

Було проведено низку досліджень *in vitro* та *in vivo*, присвячених різним властивостям олії таману, що впливають на шкіру. Різними дослідниками було доведено, що, як і олія таману, так і екстракти горіхів таману мають потужні антимікробні, протигрибкові, протизапальні, антиоксидантні, знеболювальні, протипухлинні та ранозагоювальні властивості. (Saravanan et al., 2011; Shanmugapriya et al., 2016; Cassien et al., 2021).

Антимікробні властивості як олії, так і екстракту горіхів таману, реалізуються щонайменше за допомогою двох механізмів: прямого пригнічення росту мікробів та

стимуляції імунітету шкіри (Saravanan et al., 2011; Pribowo et al., 2021).

Антиоксидантні властивості олії таману реалізуються завдяки своїй здатності знижувати внутрішньоклітинне вироблення активних форм кисню шляхом пригнічення активності ксантиноксидази смолистим компонентом олії таману (Cassien et al., 2021; Said et al., 2007). Також антиоксидантний ефект олії таману знижує у зразках тканин з рани активність мієлопіроксидози – ферменту, який каталізує утворення активних проміжних продуктів кисню, що є ознакою запалення і виділяється з активних нейтрофілів при запальному процесі (Nguyen et al., 2017).

Протипухлинні ефекти пігментних фракцій олії насіння таману проявлялись в здатності індукувати загибель клітин раку товстої кишки, легень та молочної залози (Hsieh et al., 2018; Shanmugapriya et al., 2016, 2017).

Протизапальні та ранозагоювальні властивості екстрактів олії таману також були продемонстровані *in vivo*. Досліджувалась дія калофілоліда, що є одною з активних сполук олії таману. Була показана його здатність знижувати проникність капілярів у мишей, коли цей процес індукують різні хімічні медіатори запалення. Окрім цього, застосування калофілоліду запобігало тривалому запальному процесу, знижуючи рівень системних прозапальних цитокінів, таких як IL-1 β , IL-6 та TNF- α , та підвищуючи експресію протизапального цитокіну IL-10. Калофілолід проявляв позитивні ефекти на загоєння шкірних ран, зменшував утворення рубців та прискорював закриття ділянки рани порівняно з контролем, повністю формуючи епідерміс та дермальні шари (Nguyen et al., 2017; Wang et al., 2006). Ефективні ранозагоювальні властивості нерафінованої олії таману були досягнуті при застосуванні шляхом завантаження біоінженерних двошарових пов'язок на рани (Luong & Lin,

2025), а також при застосуванні бігелів, одним із компонентів яких була олія таману, для заживлення рани та запобіганню утворенню рубців (Krishnapra et al., 2024).

При дослідженні олії таману та її екстрагованих компонентів *in vivo* не було помічено негативних побічних місцевих та системних ефектів. Ці властивості зараз широко використовуються в різних галузях медицини та косметології як самостійний засіб, так і в комплексній терапії захворювань шкіри та слизових оболонок.

Метою нашого дослідження було дослідити вплив олії таману на інтенсивність репаративних процесів в шкірі після її механічного пошкодження, проаналізувати швидкість процесів епітелізації шкіри в модельному експерименті *in vivo* за умов дії олії таману в порівнянні з контролем та за умов дії популярного та ефективного фармакологічного препарату бепантену.

Матеріали та методи дослідження

Репаративну дію олії таману вивчали на класичній моделі повношарових трафаретних ран (Choudhary et al., 2024; Masson-Meyers et al., 2020).

Такого виду патологію відтворювали з залученням в дослід статевозрілих безпородних щурів обох статей масою 170-230 г в асептичних умовах. Дослідження на тваринах проведено з дотриманням міжнародних принципів Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей. Прилади, які використовувались для досліджень, пройшли метрологічний контроль.

Тваринам під наркозом (тилетамін 15 мг/кг + золазепам 15 мг/кг + ксилазин 5 мг/кг) на попередньо депільованій поверхні спини у міжлопатковій зоні хірургічними ножицями вирізали ділянку шкіри за допомогою трафарету у формі кола діаметром 18 мм. Після моделювання на відкриту рану накладали асептичну пов'язку з 3% розчином перекису водню. Лікування розпочинали через 24 години після моделювання рани і продовжували протягом 14 днів.

Тварин розділили на три групи:

1 група – позитивний контроль (ПК) – неліковані тварини з відтвореною патологією (n=10);

2 група – тварини, у яких на тлі патології застосовували досліджуваній пре-

парат – Олію таману (n=10). Застосовувалась органічна жирна олія таману, отримана шляхом холодного пресування з плодів *Calophyllum inophyllum* L., країна походження олії – В'єтнам, країна-постачальник – Велика Британія, партія LOT0022733, дата виробництва 05.2024 р. Використання нерафінованої олії завдяки мінімальній її обробці дає змогу дослідити комплексний вплив всіх її хімічних компонентів і не збільшує вартість для споживача;

3 група – тварини, у яких на тлі патології застосовували препарат порівняння з виразною репаративною активністю – Бепантен (n=10).

Препарати наносили тонким шаром на зону ураження щоденно 1 раз на добу у кількості 0,1 мл/см². Тварин групи ПК не лікували. Оцінку репаративних процесів у рані проводили за динамікою планіметричних та морфологічних показників. Планіметрично рану оцінювали на 3, 5, 8, 11, 14 добу експерименту. В ці терміни реєстрували стан рани, вимірювали її площу у мм² шляхом обробки фотографій рани у програмі ImageJ 1.54g (National Institutes of Health, USA). За формулою вираховували коефіцієнт, що показує швидкість загоєння рани:

$$V = 100 \times (S_{\text{макс}} - S_{\text{досл}}) / S_{\text{макс}},$$

де: V – швидкість загоєння, %; S_{макс} – максимальна площа рани (на 1 добу експерименту), мм²; S_{досл} – площа рани в день вимірювання, мм².

Показник швидкості загоювання ран є відносним і дає можливість характеризувати динаміку перебігу ранового процесу незалежно від різниці величини площі рани.

На 14 добу тварин виводили з експерименту й проводили патоморфологічне дослідження ділянки шкіри у місці ураження. Для гістологічного аналізу забір матеріалу проводили за загальноприйнятою методикою. Досліджувані фрагменти фіксували в 10% нейтральному забуференому формаліні, далі піддавали зневоднюванню в спиртах зростаючої концентрації, заливали в парафін. Послідовні гістологічні зрізи товщиною 8-10 мкм фарбували гематоксиліном і еозином. Світлооптичний перегляд пофарбованих препаратів і мікрофотографування проводили на мікроскопі Ulab XY-B2T.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою функцій

табличного процесора Microsoft Office Excel з використанням t-критерію Ст'юдента, оскільки дані мали нормальний розподіл при їх перевірці за допомогою тесту Шапіро-Уїлка. Вірогідними вважалися відмінності між контролем і дослідом при $p < 0,05$.

Результати дослідження та обговорення

У всіх дослідних тварин після механічної травми утворилися рани з виразними запальними змінами навколишніх тканин (рис. 1А).



А



Б

Рис. 1. Ділянка шкіри в місці рани на 1 добу (А) та 3 добу (Б) експерименту.
Позитивний контроль

При відтворенні моделі трафаретних ран загоювання відбувається за вторинним натягом з припиненням кровотечі. Через декілька годин після відтворення рани у її зоні формується запальний набряк, порожнина заповнюється згустками крові та містить залишки некротичних тканин. Протягом кількох діб формується струп, що

заповнює рану, розвивається демаркаційне запалення (рис. 1Б). За результатами досліджень, що на 3 добу експерименту між планіметричними показниками дослідних груп і групою позитивного контролю достовірних відмінностей не спостерігали (рис. 2 та 3).

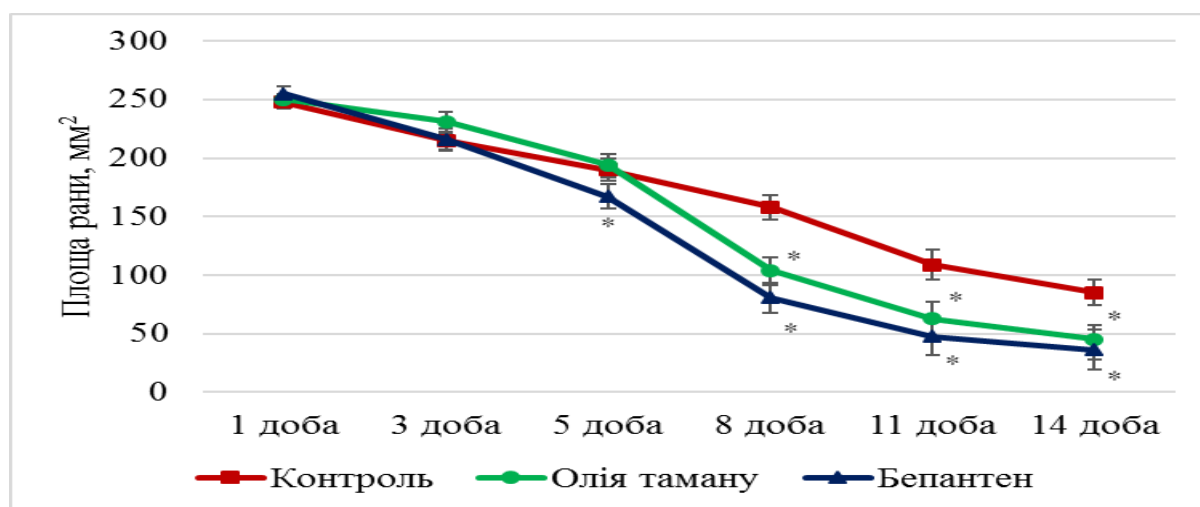


Рис. 2. Динаміка загоєння ран у щурів при нанесенні Олії таману та препарату Бепантен.
* – $p < 0,05$ відносно групи позитивного контролю

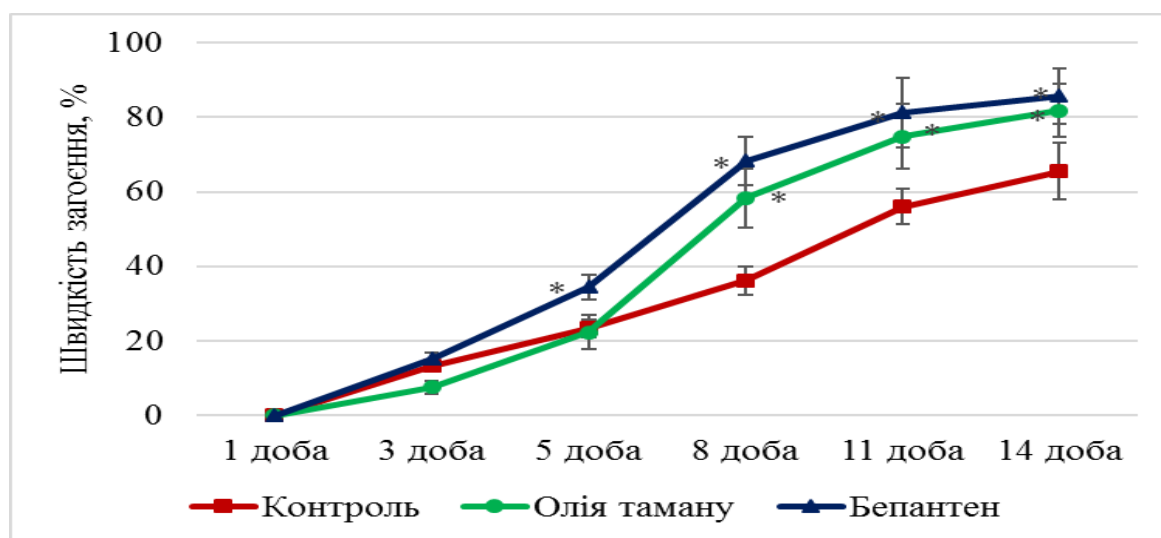


Рис. 3. Швидкість загоєння ран у щурів при нанесенні Олії таману та препарату Бепантен.
* – $p < 0,05$ відносно групи позитивного контролю

Процес загоєння повношарових трафаретних ран був достовірно інтенсивнішим у групі тварин починаючи з 5 доби дослідження, яких лікували препаратом порів-

няння (Бепантен), а з 8-ї доби – і досліджуваним препаратом (олія таману) в порівнянні з групою позитивного контролю (рис. 4 А, Б, В).



А



Б

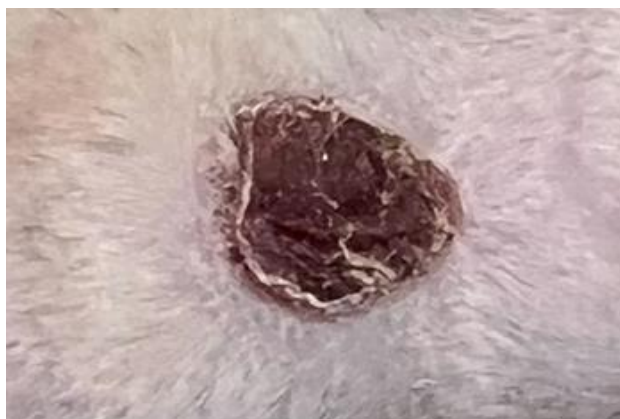


В

Рис. 4. Ділянка шкіри в місці рани (5 доба).
А – позитивний контроль, Б – за дії олії таману, В – за дії бепантену

При цьому з 8 по 14 добу дослідження між групами досліджуваного і референтного препаратів суттєвих відмінностей у площі ран не спостерігалось. Утворення грануляційної тканини у більшості тварин дослідних груп в ранах відмічалось на 5-8-у добу експерименту. Відповідно, в групі позитивного контролю грануляційна тканина заповнювала рановий дефект в середньому на 2-3 доби пізніше. На 14 добу експерименту

швидкість загоєння трафаретних ран досягла максимуму і становила 81,9 % для досліджуваного препарату та 85,7 % для препарату порівняння, в той час як в групі позитивного контролю цей показник складав лише 65,6 % (рис. 3). У цей термін під впливом обох препаратів у більшій частині тварин відбулося рубцювання ран на відміну від контрольної групи, де процес загоєння відбувався трохи повільніше (рис. 5 А, Б, В).



А



Б



В

Рис. 5. Ділянка шкіри в місці рани (14 доба).
А – позитивний контроль, Б – за дії олії таману, В – за дії бепантену

Отже, на основі проведених досліджень можна зробити висновок про те, що на 14 добу експерименту Олія таману проявляла виражену ранозагоювальну дію, оскільки, прискорювала проліферативні процеси в рані, формувала сполучну тканину з утворенням м'якого рубця і, при цьому, за лікувальним ефектом не поступалася препаратом порівняння (Бепантен).

У процесі патоморфологічних досліджень особливостей архітектури й структури шкіри було встановлено, що у тварин групи

позитивного контролю в місці рани епідерміс зруйнований, спостерігається виразна нейтрофільна інфільтрація із захопленням підлеглої дерми. В дермі присутні еозинофіли, виразна макрофагальна інфільтрація, зустрічаються поодинокі лімфоцити та плазмоцити. Під зоною ураження наявна грануляційна тканина, щільність судин поступово зменшується в бік підшкірної клітковини з формуванням молодого незрілої сполучної тканини. Відмічені крововиливи і ділянки фібриноїдного некрозу (рис. 6).

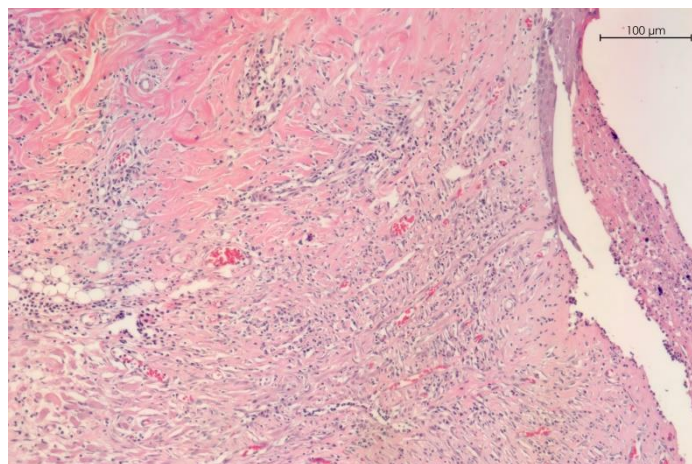


Рис. 6. Фрагмент шкіри з підлеглою м'язовою тканиною з ділянкою виразкування. Позитивний контроль, 14 доба. Фарбування гематоксиліном-еозином

Відповідно до результатів мікроскопічного аналізу ранових дефектів шкіри щурів було встановлено, що аплікації досліджуваним препаратом стимулюють процеси загоєння. У щурів, яким на поверхню рани протягом 14 діб наносили олію таману, більшість ділянок заміщена грубоволокнистою

сполучною тканиною, спостерігається менш виражена грануляційна тканина. Наявні окремі ділянки помірної лімфо-плазмocитарної інфільтрації, є поодинокі гігантські клітини сторонніх тіл та окремі ділянки крововиливів (рис. 7).

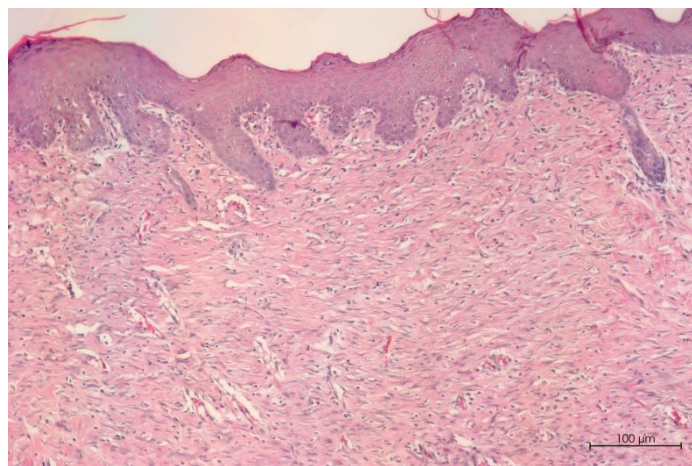
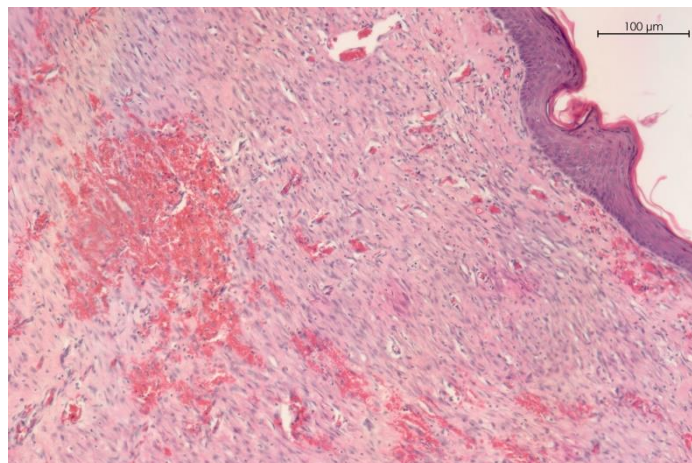


Рис. 7. Фрагмент шкіри зі шкірними придатками за дії олії таману, 14 доба. Фарбування гематоксиліном-еозином

У тварин, яким на поверхню рани протягом 14 діб наносили препарат порівняння Бепантен, в зоні ураження спостерігається формування грануляційної і незрілої сполучної тканини (грубоволокнистої сполучної тканини), наявні крово-

виливи, в окремих ділянках спостерігається виразна лімфо-плазмocитарна інфільтрація з домішками нейтрофілів, помірна гістiocитарна інфільтрація з формуванням гігантських клітин сторонніх тіл (рис. 8).



**Рис. 8. Фрагмент шкіри зі шкірними придатками. за дії бепантену, 14 доба.
Фарбування гематоксиліном-еозином**

Беручи до уваги результати гістологічного дослідження на 14 добу експерименту, можна підсумувати, що повношарові трафаретні рани у щурів групи позитивного контролю характеризуються повільним загоєнням: в цих ранах все ще присутній детрит, виразкування та виразне запалення. У тварин, які отримували досліджуваний препарат (Олія таману), спостерігалися більш завершені регенераційні зміни (епітелізація рани, майже повне заміщення грануляційної тканини грубоволокнистою незрілою сполучною тканиною та залишки запальної реакції без нейтрофілів) в порівнянні з препаратом порівняння (Бепантен).

Висновки

Олія таману прискорює проліферативні процеси в рані, що проявляється в більш ранньому (на 2-3 доби в порівнянні з

контролем) заповненні раньового дефекту грануляційною тканиною та формуванні м'якого рубця. Заміна грануляцій на грубоволокнисту сполучну тканину та епітелізація механічного дефекту шкіри на 14 день під впливом олії таману досягла майже 82 % (на 16,3 % ефективніше в порівнянні з контролем); за показниками ефективності лише на 3,8 % поступається препарату порівняння (Бепантен).

У тварин, які отримували досліджуваний препарат (Олія таману) спостерігалися більш завершені регенераційні зміни, а також протизапальний ефект, про що свідчить відсутність нейтрофілів в осередку в порівнянні з препаратом порівняння (Бепантен), при дії якого в окремих ділянках спостерігається виразна лімфоплазмочитарна інфільтрація з домішками нейтрофілів.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка (No протоколу: 5, 3 жовтня 2024р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium» (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Cassien, M., Mercier, A., Thétiot-Laurent, S., Culcasi, M., Ricquebourg, E., Asteian, A., Herbette, G., Bianchini, J.-P., Raharivelomanana, P., & Pietri, S. (2021). Improving the antioxidant properties of *Calophyllum inophyllum* seed oil from French Polynesia: development and biological applications of resinous ethanol-soluble extracts, *Antioxidants*, 10(2), 199. <https://doi.org/10.3390/antiox10020199>
- Choudhary, V., Choudhary, M., & Bollag, W. B. (2024). Exploring Skin Wound Healing Models and the Impact of Natural Lipids on the Healing Process. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(7), 3790. <https://doi.org/10.3390/ijms25073790>
- Guo, S., & Dipietro, L. A. (2010). Factors affecting wound healing. *Journal of Dental Research*, 89(3), 219-229. <https://doi.org/10.1177/0022034509359125>
- Hsieh, C., Lin, Y. W., Chen, C. H., Ku, W., Ma, F., Yu, H., & Chu, C. (2018). Yellow and green pigments from *Calophyllum inophyllum* L. seed oil induce cell death in colon and lung cancer cells. *Oncology letters*, 15(4), 5915-5923. <https://doi.org/10.3892/ol.2018.8052>
- Krishnappa, M., Abraham, S., Furtado, S.C., Krishnamurthy, S., Rifaya, A., Asiri, Y.I., Chidambaram, K., & Pavadai, P. (2024). An Integrated Computational and Experimental Approach to Formulate Tamanu Oil Bigels as Anti-Scarring Agent. *Pharmaceuticals (Basel)*, 17(1), 102. <https://doi.org/10.3390/ph17010102>
- Luong, A.H., & Lin, W.-C. (2025). Enhancement of wound healing by a bilayer hydrogel and nanofiber scaffold infused with *Calophyllum inophyllum* oil and *Platostoma palustre* aqueous extract. *Biomater Adv.*, 172, 214247. <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2025.214247>
- Masson-Meyers, D. S., Andrade, T. A. M., Caetano, G. F., Guimaraes, F. R., Leite, M. N., Leite, S. N., & Frade, M. A. C. (2020). Experimental models and methods for cutaneous wound healing assessment. *International journal of experimental pathology*, 101(1-2), 21-37. <https://doi.org/10.1111/iep.12346>
- Morel, C., Séraphin, D., Oger, J.M., Litaudon, M., Sévenet, T., Richomme, P., & Bruneton, J. (2000). New xanthenes from *Calophyllum caledonicum*. *Journal of Natural Products*, 63(11), 1471-1474

Nguyen, V.-L., Truong, C.-T., Nguyen, B. C. Q., Vo, T.-N. V., Dao, T.-T., Nguyen, V.-D., Trinh, D.-T. T., Huynh, H. K., & Bui, C.-B. (2017). Anti-inflammatory and wound healing activities of calophyllolide isolated from *Calophyllum inophyllum* Linn. *PLoS One*, 12(10), e0185674, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185674>

Pribowo, A., Girish, J., Gustiananda, M., Nandhira, R. G., & Hartrianti, P. (2021). Potential of Tamanu (*Calophyllum inophyllum*) Oil for Atopic Dermatitis Treatment. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 6332867. <https://doi.org/10.1155/2021/6332867>

Said, T., Dutot, M., Martin, C., Beaudeau, J. L., Boucher, C., Enee, E., Baudouin, C., Warnet, J. M., & Rat, P. (2007). Cytoprotective effect against UV-induced DNA damage and oxidative stress: role of new biological UV filter, *European Journal of Pharmaceutical Sciences: Official Journal of the European Federation for Pharmaceutical Sciences*, 30(3-4), 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2006.11.001>, 2-s2.0-33847097458

Saravanan, R., Dhachinamoorthi, D., Senthilkumar K., & Thamizhvanan, K. (2011). Antimicrobial activity of various extracts from various parts of *Calophyllum inophyllum* L. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 1(3), 102–106

Shanmugapriya, Ch. Y., Kanwar, J.R., & Sasidharan, S. (2016). Effects of *Calophyllum inophyllum* fruit extract on the proliferation and morphological characteristics of human breast cancer cells MCF-7. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 6(4), 291–297. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(15\)61033-7](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(15)61033-7)

Shanmugapriya, Ch. Y., Kanwar, J. R., & Sasidharan, S. (2017). Anticancer Activity and Molecular Mechanism of Polyphenol Rich *Calophyllum inophyllum* Fruit Extract in MCF-7 Breast Cancer Cells. *Nutrition and cancer*, 69(8), 1308–1324. <https://doi.org/10.1080/01635581.2017.1367944>

Wang, X.J., Han, G., Owens, P., Siddiqui, Y., & Li, A. G. (2006). Role of TGF beta-mediated inflammation in cutaneous wound healing. *The Journal of investigative dermatology symposium proceedings*, 11(1), 112–117. <https://doi.org/10.1038/sj.jidsymp.5650004>

Received: 15.09.2025. **Accepted:** 03.11.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Вороніна-Туззовських Ю., Полетай В., Янченко В. Визначення репаративних властивостей олії з горіхів таману (*Calophyllum inophyllum* L.) на моделі повношарових трафаретних ран у щурів. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 83–93. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.8>

Cite this article in APA style as:

Voronina-Tuzovskih, Y., Poletai, V., & Yanchenko, V. (2025). Vyznachennia reparatyvnykh vlastyvostei olii z horikhiv tamanu (*Calophyllum inophyllum* L.) na modeli povnosharovykh trafaretnykh ran u shchuriv [Determination of the repair properties of taman nut oil (*Calophyllum inophyllum* L.) in a model of full-layer stencil wounds in rats]. *Biota. Human. Technology*, (3), 83–93. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.8> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Voronina-Tuzovskih Yu. [*in Ukrainian: Вороніна-Тузовських Ю.*]¹, PhD (Pharmacy), email: yulianavt1984@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6673-2154

Department of Chemistry, Pharmacy and Technology, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium",
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Poletai V. [*in Ukrainian: Полетай В.*]², PhD (Biology), Assoc. Prof., email: v_poletaj@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0231-2740

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Yanchenko V. [*in Ukrainian: Янченко В.*]³, Assoc. Prof., PhD (Pharmacy), email: v.o.yanchenko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6727-4124 Scopus-Author ID: 6602531355 ResearcherID: AAC-9900-2020

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, manuscript preparation, statistical analysis. data collection.

² Data collection, manuscript preparation.

³ Data collection, manuscript preparation.



ENVIRONMENTAL POLLUTION STRESSES AND ORGANISMS' RESPONSE

**СТРЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ
ТА РЕАКЦІЯ ОРГАНІЗМІВ**





Copyright (c) 2025 Dmytrii Filonenko, Olha Mekhed

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Дмитрій Філоненко, Ольга Мехед**БІОХІМІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ АФЛАТОКСИНУ В₁
НА РІВЕНЬ НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ У ТКАНИНАХ КАРАСЯ ЗВИЧАЙНОГО****Dmytrii Filonenko, Olha Mekhed****BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF AFLATOXIN B₁
ON THE LEVEL OF NUCLEIC ACIDS IN CURP TISSUES****АНОТАЦІЯ**

Мета роботи. Метою дослідження є біохімічна оцінка впливу афлатоксину В₁ на вміст нуклеїнових кислот у тканинах карася звичайного (*Carassius carassius* L.), зокрема визначення вмісту ДНК та РНК, їх співвідношення (РНК/ДНК), а також активності ферментів ДНКаз та РНКаз.

Методологія. Дослідження проведено на дворічках карася вагою 250–350 г у модельних умовах акваріумного утримання. Експозиція тривала 14 діб. Риби були розподілені на три групи: контроль та дві експериментальні – із внесенням афлатоксину В₁ у концентраціях 0,5 та 1,0 мг/дм³. Для аналізу відбирали печінку, м'язову тканину, зябра та мозок. Вміст ДНК та РНК визначали спектрофотометричним методом; активність нуклеаз оцінювали за зміною кількості нуклеїнових кислот у розчинній фракції. Статистичну обробку здійснювали методами варіаційної статистики з використанням t-критерію Стьюдента.

Наукова новизна. Встановлено, що афлатоксин В₁ чинить дозозалежний вплив на нуклеїновий гомеостаз у тканинах риб. Виявлено достовірне зниження вмісту РНК і коефіцієнта РНК/ДНК навіть за низької концентрації токсину (0,5 мг/дм³), що свідчить про пригнічення білоксинтетичної активності клітин. При вищій дозі (1,0 мг/дм³) зниження рівня РНК становило 25–35 % відносно контролю, а співвідношення РНК/ДНК зменшувалося до 0,52–0,71. Одночасно зафіксовано достовірне зростання активності ДНКаз та РНКаз, що підтверджує посилення процесів деградації нуклеїнових кислот.

Висновки. Афлатоксин В₁ є потужним стресовим фактором для гідробіонтів, який викликає деструктивні зміни у структурі нуклеїнових кислот, пригнічує білоксинтетичні процеси та активує ферменти їх деградації. Отримані результати підтверджують, що аналіз вмісту ДНК, РНК та їх співвідношення у поєднанні з показниками активності нуклеаз може бути використаний як чутливий біомаркер токсичного навантаження в аквакультурі.

Ключові слова: карась звичайний, афлатоксин В₁, ДНК, РНК, нуклеази, токсикологія, аквакультура

ABSTRACT

Purpose of the work. The aim of this study was to provide a biochemical assessment of the influence of aflatoxin B₁ on nucleic acid levels in tissues of the crucian carp (*Carassius carassius* L.), including determination of DNA and RNA content, their ratio (RNA/DNA), and the activity of the enzymes DNase and RNase.

Methodology. The experiment was carried out on two-year-old crucian carp weighing 250–350 g under controlled aquarium conditions. Fish were divided into three groups: control and two experimental groups exposed to aflatoxin B₁ at concentrations of 0.5 and 1.0 mg/L, respectively. The exposure lasted for 14 days. Liver, muscle, gill, and brain tissues were collected for analysis. DNA and RNA contents were determined spectrophotometrically; nuclease activity was assessed by measuring nucleic acid degradation in soluble fractions. Statistical evaluation was performed using variation statistics and Student's t-test.

Scientific novelty. It was found that aflatoxin B₁ exerts a dose-dependent effect on nucleic acid homeostasis in fish tissues. Even at the lower concentration (0.5 mg/L), significant decreases in RNA content and RNA/DNA ratio were recorded, indicating suppressed protein-synthetic activity of cells. At 1.0 mg/L, RNA levels decreased by 25–35 % compared to the control, while the RNA/DNA ratio dropped to 0.52–0.71. Simultaneously, a significant increase in DNase and RNase activities was observed, reflecting enhanced nucleic acid degradation.

Conclusions. Aflatoxin B₁ acts as a strong stress factor for aquatic organisms, inducing destructive changes in nucleic acid structure, suppressing protein synthesis, and activating nuclease activity. These results highlight the potential use of DNA, RNA, their ratio, and nuclease activity as sensitive biomarkers of toxic load in aquaculture.

Key words: crucian carp, aflatoxin B₁, DNA, RNA, nucleases, toxicology, aquaculture

Вступ

Афлатоксин В1 (AFB1) є одним із найнебезпечніших мікотоксинів, який продукується грибами роду *Aspergillus* і трапляється у різних кормах та харчових продуктах. Він відзначається високою гепатотоксичною, мутагенною та канцерогенною дією, становлячи загрозу як для людини, так і для тварин, у тому числі й риби (Pickova et al., 2021). В аквакультурі проблема мікотоксикозів актуалізується через поширене забруднення кормів, що підтверджують результати глобальних та регіональних досліджень: у кормах для риби виявляють одночасну присутність кількох мікотоксинів, що значно підвищує токсичний ефект (Kovalsky et al., 2016; Koletsi et al., 2021; Gruber-Dorninger et al., 2025).

Встановлено, що афлатоксин В1 негативно впливає на ріст і розвиток риби, знижує ефективність використання кормів та викликає морфологічні і біохімічні порушення (Barany et al., 2021; Fornari et al., 2023). У тканинах риби за його дії відбуваються зміни метаболічних процесів та ушкодження клітинних структур, пов'язані з активацією окисного стресу (Guindon-Kezis & Mulder Massey, 2014; El-Gendy et al., 2020). У лабораторних умовах продемонстровано, що вплив афлатоксину супроводжується ушкодженням ДНК, підвищенням рівня окисдавної модифікації нуклеїнових кислот і змінами активності ферментів репарації (Guindon-Kezis & Mulder Massey, 2014).

Серед інших мікотоксинів важливе місце посідає Т2 токсин, який вважається одним із найтоксичніших представників трихотеценів. Показано, що він викликає виражені структурно-функціональні зміни у тканинах риби, впливає на енергетичний метаболізм та інтенсифікує переокиснення ліпідів (Zhang et al., 2019; Zhu et al., 2017; Błajet-Kosicka et al., 2024). Дослідження нашої лабораторії довели, що дія Т-2 токсину та інших ксенобіотиків порушує нуклеїновий гомеостаз, змінює вміст ДНК і РНК у тканинах коропа та впливає на морфологічні показники й біохімічні процеси (Matiushko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024; Mekhed, 2013a; Mekhed, 2013b; Pantiushenko et al., 2012; Polotnianko & Mekhed, 2023; Polotnianko & Mekhed, 2024). В інших роботах засвідчено адаптивні реакції крові коропа

лускатого під дією забруднювачів водного середовища (Nikolaienko et al., 2023).

З огляду на зростання масштабів мікотоксикозів в аквакультурі актуальним напрямом є пошук способів їх мінімізації, зокрема через використання адсорбентів та біологічних інгібіторів (Phudkliang et al., 2025). Однак біохімічні механізми токсичної дії афлатоксину В1 на рибу, зокрема зміни у метаболізмі нуклеїнових кислот, залишаються недостатньо вивченими.

Зважаючи на це, особливий науковий інтерес становить дослідження кількісних показників нуклеїнових кислот (ДНК, РНК), їх співвідношення та активності ферментів, що беруть участь у їхньому обміні (ДНКазі, РНКазі), у тканинах карася звичайного за умов дії різних концентрацій афлатоксину В1.

Мета роботи – є біохімічна оцінка впливу афлатоксину В1 на рівень нуклеїнових кислот у тканинах карася звичайного (*Carassius carassius* L.) шляхом визначення вмісту ДНК та РНК, їх співвідношення, а також активності ферментів ДНКазі та РНКазі при дії різних концентрацій токсину.

Матеріали та методи дослідження

Експериментальні дослідження виконували на дворічках карася звичайного (*Carassius carassius*) масою 250–350 г, виловлених у контрольній водоймі Київської області (штучна водойма, вільна від відомих джерел техногенного забруднення). Досліди проводили в модельних умовах у скляних акваріумах об'ємом 200 дм³, розміщуючи рибу із розрахунку одна особина на 40 дм³ води. Тривалість експозиції становила 14 діб. Під час досліду підтримували температуру води на рівні +15...+16 °С, вміст розчиненого кисню знаходився у межах фізіологічної норми (5–7 мг/дм³) (Bulbul Ali et al., 2022). Воду замінювали кожні три доби.

Риби утримувалися групами по п'ять особин у трьох варіантах: контроль (без додавання токсичних речовин); за дії афлатоксину В1 у концентраціях 0,5 мг/дм³ та 1,0 мг/дм³. Використовували стандартний зразок афлатоксину В1 TRILOGY (лот 240219-24159), до 06.2025. Умови зберігання згідно паспорту на стандарт при температурі не вище 8 °С.

Для аналізу відбирали тканини печінки, м'язів, зябер та мозку.

Вміст нуклеїнових кислот визначали спектрофотометрично: для РНК екстинцію вимірювали при 260 та 286 нм, для ДНК – при 268 та 284 нм. Співвідношення РНК/ДНК використовували як індикатор метаболічної активності клітин, відповідно до методики, наведеної у роботі Афанасьєвої К. С. та Чопей М. І. (Afanasyeva & Chopei, 2024). Активність ферментів (ДНКаз та РНКаз) оцінювали за методикою вимірювання кількості ДНК, що залишилася в розчинній фракції після впливу ферменту.

Статистичну обробку результатів здійснювали методами варіаційної статистики з використанням програмного пакета Statistica 10.0. Достовірність відмінностей між контрольною та дослідними групами визначали за критерієм Стюдента (t-тест), вважаючи їх значущими при $p < 0,05$.

Результати дослідження та обговорення

Дослідження показали, що дія афлатоксину В1 призводить до істотних змін у вмісті нуклеїнових кислот у тканинах карася звичайного. У контрольній групі рівень ДНК у печінці становив $1,40 \pm 0,07$ мг/г, у м'язах – $1,10 \pm 0,05$ мг/г, у зябрах – $1,60 \pm 0,08$ мг/г, а в мозку – $1,30 \pm 0,06$ мг/г. При дії афлатоксину у концентрації $0,5$ мг/дм³ вміст ДНК істотно не змінювався, проте при концентрації $1,0$ мг/дм³ спостерігалася помірна зниження, особливо у печінці та мозку.

Найбільш виражені зміни зафіксовані щодо рівня РНК. У контролі він становив $1,10 \pm 0,06$ мг/г у печінці та $1,45 \pm 0,07$ мг/г у мозку. У риб, що зазнавали впливу афлатоксину В1, виявлено достовірне ($p < 0,05$) дозозалежне зниження цього показника: при $0,5$ мг/дм³ – на 9–15 %, при $1,0$ мг/дм³ – на 18–30 % залежно від тканини (рис. 1).

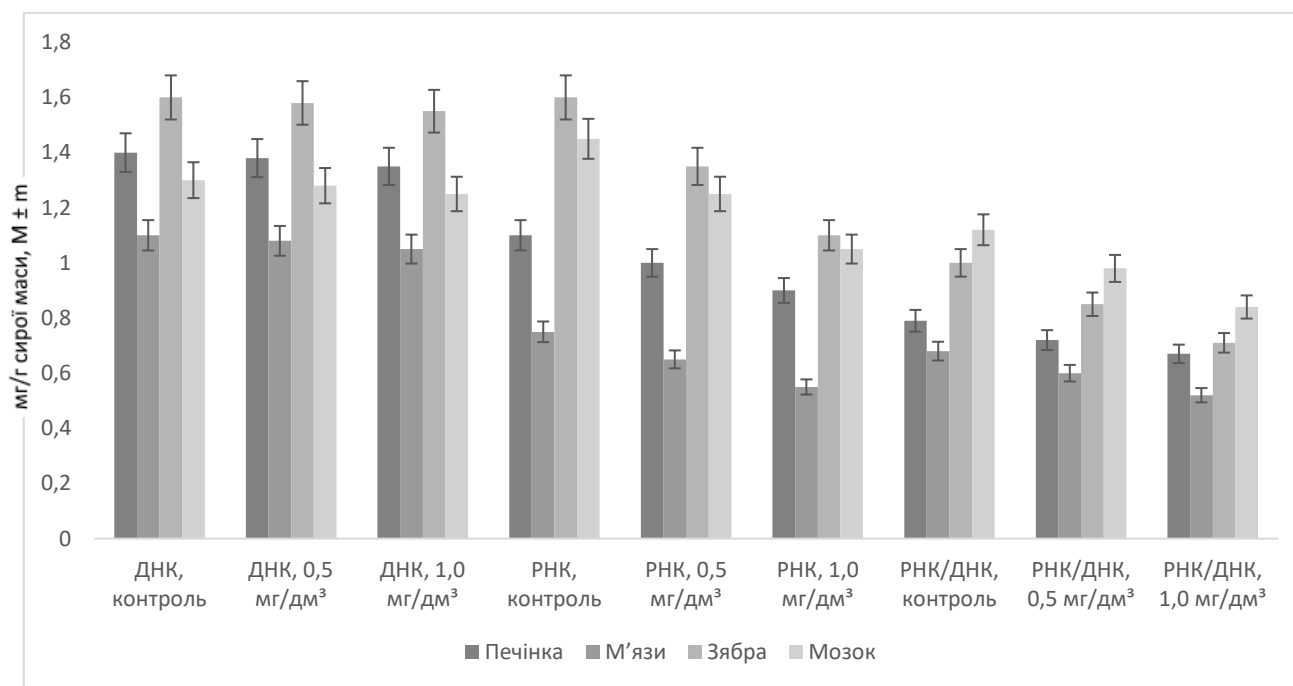


Рис. 1. Вміст ДНК, РНК та співвідношення РНК/ДНК у тканинах карася звичайного під впливом афлатоксину В1 (мг/г сирової маси, $M \pm m$)

Аналіз активності ДНКаз та РНКаз показав, що у контрольній групі вона залишалася на стабільному рівні (100 ± 5 та 95 ± 6 ум. од/мг білка відповідно). Водночас у дослідних групах активність ферментів зростала у дозозалежний спосіб. При кон-

центрації $0,5$ мг/дм³ активність ДНКаз підвищувалася на 25 %, а РНКаз – на 26 %, тоді як при $1,0$ мг/дм³ – на 50 % та 53 % відповідно. Це підтверджує посилення деградації нуклеїнових кислот під впливом афлатоксину (таблиця 1).

Таблиця 2

**Активність нуклеаз у тканинах карася звичайного за дії афлатоксину В1
(ум. од/мг білка, $M \pm m$)**

Варіант	ДНКаза	РНКаза
Контроль	100 $\pm$ 5	95 $\pm$ 6
0.5 мг/дм ³	125 $\pm$ 6*	120 $\pm$ 7*
1.0 мг/дм ³	150 $\pm$ 8*	145 $\pm$ 7*

Примітка: * – вірогідні відмінності порівняно з контролем, $p < 0,05$

Отримані результати свідчать, що афлатоксин В1 чинить виражений вплив на нуклеїновий гомеостаз у тканинах карася звичайного, що проявляється дозозалежним зниженням вмісту РНК та зменшенням співвідношення РНК/ДНК. Відомо, що показник РНК/ДНК відображає інтенсивність білоксинтетичних процесів у клітинах, а його зниження свідчить про пригнічення метаболічної активності та загальне ослаблення фізіологічного стану організму. Такі зміни узгоджуються з даними літератури про зниження темпів росту, погіршення обмінних процесів і посилення катаболізму у риб за умов дії афлатоксину (Barany et al., 2021; Fornari et al., 2023).

Деградація нуклеїнових кислот під впливом токсину підтверджується зростанням активності ДНКази та РНКази. Активація цих ферментів свідчить не лише про пряме ушкодження молекул ДНК і РНК, але й про запуск механізмів клітинної загибелі та програмованого апоптозу. Подібні ефекти описані в інших біологічних моделях – зокрема, показано посилення оксидативного пошкодження ДНК, індукцію репаративних систем і активацію апоптичних каскадів після впливу афлатоксину В1 у тканинах ссавців (Guindon-Kezis & Mulder Massey, 2014; El-Gendy et al., 2020). Це свідчить про універсальний механізм токсичної дії афлатоксинів, пов'язаний з утворенням активних форм кисню та індукцією деструктивних процесів.

Важливим є той факт, що навіть низькі концентрації афлатоксину (0,5 мг/дм³) зумовили достовірні зміни у нуклеїновому метаболізмі, що узгоджується з даними про високу токсичність цього мікотоксину та його здатність акумулюватися у тканинах риб (Rokvic et al., 2020; Koletsi et al., 2021; Gruber-Dorninger et al., 2025). Схожі ефекти

характерні і для інших мікотоксинів, зокрема Т-2 токсину. У попередніх дослідженнях було показано, що він призводить до пригнічення синтетичних процесів, порушення енергетичного обміну та зміни рівня нуклеїнових кислот у тканинах риб (Matiushko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024). Ці результати узгоджуються з даними інших дослідників (Zhang et al., 2019; Zhu et al., 2017; Błajet-Kosicka et al., 2024), які підтверджують універсальність механізмів токсичної дії мікотоксинів.

Зниження співвідношення РНК/ДНК, зафіксоване у нашому досліді, можна розглядати як індикатор зниження метаболічної активності клітин і потенційний біомаркер токсичного навантаження. Наші попередні дослідження також підтверджують, що дія токсикантів різної природи призводить до порушення нуклеїнового обміну, зміни структури крові та тканин риб, а також прояву адаптивних реакцій на системному рівні (Mekhed, 2013a; Mekhed, 2013b; Pantiushenko et al., 2012; Nikolaienko et al., 2023).

Таким чином, результати цього дослідження підтверджують, що афлатоксин В1 є потужним стресовим фактором для гідробіонтів. Він викликає деструктивні зміни у структурі нуклеїнових кислот, активує ферменти їх деградації, знижує білоксинтетичну активність клітин та формує метаболічні зрушення, що мають адаптивно-компенсаторний або патологічний характер залежно від дози. Виявлені закономірності мають суттєве значення для розуміння механізмів токсичної дії мікотоксинів на водні організми та можуть бути використані для розробки біомаркерів токсичного навантаження в аквакультурі.

Висновки

Встановлено, що афлатоксин В1 справляє дозозалежний вплив на вміст нуклеїнових кислот у тканинах карася звичайного. Уже при концентрації 0,5 мг/дм³ спостерігається достовірне зниження рівня РНК та коефіцієнта РНК/ДНК у більшості досліджених органів, що свідчить про пригнічення синтетичних процесів.

При підвищенні концентрації афлатоксину В1 до 1 мг/дм³ ефект стає більш вираженим: зниження вмісту РНК становить у середньому 25–35 % відносно контролю, а співвідношення РНК/ДНК зменшується до 0,52–0,71 залежно від тканини. Це вказує на пригнічення білоксинтетичної активності клітин та зростання енергетичних витрат на підтримання життєдіяльності.

Виявлені зміни супроводжувалися підвищенням активності ДНКаз та РНКаз, що є свідченням активації процесів деградації

нуклеїнових кислот і розвитку стресових реакцій у клітинах. Подібні результати узгоджуються з даними попередніх досліджень про роль мікотоксинів у формуванні оксидативного стресу та пошкодження клітинних структур.

Отримані результати підтверджують, що афлатоксин В1 може виступати важливим екотоксикантом для гідробіонтів, оскільки його дія призводить до порушення гомеостазу нуклеїнових кислот і ферментативної регуляції. Це має практичне значення для оцінки ризиків у системах аквакультури та розробки біомаркерів токсичної дії.

У цілому встановлено, що аналіз вмісту ДНК, РНК та їх співвідношення в поєднанні з показниками активності нуклеаз може бути використаний як інформативний метод для моніторингу стану риб за умов токсичного навантаження, що відповідає сучасним підходам до біомаркерних досліджень у токсикології водних організмів.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка (No протоколу: 5, 3 жовтня 2024р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium" (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

Afanasyeva, K.S., & Chopei, M.I. (2024). Modern methods of molecular biology. Kyiv. 129 p. (In Ukrainian).

Афанасьєва К.С., Чопей М.І. Сучасні методи молекулярної біології. Київ, 2024. 129 с.

Barany, A., Guilloto, M., Cosato, J., de Boevre, M., Oliva, M., de Saeger, S., Fuentes, J., Martínez-Rodríguez, G., & Mancera, J.M., (2021). Dietary aflatoxin B1 (AFB1) reduces growth performance, impacting growth axis, metabolism, and tissue integrity in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 533, 736189. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.73>

Bashorun, A., Hassan, Z. U., Al-Yafei, M. A., & Jaoua, S. (2023). Fungal contamination and mycotoxins in aquafeed and tissues of aquaculture fishes and their biological control. *Aquaculture*, 576, 01–08. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739892>

Błajet-Kosicka, S., Turek, J. T., Szyper-Matiaszek, J. A., Szymański, R. W., Szołtysik, A., Mikołajczak, A., Kowalski, P., & Szymański, P. R. (2024). T-2 Toxin—The Most Toxic Trichothecene Mycotoxin: Metabolism, Toxicity, and Decontamination Strategies. *Toxins*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/toxins16010041>

El-Gendy, A.H., Augustyniak, M., Toto, N.A., Al Farraj, S., El-Samad, L.M., 2020. Oxidative stress parameters, DNA damage and expression of HSP70 and MT in the midgut of *Trachyderma hispida* (Forskål, 1775) (Coleoptera: Tenebrionidae) from a textile industry area. *Environ. Pollut.* 267, 115661. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115661>

Fornari, D.C., Peixoto, S., Ksepka, S.P., Bullard, S.A., Rossi, W., Nuzback, D.E., & Davis, D.A. (2023). Effects of dietary mycotoxins and mycotoxin adsorbent additives on production performance, hermatological parameters, and liver histology in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Frontiers in Animal Science*, 4, 1281722. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1281722>

Gruber-Dorninger, C., Müller, A., & Rosen, R. (2025). Multi-Mycotoxin Contamination of Aquaculture Feed: A Global Survey. *Toxins*, 17(3), 116. <https://doi.org/10.3390/toxins17030116>

Guindon-Kezis, K.A., & Mulder Massey, T.E. (2014). *In vivo* treatment with aflatoxin B1 increases DNA oxidation, base excision repair activity and 8-oxoguanine DNA glycosylase 1 levels in mouse lung. *Toxicology*, 321, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2014.03>

Koletsis, P., Schrama, J.W., Graat, E.A.M., Wiegertjes, G.F., Lyons, P., & Pietsch, C. (2021). The Occurrence of Mycotoxins in Raw Materials and Fish Feeds in Europe and the Potential Effects of Deoxynivalenol (DON) on the Health and Growth of Farmed Fish Species—A Review. *Toxins*, 13(6), 403. <https://doi.org/10.3390/toxins13060403>

Kovalsky, P., Kos, G., Nährer, K., Schwab, C., Jenkins, T., Schatzmayr, G., Sulyok, M., Krska, R. (2016). Co-occurrence of regulated, masked and emerging mycotoxins and secondary metabolites in finished feed and maize-an extensive survey. *Toxins*, 8, 363

Matiushko, S., & Mekhed, O. (2024). Changes in the content of adenylates in carp tissues under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 78-83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5> (In Ukrainian).

Матюшко С., Мехед О. Зміни вмісту аденілатів в тканинах коропа за дії мікотоксину Т2. *Biota. Human. Technology*. 2024. № 3. С. 78-83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5>

Mekhed, O. B. (2024). Effect of T-2 mycotoxin on certain biochemical indicators of hydrobionts. *Molluscs: results, problems and perspectives of research*. Zhytomyr: Euro-Volyn, 19–21. (in Ukrainian).

Мехед О. Б. Вплив мікотоксину Т2 на деякі біохімічні показники гідробіонтів. Молюски: результати, проблеми і перспективи досліджень. Житомир: Євро-Волинь, 2024. С. 19-21. <https://tinyurl.com/4umjzxt5>

Mekhed, O. B. (2013a). Influence of toxicants of different chemical nature on the content of nucleic acids in the body of carp of different ages. *Modern problems of theoretical and practical ichthyology*. Ternopil: Vektor, 203–205. (in Ukrainian).

Мехед О. Б. Вплив токсикантів різної хімічної природи на вміст нуклеїнових кислот в організмі коропа різного віку. *Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології*. Тернопіль : Вектор, 2013. С. 203–205.

Mekhed, O. B. (2013b). The content of nucleic acids in the organs and tissues of carp depending on rearing conditions. *Scientific notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*, 3(56), 73–78. (in Ukrainian).

Мехед О. Б. Вміст нуклеїнових кислот в органах та тканинах коропа залежно від умов утримання. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2013. № 3 (56). С. 73–78.

Nikolaienko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptive changes in the blood parameters of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) as a response to water pollution. *Natural resources of the border areas in the conditions of climate change*. Chernihiv: Desna-Polihrav, 99–100. (in Ukrainian).

Ніколаєнко Т., Іващенко М., Іващенко Н., Мехед О. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. Чернігів : Десна-Поліграф, 2023. С. 99–100.

Pantiushenko, I. M., Mekhed, O. B., & Tretiak, O. P. (2012). Features of nucleic homeostasis of one-year-old carp under toxic rearing conditions. *Ecological Intelligence – 2012*. Dnipropetrovsk: DNUZT named after acad. V. Lazarian, 63–65. (in Ukrainian).

Пантюшенко І. М., Мехед О. Б., Третяк О. П. Особливості нуклеїнового гомеостазу цьогорічки коропа за токсичних умов утримання. *Екологічний інтелект – 2012*. Дніпропетровськ : ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2012. С. 63–65.

Phudkliang, J., Soonthornchai, W., Maele, L.V., Xu, H., Qi, Z., Lee, P.-T., Chantiratikul, A., & Wangkahart, E. (2025). Studies on the use of mycotoxin binders as an effective strategy to mitigate mycotoxin contamination in aquafeed: A case study in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 43, 102984. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102984>

Pickova, D., Ostry, V., & Malir, F. A (2021). Recent Overview of Producers and Important Dietary Sources of Aflatoxins. *Toxins*, 13, 186. <https://doi.org/10.3390/toxins13030186>.

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when fed T-2 toxin-contaminated feed. *Natural resources of the border areas in the conditions of climate change*. Chernihiv: Desna-Polihrav, 105–106. (in Ukrainian).

Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсиком. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. Чернігів : Десна-Поліграф. 2023. С. 105-106

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2024). Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 69-76. <https://doi.org/10.58407/bht.3.24.4>

Rokvic, N., Aksentijevic, K., Kureljušić, J., Vasiljevic, M., Todorovic, N., Zdravkovic, N., & Stojanac, N., 2020. Occurrence and transfer of mycotoxins from ingredients to fish feed and fish meat of common carp (*Cyprinus carpio*) in Serbia. *World Mycotoxin J.*, 13(4), 545–552. <https://doi.org/10.3920/WMJ2020.2580>.

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Zhang, L., Wang, J., Liu, R., Han, C., Li, X., Ding, J., Zhang, T., & Liu, J. (2019). T-2 Toxin: A Comprehensive Review on Its Occurrence, Toxicity, and Detoxification. *Toxins*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/toxins11030147>

Zhu, J., Wang, L., Fang, H., Zheng, X., Liu, J., Huang, Z., Wu, W., Yan, Q., Li, Y., & Wang, Y. (2017). Hepatotoxicity of T-2 toxin in HepG2 cells involves inhibition of cell proliferation, apoptosis, and mitochondrial injury. *Food and Chemical Toxicology*, 108, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.09.006>

Received: 07.09.2025. **Accepted:** 28.09.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Філоненко Д., Мехед О. Біохімічна оцінка впливу афлатоксину В1 на рівень нуклеїнових кислот у тканинах карася звичайного. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 95–102. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.9>

Cite this article in APA style as:

Filonenko, D., & Mekhed, O. (2025). Biokhimichna otsinka vplyvu aflatoksynu B1 na riven nukleino-nykh kyslot u tkanynakh karasia zvychainoho [Biochemical assessment of the influence of aflatoxin B1 on the level of nucleic acids in carp tissues]. *Biota. Human. Technology*, (3), 95–102. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.9> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Filonenko D. [*in Ukrainian*: **Філоненко Д.**] ¹, PhD student, email: filonenkoD@gmail.com

ORCID: 0009-0007-0631-1669

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Mekhed O. [*in Ukrainian*: **Мехед О.**] ², PhD (Biology), D.Sc. (Pedagogy), Prof., email: mekhedolga@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9485-9139 Scopus Author ID: 6506181994 ResearcherID: AAC-7333-2021

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.



Copyright (c) 2025 Nataliia Symonova

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Наталія Симонова

ІНТЕНСИВНІСТЬ ПЕРЕБІГУ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ ЛІПІДІВ У ТКАНИНАХ КАРАСЯ ЗВИЧАЙНОГО ЗА ВПЛИВУ МІКОТОКСИНУ Т₂



Nataliia Symonova

INTENSITY OF LIPID PEROXIDATION PROCESSES IN CURB TISSUES UNDER THE INFLUENCE OF MYCOTOXIN T₂

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Метою роботи є дослідження інтенсивності перебігу процесів пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) у тканинах карася звичайного (*Carassius carassius*) за впливу мікотоксину Т-2, що є одним із найбільш токсичних трихотеценових сполук, поширених у кормах для риб.

Методологія. Експеримент тривав 14 діб, у дослідженні брали участь дворічки карася звичайного масою 200–300 г. Було сформовано дві групи риб: контрольна та експериментальна, які утримувалися у стандартних умовах аквакультури. До води експериментальної групи додавали Т-2 токсин у концентрації 2,0 мкг/л. Після завершення експозиції проводили відбір зразків печінки, зябер, мозку та скелетних м'язів. У тканинах визначали рівень малонового діальдегіду (МДА) і дієнових кон'югатів (ДК), а також активність антиоксидантних ферментів: супероксиддисмутази (СОД), каталази (КАТ) та глутатіонпероксидази (ГП). Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу та критерію Стюдента.

Наукова новизна. У роботі вперше встановлено, що вплив Т-2 токсину спричиняє виражене підвищення активності антиоксидантних ферментів, особливо у печінці, де активність СОД, КАТ і ГП зросла у 1,5–1,7 рази ($p < 0,05$). У зябрах також зафіксовано достовірне підвищення СОД та ГП, тоді як у мозку та скелетних м'язах відмічалася лише тенденція до зростання активності ферментів без статистичної значущості. Додатково показано підвищення рівнів МДА та ДК у печінці та зябрах: вміст МДА зріс на 70 % та 47 % відповідно, а ДК – на 45 % та 33 % ($p < 0,05$). Це вказує на розвиток інтенсивного окисного стресу та формування органоспецифічної реакції на дію токсиканта.

Висновки. Т-2 токсин у концентрації 2,0 мкг/л викликає активацію процесів ПОЛ та антиоксидантної системи у карася звичайного, з найбільш вираженими змінами у печінці та зябрах. Одержані результати свідчать про органоспецифічний характер дії токсину та дають підстави розглядати показники ПОЛ і ферментативної активності як чутливі біомаркери токсичного навантаження у гідробіонтів. Отримані дані мають практичне значення для екотоксикології та рибиництва, оскільки можуть бути використані для моніторингу якості води й кормів, а також для розробки профілактичних заходів проти мікотоксикозів у прісноводних екосистемах.

Ключові слова: карась звичайний, Т-2 токсин, перекисне окиснення ліпідів, антиоксидантні ферменти, малоновий діальдегід, дієнові кон'югати, окисний стрес

ABSTRACT

Purpose of the work. The study aimed to investigate the intensity of lipid peroxidation (LPO) processes in common carp (*Carassius carassius*) tissues under the influence of T-2 mycotoxin, one of the most toxic trichothecenes frequently found in fish feed.

Methodology. The 14-day experiment was conducted on two-year-old common carp weighing 200–300 g. Fish were divided into two groups: control and experimental, maintained under standard aquaculture conditions. The experimental group was exposed to T2 toxin at a concentration of 2.0 µg/L. At the end of the trial, liver, gill, brain, and skeletal muscle samples were collected for biochemical analysis. Lipid peroxidation was assessed by measuring malondialdehyde (MDA) and diene conjugates (DC), while antioxidant defense was evaluated through superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and glutathione peroxidase (GP) activities. Data were processed statistically using one-way ANOVA and Student's t-test.

Scientific novelty. Exposure to T-2 toxin induced a significant activation of antioxidant enzymes, particularly in the liver, where SOD, CAT, and GP activities increased 1.5–1.7-fold ($p < 0.05$). In gills, a notable increase in SOD and GP

activity was observed, while in brain and skeletal muscles only a tendency to growth without statistical significance was recorded. Additionally, T-2 toxin exposure led to an accumulation of lipid peroxidation products: MDA levels rose by 70 % in liver and 47 % in gills, while DC increased by 45 % and 33 % respectively ($p < 0.05$). These findings highlight the development of oxidative stress and organ-specific responses to toxin exposure.

Conclusions. T-2 toxin at 2.0 $\mu\text{g/L}$ triggers enhanced lipid peroxidation and antioxidant defense activity in common carp, with the most pronounced alterations in the liver and gills. The organ-specific character of these changes underlines the sensitivity of biochemical markers of oxidative stress as indicators of toxic load in aquatic organisms. The results have practical importance for ecotoxicology and aquaculture, providing a basis for environmental monitoring, feed safety assessment, and preventive measures against mycotoxicosis in freshwater ecosystems.

Key words: common carp, T-2 toxin, lipid peroxidation, antioxidant enzymes, malondialdehyde, diene conjugates, oxidative stress

Вступ

Перикисне окиснення ліпідів (ПОЛ) є універсальним біохімічним процесом, що супроводжує метаболізм клітин і безпосередньо пов'язаний із функціонуванням антиоксидантних систем організму (Holovchak et al., 2012). У риб воно виконує важливу роль у підтриманні гомеостазу, оскільки продукти ПОЛ беруть участь у регуляції обміну речовин, сигнальних процесах і адаптації до зовнішніх факторів. Водночас надмірна активація цих реакцій має негативний вплив, зумовлюючи ушкодження клітинних мембран, порушення енергетичного обміну та зниження резистентності організму (Osoba, 2013). Антиоксидантна система, що включає ферментативні та неферментативні ланки, забезпечує динамічну рівновагу між утворенням вільних радикалів і їх нейтралізацією (Osoba & Hrytsyniak, 2010; Symonova et al., 2018).

Одним із найважливіших чинників, що порушують цей баланс, є мікотоксини – вторинні метаболіти грибів, які часто потрапляють у корми для риб (Kovalsky et al., 2016; Koletsy et al., 2021). Серед них Т-2 токсин належить до найбільш небезпечних завдяки вираженим цитотоксичним, імуносупресивним і гепатотоксичним властивостям (Błajet-Kosicka et al., 2024; Zhu et al., 2017; Zhang et al., 2019). Потрапляючи до організму риб, він спричиняє порушення обміну речовин, зниження імунної відповіді, розвиток окисного стресу та патологічні зміни у тканинах (Bashorun et al., 2023; Fornari et al., 2023). Дослідження свідчать, що мікотоксини здатні накопичуватися у м'язах та печінці риб, змінюючи біохімічні показники і викликаючи активацію процесів ПОЛ (Osoba, 2013; Polotnianko & Mekhed, 2023).

Актуальність проблеми посилюється глобальним характером мікотоксикологічної небезпеки, оскільки мікотоксин Т-2 справляє комплексний негативний вплив на гідробіонтів, проявляючись у зміні низки біохімічних показників (Mekhed, 2024). За даними міжнародних досліджень, корми для риб у багатьох регіонах світу мають багатоконпонентне забруднення мікотоксинами, що створює додаткові ризики для аквакультури (Gruber-Dorninger et al., 2025). Це ускладнює технологію вирощування, впливає на рибопродуктивність і якість рибної продукції, що особливо важливо з огляду на зростання потреб у безпечних продуктах харчування (Phudkliang et al., 2025).

Незважаючи на значний прогрес у вивченні впливу мікотоксинів на організм риб, специфічні механізми їх дії, зокрема участь у активації процесів пероксидного окиснення ліпідів у різних тканинах, залишаються недостатньо дослідженими. Особливо це стосується карася звичайного (*Carassius carassius*) – виду, що має екологічну та господарську цінність і часто використовується як модельний об'єкт у токсикологічних дослідженнях.

Мета роботи – з'ясувати інтенсивність перебігу процесів пероксидного окиснення ліпідів у тканинах карася звичайного (*Carassius carassius*) за впливу мікотоксину Т-2.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводили на дворічках карася звичайного (*Carassius carassius* L.), які були вирощені в умовах аквакультури. Експеримент тривав 14 діб. Рибу утримували у 200-літрових акваріумах за стандартних рибоводно-біологічних та гідрохімічних показників: рН $7,30 \pm 0,27$; вміст розчиненого кисню $5,6 \pm 0,4$ мг/дм³; температура води відповідала природній. Середня маса риби становила 200–300 г.

Використовували стандартний зразок Т-2 токсину TRILOGY (лот 231205-24145), до 05.2025, умови зберігання згідно паспорту на стандарт при температурі не вище 80 °С. Для експерименту сформували дві групи по 5 особин у кожній: контрольна група (КГ) – риба утримувалася без додавання мікотоксину; експериментальна група (ЕГ): рибі щоденно додавали Т-2 токсин у концентрації 2,0 мкг/л.

Після закінчення експерименту, на 14-ту добу, рибу гуманно умертвили шляхом декапітації, дотримуючись етичних принципів поводження з тваринами (World Medical Association, 2013). Для біохімічного аналізу відбирали зразки тканин печінки, зябер, мозку та скелетних м'язів.

Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) оцінювали за рівнем малонового діальдегіду (МДА) – як кінцевого продукту, та дієнових кон'югатів – як проміжного продукту (Osoba, 2013; Polotnianko & Mekhed, 2023). Оцінювали активність ключових антиоксидантних ферментів: супероксиддисмутази (СОД), каталази (КАТ) та глутатіонпероксидази (ГП). Визначення активності глутатіонредуктази засноване на вимірюванні швидкості окис-

лення NADPH, реєстрували спектрофотометрично по зменшенню оптичної густини при довжині хвилі 340 нм (Levadna et al., 1998). Активність каталази визначали згідно методичних рекомендацій (Ou & Wolf, 1994). Визначення активності СОД здійснювали згідно (Dotsenko et al., 2010) у модифікації (Kostiuk et al., 1990). Для розрахунку питомої активності ферментів визначали вміст загального білка в гомогенатах тканин за методом Лоурі (Lowry et al., 1951).

Отримані дані обробляли за допомогою програмного забезпечення Statistica 10.0 (StatSoft, США). Статистичну значущість відмінностей між групами перевіряли за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу та критерію Стюдента. Відмінності вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати дослідження та обговорення

Результати дослідження демонструють, що вплив Т-2 токсину спричинив виражену активацію ферментів антиоксидантного захисту, особливо в печінці та зябрах, що свідчить про високий рівень окисного стресу в цих тканинах (табл. 1).

Таблиця 1

Активність антиоксидантних ферментів у тканинах карася звичайного під впливом токсину Т-2 ($M \pm m$, $n=5$)

Тканина	Показника	Контрольна група	Експериментальна група
Печінка	СОД, Од/мг білка	$2,7 \pm 0,2$	$4,3 \pm 0,3^*$
	КАТ, ммоль H_2O_2 /хв·мг білка	$1,6 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,2^*$
	ГП, нмоль/хв·мг білка	$46,0 \pm 4,2$	$69,3 \pm 6,1^*$
Зябра	СОД, Од/мг білка	$1,9 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,2^*$
	КАТ, ммоль H_2O_2 /хв·мг білка	$0,9 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
	ГП, нмоль/хв·мг білка	$31,1 \pm 3,3$	$39,6 \pm 3,4^*$
Мозок	СОД, Од/мг білка	$1,3 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$
	КАТ, ммоль H_2O_2 /хв·мг білка	$0,7 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,1$
	ГП, нмоль/хв·мг білка	$23,0 \pm 2,0$	$28,4 \pm 2,4$
Скелетні м'язи	СОД, Од/мг білка	$0,9 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
	КАТ, ммоль H_2O_2 /хв·мг білка	$0,4 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,1$
	ГП, нмоль/хв·мг білка	$15,4 \pm 1,2$	$18,4 \pm 2,1$

Примітка: * – вірогідні відмінності порівняно з контролем, $p < 0,05$

У результаті дослідження встановлено, що вплив Т-2 токсину спричиняє активацію процесів пероксидного окиснення ліпідів у тканинах карася звичайного. Найбільш

виражені зміни спостерігалися у печінці, де активність СОД, КАТ та ГП зросла у 1,5–1,7 рази порівняно з контролем. Це узгоджується з даними про те, що печінка є

головним органом детоксикації та першою мішенню токсикантів у риб (Fornari et al., 2023).

У зябрах також виявлено підвищення активності СОД та ГП, що, ймовірно, пов'язано з безпосереднім контактом цієї тканини з водним середовищем та надходженням токсину через органи дихання (Holovchak et al., 2012). У мозку та скелетних м'язах відмічалися тенденції до зростання активності антиоксидантних ферментів, однак вони не досягали статистично значущих рівнів. Це може свідчити про меншу чутливість цих тканин до токсичної дії Т-2 у короткостроковій перспективі (Khomenchuk et al., 2018).

Отримані результати узгоджуються з попередніми повідомленнями щодо активації ПОЛ та антиоксидантних ферментів у риб за впливу мікотоксинів (Gruber-Dorninger et al., 2025). Водночас виявлені тканинні відмінності підтверджують, що дія Т-2 токсину є органоспецифічною та більшою мірою проявляється у печінці й зябрах. Це підкреслює значення цих органів як індикаторів токсичного навантаження.

Результати дослідження демонструють, що вплив Т-2 токсину спричинив зміни вмісту МДА та гідроперекисів в усіх досліджуваних тканинах, однак у різному ступені (табл. 2).

Таблиця 2

Активність антиоксидантних ферментів у тканинах карася звичайного під впливом токсину Т-2 ($M \pm m$, $n=5$)

Тканина	Показника	Контрольна група	Експериментальна група
Печінка	МДА, нмоль/мг білка	$2,1 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,3^*$
	ДК, ум. од./мг білка	$0,38 \pm 0,03$	$0,55 \pm 0,04^*$
Зябра	МДА, нмоль/мг білка	$1,5 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,2^*$
	ДК, ум. од./мг білка	$0,30 \pm 0,02$	$0,40 \pm 0,03^*$
Мозок	МДА, нмоль/мг білка	$1,2 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$
	ДК, ум. од./мг білка	$0,25 \pm 0,02$	$0,29 \pm 0,02$
Скелетні м'язи	МДА, нмоль/мг білка	$0,9 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
	ДК, ум. од./мг білка	$0,22 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,02$

Примітка: * – вірогідні відмінності порівняно з контролем, $p < 0,05$

За впливу Т-2 відмічено значуще підвищення продуктів ПОЛ у печінці та зябрах: рівень МДА зріс у $\sim 1,5$ – $1,7$ раза, а ДК – на 30–45 %. Це узгоджується з тим, що печінка є основним органом біотрансформації й детоксикації ксенобіотиків у риб, тоді як зябра зазнають безпосереднього контакту з водним середовищем і є входними «воротами» токсиканта (Holovchak et al., 2012). У мозку та скелетних м'язах спостерігається лише тенденція до зростання МДА та ДК без статистичної значущості, що може бути пов'язано з відносно кращим антиокси-

дантним буфером і/або нижчим тканинним навантаженням (Khomenchuk et al., 2018). Загалом, профіль змін відповідає літературним даним про посилення ПОЛ і окисного стресу у риб за дії мікотоксинів, зокрема за ураження печінки при споживанні контамінованих кормів (Fornari et al., 2023; Gruber-Dorninger et al., 2025).

Таким чином, результати дослідження показують, що вплив Т-2 токсину протягом 14 діб спричинив виражену активацію ферментів антиоксидантного захисту в тканинах карася, що свідчить про інтенсивний

окисний стрес в організмі. Ця реакція є ключовим захисним механізмом, спрямованим на нейтралізацію надлишку активних форм кисню.

Найбільш значущі зміни були зафіксовані в печінці. Це закономірно, оскільки печінка є головним органом детоксикації, де відбувається метаболізм та знешкодження ксенобіотиків. Активність СОД у цій тканині зросла більш ніж у півтора раза порівняно з контрольною групою, що свідчить про посилене перетворення супероксидних радикалів. Аналогічно, активність КАТ і ГП, що відповідають за подальшу нейтралізацію перекису водню, зросла приблизно на 56 % і 50% відповідно. Така синхронна активація всіх трьох ключових ферментів підтверджує, що печінка мобілізувала свої захисні ресурси для протидії токсичному впливу.

Важливо зазначити, що зябра, як перший і безпосередній бар'єр для токсичних речовин, що надходять з водного середовища, також демонструють значну реакцію. Активність СОД у зябрах зросла приблизно на третину, а ГП – на 26 %. Це вказує на ефективну адаптивну реакцію зябрового апарату на проникнення Т-2 токсину. Хоча активність КАТ не показала статистично значущого зростання, загальна картина вказує на потужну захисну відповідь.

Під дією мікотоксину Т-2 у тканинах коропа відбуваються значні зміни вмісту аденілових нуклеотидів (Matiushko & Mekhed, 2024), що свідчить про дестабілізацію енергетичного метаболізму клітин. Автори зазначають, що дисбаланс у системі аденінових нуклеотидів знижує енергетичну забезпеченість тканин, створюючи передумови для активації вільнорадикальних процесів, у тому числі й ПОЛ. Це підтверджує тісний взаємозв'язок між енергетичним статусом клітини та інтенсивністю окисних процесів.

На відміну від печінки та зябер, у мозку та скелетних м'язах значних змін не спостерігалось. Активність ферментів в цих тканинах залишалася відносно стабільною, без статистично значущих відхилень від контрольних значень. Це може свідчити про те, що бар'єри (наприклад, гематоенцефалічний) або інші механізми захисту

ефективно обмежують надходження токсину до цих тканин. Також можливо, що ці органи менш чутливі до впливу Т-2 токсину, або ж досліджувана концентрація є недостатньою для провокування вираженого окисного стресу в цих тканинах.

В цілому, отримані дані переконливо демонструють, що Т-2 токсин у концентрації 1,0 мкг/л спричиняє інтенсивний окисний стрес у тканинах карася, що проявляється як потужна, але вибіркова активація антиоксидантних ферментів.

Висновки

Встановлено, що вплив мікотоксину Т-2 у концентрації 2,0 мкг/л протягом 14 діб спричиняє виражену активацію процесів пероксидного окиснення ліпідів у тканинах карася звичайного (*Carassius carassius*). Найбільші зміни відбувалися у печінці, де активність супероксиддисмутази, каталази та глутатіонпероксидази зросла у 1,5–1,7 раза, що підтверджує ключову роль цього органа у детоксикації ксенобіотиків.

У зябрах також виявлено достовірне підвищення активності антиоксидантних ферментів, що свідчить про їх функцію як первинного бар'єра при надходженні токсиканта з водного середовища. У мозку та скелетних м'язах зафіксовано лише тенденції до зростання активності ферментів та рівня продуктів ПОЛ, без статистично значущих відмінностей, що може бути пов'язано з ефективністю захисних бар'єрів та меншою чутливістю цих тканин до Т-2 токсину.

Зміни вмісту малонового діальдегіду та дієнових кон'югатів підтверджують факт посилення окисного стресу у печінці та зябрах, де їх рівень перевищував контрольні значення на 30–70 %. Загалом, дія Т-2 токсину зумовлює розвиток інтенсивного окисного стресу, що проявляється органо-специфічно і може слугувати біохімічним маркером токсичного навантаження у водних екосистемах.

Отримані дані можуть бути використані для моніторингу стану рибогосподарських водойм і створення превентивних заходів щодо зниження ризиків мікотоксикозів у риборицтві.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка (No протоколу: 5, 3 жовтня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium" (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine)

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

Bashorun, A., Hassan, Z. U., Al-Yafei, M. A., and Jaoua, S. (2023). Fungal contamination and mycotoxins in aquafeed and tissues of aquaculture fishes and their biological control. *Aquaculture*, 576, 01–08. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739892>

Błajet-Kosicka, S., Turek, J. T., Szyper-Matiaszek, J. A., Szymański, R. W., Szołtysik, A., Mikołajczak, A., Kowalski, P., & Szymański, P. R. (2024). T-2 Toxin—The Most Toxic Trichothecene Mycotoxin: Metabolism, Toxicity, and Decontamination Strategies. *Toxins*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/toxins16010041>

Dotsenko, O. I., Dotsenko, V. A., & Mishchenko, A. M. (2010). Aktyvnist superoksyddysmutazy i katalazy v erytrotsyтах i deiakykh tkanynakh myshei v umovakh nyzkochastotnoi vibratsii. *Fizyka zhyvoho*, 18(1), 107–113. (in Ukrainian).

Доценко О. І., Доценко В. А., Міщенко А. М. Активність супероксиддисмутази і каталази в еритроцитах і деяких тканинах мишей в умовах низькочастотної вібрації. *Фізика живого*. 2010. Т. 18, № 1. С. 107–113.

Fornari, D.C., Peixoto, S., Ksepka, S.P., Bullard, S.A., Rossi, W., Nuzback, D.E., & Davis, D.A. (2023). Effects of dietary mycotoxins and mycotoxin adsorbent additives on production performance, hermatological parameters, and liver histology in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Frontiers in Animal Science*, 4, 1281722. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1281722>

Gruber-Dorninger, C., Müller, A., & Rosen, R. (2025). Multi-Mycotoxin Contamination of Aquaculture Feed: A Global Survey. *Toxins*, 17(3), 116. <https://doi.org/10.3390/toxins17030116>

Holovchak, N. P., Tarnovska, A. V., Kotsiumbas, H. I., & Sanahuskyi, D. I. (2012). Protsesy perekysnoho okysnennia lipidiv u zhyvykh orhanizмах: monohrafiia [Lipid peroxidation processes in living organisms: monograph]. Lviv: LNU imeni Ivana Franka, 252 p. (in Ukrainian)

Головчак Н. П., Тарновська А. В., Коцюмбас Г. І., Санагуський Д. І. Процеси перекисного окиснення ліпідів у живих організмах: монографія. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 252 с.

Khomenchuk, V. O., Rabcheniuk, O. O., Stanislavchuk, A. V., & Kurant, V. Z. (2018). Free radical lipid peroxidation in fish tissues under the action of ferrum (III). In *Modern problems of theoretical and practical ichthyology: Proceedings of the 11th Ichthyological Scientific and Practical Conference* (pp. 82–85). Lviv. (In Ukrainian)

Хоменчук В. О., Рабченко О. О., Станіславчук А. В., Курант В. З. Вільнорадикальне перекисне окиснення ліпідів у тканинах риб за дії феруму (III). Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології: матеріали XI іхтіологічної науково-практичної конференції (Львів, 18–20 вересня 2018 р.). Львів, 2018. С. 82–85.

Kolets, P., Schrama, J.W., Graat, E.A.M., Wiegertjes, G.F., Lyons, P., & Pietsch, C. (2021). The Occurrence of Mycotoxins in Raw Materials and Fish Feeds in Europe and the Potential Effects of Deoxynivalenol (DON) on the Health and Growth of Farmed Fish Species—A Review. *Toxins*, 13(6), 403. <https://doi.org/10.3390/toxins13060403>

Kostiuk, V. A., Potapovych, A. I., & Kovalova, Zh. V. (1990). Prostyi i chutlyvyi metod vyznachennia aktyvnosti superoksyddysmutazy, osnovanyi na reaktsii okysnennia kvvertsetynu. *Pytannia medychnoi khimii*, (2), 88–91. (in Ukrainian).

Костюк В. А., Потапович А. І., Ковальова Ж. В. Простий і чутливий метод визначення активності супероксиддисмутази, оснований на реакції окиснення кверцетину. *Питання медичної хімії*. 1990. № 2. С. 88–91.

Kovalsky, P., Kos, G., Nährer, K., Schwab, C., Jenkins, T., Schatzmayr, G., Sulyok, M., Krska, R. (2016). Co-occurrence of regulated, masked and emerging mycotoxins and secondary metabolites in finished feed and maize-an extensive survey. *Toxins*, 8, 363.

Levadna, O. V., Donchenko, H. V., Valutsyna, V. M., et al. (1998). Spivvidnoshennia mizh velychynamy aktyvnosti fermentiv antyoksydantnoi systemy v riznykh tkanynakh intaktnykh shchuriv. *Ukrainskyi biokhimichnyi zhurnal*, 70(6), 53–58. (in Ukrainian)

Левадна О. В., Донченко Г. В., Валуцина В. М. та ін. Співвідношення між величинами активності ферментів антиоксидантної системи в різних тканинах інтактних щурів. *Український біохімічний журнал*. 1998. Т. 70, № 6. С. 53–58.

Lowry, O., Rosebrough, N., Farr, A., & Randall, R. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193, 265–275. [https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(19\)52451-6/pdf](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(19)52451-6/pdf)

Matiushko, S., & Mekhed, O. (2024). Changes in the content of adenylates in carp tissues under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 78-83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5> (In Ukrainian).

Матюшко С., Мехед О. Зміни вмісту аденілатів в тканинах коропа за дії мікотоксину Т2. *Biota. Human. Technology*. 2024. № 3. С. 78-83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5>

Mekhed, O. B. (2024). Effect of T-2 mycotoxin on certain biochemical indicators of hydrobionts. Molluscs: results, problems and perspectives of research. Zhytomyr: Euro-Volyn, 19–21. (in Ukrainian). <https://tinyurl.com/4umjzxt5>

Мехед О. Б. Вплив мікотоксину Т2 на деякі біохімічні показники гідробіонтів. Молюски: результати, проблеми і перспективи досліджень. Житомир: Євро-Волинь, 2024. С. 19-21. <https://tinyurl.com/4umjzxt5>

Osoba, I. A. (2013). Biological role of lipid peroxidation in ensuring the functioning of fish organisms. *Fisheries Science of Ukraine*, (1), 87–96. Retrieved from <http://www.fishukr.org.ua> (In Ukrainian).

Особа І. А. Біологічна роль перекисного окиснення ліпідів у забезпеченні функціонування організму риб. *Рибогосподарська наука України*. 2013. № 1. С. 87–96. URL: <http://www.fishukr.org.ua>

Osoba, I. A., & Hrytsyniak, I. I. (2010). Activity of the non-enzymatic link of the antioxidant defense system in the liver of one-year-old scaly and mirror carp of Nesvytskyi zonal type. *Fisheries Science of Ukraine*, (3), 62–65. Retrieved from <http://www.fishukr.org.ua> (In Ukrainian).

Особа І. А., Грициняк І. І. Активність неферментативної ланки системи антиоксидантного захисту у печінці однорічок лускатих та рамчастих коропів несвицького зонального типу. *Рибогосподарська наука України*. 2010. № 3. С. 62–65. URL: <http://www.fishukr.org.ua>

Ou, P., & Wolf, S. P. (1994). Erythrocyte catalase inactivation (H₂O₂ production) by ascorbic acid and glucose in presence of aminotriazole: role of transition metals and relevance to diabetes. *Biochemical Journal*, 303, 935–940.

Phudkliang, J., Soonthornchai, W., Maele, L.V., Xu, H., Qi, Z., Lee, P.-T., Chantiratikul, A., & Wangkahart, E. (2025). Studies on the use of mycotoxin binders as an effective strategy to mitigate mycotoxin contamination in aquafeed: A case study in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 43, 102984. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102984>

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when fed T-2 toxin-contaminated feed. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv: Desna-Polihraf, 105–106. (in Ukrainian).

Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсиком. Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату. Чернігів : Десна-Поліграф. 2023. С. 105-106

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2024). Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 69-76. <https://doi.org/10.58407/bht.3.24.4>

Symonova, N. A., Mekhed, O. B., Kupchyk, O. Y., & Tretyak, O. P. (2018). Toxicants in the degradation of lipids in the organism of scaly carp. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4), 6-10.

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191-2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Zhang, L., Wang, J., Liu, R., Han, C., Li, X., Ding, J., Zhang, T., & Liu, J. (2019). T-2 Toxin: A Comprehensive Review on Its Occurrence, Toxicity, and Detoxification. *Toxins*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/toxins11030147>

Zhu, J., Wang, L., Fang, H., Zheng, X., Liu, J., Huang, Z., Wu, W., Yan, Q., Li, Y., & Wang, Y. (2017). Hepatotoxicity of T-2 toxin in HepG2 cells involves inhibition of cell proliferation, apoptosis, and mitochondrial injury. *Food and Chemical Toxicology*, 108, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.09.006>

Received: 06.09.2025. **Accepted:** 15.09.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Симонова Н. Інтенсивність перебігу процесів перекисного окиснення ліпідів у тканинах карася звичайного за впливу мікотоксину Т2. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 103–110. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.10>

Cite this article in APA style as:

Symonova, N. (2025). Intensyvnyist perebyhu protsesiv perekysnoho okysnennia lipidiv u tkanynakh karasia zvychainoho za vplyvu mikotoksynu T2 [Intensity of lipid peroxidation processes in carib tissues under the influence of mycotoxin T2]. *Biota. Human. Technology*, (3), 103–110. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.10> (in Ukrainian)

Information about the author:

Symonova N. [in Ukrainian: **СИМОНОВА Н.**], postgraduate, email: sna_1994@ukr.net
ORCID: 0009-0004-5544-3527

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium",
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

UDC 615.9+577.15]:577.1:57.044:597.55

DOI: 10.58407/bht.3.25.11



Copyright (c) 2025 Oleksandr Lukash, Nataliia Tkachuk, Viktor Yanchenko, Nataliia Novosad

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Олександр Лукаш, Наталія Ткачук,
Віктор Янченко, Наталія Новосад

**КСЕНОБІОТИКИ ТА ВТОРИННІ МЕТАБОЛІТИ МІКРОМІЦЕТІВ
ЯК ЧИННИКИ ЗМІН ЛІПІДНОГО ПРОФІЛЮ ТА ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ
В ТКАНИНАХ РИБ**



Oleksandr Lukash, Nataliia Tkachuk,
Viktor Yanchenko, Nataliia Novosad

**XENOBIOTICS AND SECONDARY METABOLITES
OF MICROMYCETES AS FACTORS OF CHANGES
IN THE LIPID PROFILE AND LIPID PEROXIDATION OF FISH TISSUES**

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Метою роботи є систематизація та узагальнення сучасних наукових відомостей про вплив ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів на ліпідний профіль та інтенсивність перекисного окиснення ліпідів у тканинах риб. Особлива увага приділена аналізу механізмів токсичної дії зазначених чинників, їхнього впливу на біохімічні процеси, а також можливим підходам зменшення негативного ефекту в умовах прісноводних екосистем.

Методологія. Огляд базується на комплексному аналізі публікацій у рецензованих наукових виданнях, монографіях та матеріалах конференцій за останні два десятиліття. Використано методи порівняльного аналізу, узагальнення та критичної оцінки результатів досліджень у галузі іхтіології, гідробіології та екоотоксикології. Особлива увага приділялася роботам, у яких вивчали склад ліпідів, показники перекисного окиснення та механізми токсичної дії ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів на гідробіонтів.

Наукова новизна. У роботі вперше в єдиному оглядовому форматі зібрано й систематизовано відомості про взаємозв'язок між накопиченням ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів та змінами ліпідного профілю і процесами перекисного окиснення у тканинах риб. Узагальнено сучасні уявлення про біохімічні маркери токсичної дії та наведено порівняльний аналіз результатів, отриманих у різних регіонах світу.

Висновки. Аналіз літературних джерел свідчить, що ксенобіотики та вторинні метаболіти мікроміцетів є одними з ключових чинників, здатних викликати глибокі порушення структурно-функціонального стану клітинних мембран риб, змінюючи їхній ліпідний склад, проникність та здатність підтримувати гомеостаз. Вплив цих сполук супроводжується активацією процесів перекисного окиснення ліпідів, що призводить до накопичення токсичних продуктів пероксидації, зниження адаптаційного потенціалу організму та погіршення фізіологічних функцій. Узагальнені дані свідчать, що токсичний ефект може мати як безпосередній (пряма взаємодія з клітинними структурами), так і опосередкований характер (через порушення роботи антиоксидантних систем та метаболічного балансу). Виявлені закономірності дозволяють сформулювати науково обґрунтовані підходи до моніторингу стану водних екосистем, у тому числі із застосуванням біохімічних маркерів ушкоджень, та розробити комплекс превентивних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу токсичних чинників на гідробіонтів. Перспективними напрямками подальших досліджень є поглиблений аналіз видоспецифічних відмінностей чутливості риб до ксенобіотиків та мікотоксинів, пошук ефективних біоремедіаційних технологій та впровадження інтегрованих екологічних програм для забезпечення сталого функціонування рибогосподарських водойм.

Ключові слова: ксенобіотики, мікроміцети, вторинні метаболіти, ліпідний профіль, перекисне окиснення ліпідів, політанти, склад ліпідів

ABSTRACT

Purpose of the work. The purpose of this work is to systematize and summarize current scientific knowledge on the effects of xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes on the lipid profile and the intensity of lipid peroxidation in fish tissues. Particular attention is paid to the analysis of the mechanisms of toxic action of these factors, their impact on biochemical processes, as well as possible approaches to reducing the negative effect in freshwater ecosystems.

Methodology. The review is based on a comprehensive analysis of publications in peer-reviewed scientific journals, monographs, and conference proceedings over the past two decades. Methods of comparative analysis, synthesis, and critical evaluation of research results in ichthyology, hydrobiology, and ecotoxicology were applied. Particular attention was given to studies examining lipid composition, lipid peroxidation indicators, and the mechanisms of toxic action of xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes on aquatic organisms.

Scientific novelty. This work is the first to compile and systematize data in a single review format on the relationship between the accumulation of xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes and changes in the lipid profile and lipid peroxidation processes in fish tissues. Current concepts of biochemical markers of toxic effects are summarized, and a comparative analysis of results obtained in different regions of the world is provided.

Conclusions. An analysis of the literature indicates that xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes are among the key factors capable of inducing profound disturbances in the structural and functional state of fish cell membranes, altering their lipid composition, permeability, and ability to maintain homeostasis. The impact of these compounds is accompanied by the activation of lipid peroxidation processes, leading to the accumulation of toxic peroxidation products, a reduction in the organism's adaptive potential, and deterioration of physiological functions. The summarized data suggest that the toxic effect may occur both directly (through direct interaction with cellular structures) and indirectly (through disruption of antioxidant systems and metabolic balance). The identified patterns provide a basis for scientifically grounded approaches to monitoring the state of aquatic ecosystems, including the use of biochemical damage markers, and for developing comprehensive preventive measures aimed at reducing the negative impact of toxic factors on aquatic organisms. Promising directions for future research include an in-depth analysis of species-specific differences in fish sensitivity to xenobiotics and mycotoxins, the search for effective bioremediation technologies, and the implementation of integrated environmental programs to ensure the sustainable functioning of fishery water bodies.

Key words: xenobiotics, micromycetes, secondary metabolites, lipid profile, lipid peroxidation, pollutants, lipid composition

Вступ

Водні екосистеми, особливо штучні водойми рибогосподарського призначення, постійно зазнають впливу комплексу антропогенних і природних чинників, які можуть негативно позначатися на фізіологічному стані гідробіонтів. Дослідження (Grubinko, 2005; Martsenyuk, 2019) підтверджують, що одним із ключових факторів такого впливу є ксенобіотики – хімічні сполуки, що не є природними компонентами біосфери, а також вторинні метаболіти мікроміцетів, зокрема мікотоксини, які потрапляють у водойми зі стічними водами або через забруднені корми (Polotnianko & Mekhed, 2023; Zhelai et al., 2023b).

Наявність цих чинників у водному середовищі формує комплексну токсикологічну загрозу, оскільки вони здатні прямо впливати на біохімічні процеси риб. Це зумовлює необхідність ретельного аналізу їхньої дії та пошуку підходів до зменшення негативного ефекту.

Таким чином, визначення ролі ксенобіотиків і мікотоксинів є ключовим завданням сучасних досліджень аквакультури та охорони довкілля.

Науковці приділяють особливу увагу механізмам токсичної дії цих сполук, їхньому впливу на біохімічні процеси та можливим методам мінімізації шкоди в умовах аквакультури.

За даними Gruber-Dorninger та співавт. (2025), серед мікотоксинів основними контамінантами рибних кормів у світовому масштабі є фумонізину, афлатоксин В1 та дезоксиніваленол.

Цей факт підкреслює глобальний характер проблеми, адже саме корми є головним джерелом потрапляння токсинів у організм риб. Унаслідок цього виникає не лише локальна, а й системна загроза для безпечності аквакультури.

Отже, дослідження токсичності кормових домішок має визначальне значення для сталого розвитку рибогосподарства.

Відомо, що дія ксенобіотиків і мікотоксинів призводить до змін метаболізму риб, зокрема до порушення ліпідного обміну та активації процесів перекисного окиснення ліпідів.

Як зазначають Holovchak et al. (2012) та Khomenchuk et al. (2018), ПОЛ є універсальним механізмом пошкодження клітинних мембран. Цей процес супроводжується утворенням активних форм кисню, втратою структурної цілісності мембран та накопиченням токсичних продуктів пероксидації (Osoba, 2013; Yatskiv & Tarnovska, 2014). Наслідком таких змін стає не лише порушення біохімічної рівноваги, а й зниження загальної життєздатності організму риб, що може призводити до масових втрат у рибному господарстві.

Це підтверджує, що вивчення окислювального стресу є ключем до розуміння механізмів токсичної дії мікотоксинів і ксенобіотиків.

Актуальність проблеми контамінації кормів мікотоксинами значно зросла з посиленням використання рослинної сировини в аквакультурі.

Kolets et al. (2021) підкреслюють, що саме рослинна сировина є найбільш уразливою до забруднення мікотоксинами. Серед них афлатоксин В1 визначено як один із найпоширеніших і найтоксичніших. За даними Liu et al. (2023), його дія може призводити до глибоких метаболічних порушень у риб, зокрема до змін ліпідного обміну, розвитку окислювального стресу, накопичення ліпідів у печінці та загального погіршення здоров'я.

Ці факти демонструють, що вплив мікотоксинів виходить за межі локальних проблем кормів і має системні наслідки для здоров'я риб.

Таким чином, питання безпечності кормової бази є одним із ключових для стабільності аквакультури та охорони прісноводних екосистем.

Незважаючи на значну кількість досліджень окремих аспектів цієї проблеми, відсутні узагальнюючі огляди, що комплексно висвітлюють взаємозв'язок між накопиченням ксенобіотиків, дією мікроміцетів та змінами ліпідного профілю й показників ПОЛ (перекисного окиснення ліпідів) у тканинах риб.

Систематизація наявних даних є необхідною для формування ефективних підходів до моніторингу стану рибогосподарських водойм. Вона також слугує підґрунтям для розробки практичних заходів зі зменшення негативного впливу токсичних чинників на організми риб.

У цьому контексті метою даної роботи є узагальнення сучасних наукових відомостей про вплив ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів на ліпідний профіль та інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів у тканинах риб. Особливий акцент зроблено на аналізі механізмів токсичної дії цих чинників, їхнього впливу на біохімічні процеси, а також на пошуку можливих підходів до мінімізації негативного ефекту в умовах прісноводних екосистем.

Це дозволяє забезпечити логічний зв'язок між теоретичними дослідженнями і практичними заходами у сфері екологічної безпеки аквакультури.

Матеріали та методи дослідження

Для підготовки тексту статті була проведена огляд інформаційних джерел у міжнародних наукових базах даних, включно з PubMed, Scopus та Web of Science. Огляд публікацій проводився за період 2000–2025 рр., із використанням ключових слів: «ксенобіотики», «вторинні метаболіти мікроміцетів», «ліпіди риб», «перекисне окиснення», «оксидативний стрес». Було застосовано логічні оператори AND та OR для комбінування термінів.

До огляду включались експериментальні та оглядові статті, що містили дані про вплив ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів на ліпідний профіль та рівень перекисного окиснення в тканинах риб. Відбирались публікації з повним текстом, опубліковані англійською, українською або російською мовами. Статті, що не стосувалися досліджуваної теми або не містили релевантних експериментальних даних, були виключені.

Інформація з відібраних джерел систематизувалась за такими параметрами: вид риб, тип тканин, тип ксенобіотика або вторинного метаболіту, методи оцінки ліпідного профілю та перекисного окиснення, результати та статистична обробка даних.

Результати дослідження та обговорення

У огляді було проаналізовано дослідження, присвячені впливу ксенобіотиків та вторинних метаболітів мікроміцетів на ліпідний профіль та перекисне окиснення в тканинах риб. Включені роботи охоплюють експерименти на різних видах риб із визначенням вмісту загальних ліпідів, основних ліпідних фракцій (фосфоліпіди, тригліцериди, холестерин) та показників окисного стресу, таких як малоновий діальдегід (МДА) і активність антиоксидантних ферментів (каталаза, супероксиддисмутаза).

У більшості досліджень тканини риб (печінка, м'язи, мозок) готували шляхом гомогенізації та центрифугування, після чого проводили спектрофотометричні або колориметричні аналізи для оцінки ліпід-

ного профілю та рівня перекисного окиснення. Статистична обробка даних виконувалась із використанням стандартних програмних пакетів і методів порівняння груп, а рівень значущості результатів приймався на рівні $p < 0,05$.

Аналіз наукових джерел свідчить, що ксенобіотики та вторинні метаболіти мікроміцетів чинять суттєвий вплив на ліпідний профіль (Yachna et al., 2019) і процеси перекисного окиснення в тканинах риб.

Як показують дослідження (Fotina et al., 2013; Grubinko, 2005a; Grubinko, 2005b), характер цих ефектів залежить від типу токсичної сполуки, її концентрації, тривалості експозиції та специфіки тканин. Найбільш чутливою до дії токсикантів виявляється печінка, оскільки вона є центральним органом метаболізму та детоксикації, тоді як м'язові та мозкові тканини риб демонструють менш виражені зміни (Holovchak et al., 2012; Khomenchuk et al., 2018).

Таке співвідношення чутливості органів пояснюється різним рівнем метаболічної активності та здатності до знешкодження токсичних речовин.

Отже, печінка є ключовим біомаркером для оцінки дії ксенобіотиків і мікотоксинів у дослідженнях риб.

Під впливом ксенобіотиків, таких як пестициди і важкі метали, відбуваються суттєві зміни у складі ліпідів рибних тканин.

Доведено, що у печінці та м'язах підвищується вміст тригліцеридів і холестерину, водночас знижується рівень фосфоліпідів у клітинних мембранах (Musiyenko et al., 2005; Osoba, 2013). Ці зміни супроводжуються деградацією мембранних структур і зростанням чутливості клітин до окисного стресу. Доказом цього є підвищення рівня малонового діальдегіду у тканинах (Khomenchuk et al., 2018; Klymenko & Hasso, 2011).

Таким чином, можна стверджувати, що ксенобіотики запускають ланцюгову реакцію порушень, яка охоплює як структурні, так і біохімічні зміни клітин.

Це підкреслює важливість дослідження не лише прямих, а й вторинних наслідків токсичної дії.

Вторинні метаболіти мікроміцетів, зокрема мікотоксин Т-2, також спричиняють глибокі порушення ліпідного обміну.

Дані свідчать, що такі токсини знижують синтез фосфоліпідів та стимулюють

накопичення холестерину, що веде до втрати структурної цілісності клітинних мембран (Matiushko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2023). Крім того, відзначено активацію антиоксидантних механізмів, зокрема ферментів каталази (CAT) і супероксиддисмутази (SOD), які виступають компенсаторною відповіддю на розвиток окисного стресу (Osoba & Hrytsyniak, 2010; Yatskiv & Tarnovska, 2014).

Ці результати показують, що дія мікотоксинів має подвійний ефект: вони не лише ушкоджують клітинні структури, але й провокують адаптаційні реакції.

Тому дослідження антиоксидантної відповіді є необхідним для розуміння механізмів стійкості риб до токсичного навантаження.

Важливим аспектом є тривалий вплив навіть низьких доз токсичних сполук, що призводить до кумулятивних змін у тканинах.

Роботи Martseniuk et al. (2018), Martsenyuk (2019) та Symonova et al. (2018) демонструють, що у таких умовах поступово накопичуються порушення ліпідного обміну та зростає активність ферментів антиоксидантного захисту, насамперед у печінці, а меншою мірою – у м'язах і мозку. Ці зміни інтерпретуються як прояв адаптаційних механізмів, спрямованих на підтримку гомеостазу й мінімізацію токсичного впливу (Grubinko, 2005b; Nikolaenko et al., 2023).

Таким чином, навіть незначні концентрації ксенобіотиків і мікотоксинів у довкіллі становлять ризик, оскільки їхній ефект накопичується з часом (Yatsenko et al., 2005).

Це підтверджує необхідність постійного моніторингу та превентивних заходів у сфері аквакультури.

Отже, узагальнені дані свідчать, що ксенобіотики та вторинні метаболіти мікроміцетів є ключовими чинниками порушень ліпідного профілю та активації процесів перекисного окиснення у риб.

Основні зміни включають підвищення рівня тригліцеридів і холестерину, зниження фосфоліпідів, зростання МДА та посилення активності антиоксидантних ферментів. Це має вирішальне значення як для оцінки фізіологічного стану риб, так і для визначення рівня екологічної безпеки водних екосистем (Matiushko & Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Zhelai et al., 2023a; Zhelai et al., 2023b).

Таким чином, систематизація цих результатів дозволяє не лише описати механізми токсичної дії, а й сформувати підґрунтя для практичних підходів до охорони рибогосподарських водойм.

Нижче наведена узагальнююча таблиця основних змін ліпідного профілю та процесів перекисного окиснення у тканинах риб під впливом ксенобіотиків і мікотоксинів.

Таблиця 1

Основні зміни ліпідного профілю та перекисного окиснення у тканинах риб під впливом ксенобіотиків і мікотоксинів

Тип сподуки	Тканина	Зміни ліпідного профілю	ПОЛ	
			Рівень перекисного окиснення (МДА)	Активність антиоксидантних ферментів
Ксенобіотики (пестициди, важкі метали)	Печінка	↑ Тригліцериди, ↑ Холестерин, ↓ Фосфоліпіди	Підвищується	↑ CAT, ↑ SOD
Ксенобіотики	М'язи	↑ Тригліцериди, незначні зміни фосфоліпідів	Підвищується	↑ CAT, ↑ SOD
Вторинні метаболіти мікроміцетів (мікотоксин Т-2)	Печінка	↓ Фосфоліпіди, ↑ Холестерин	Підвищується	↑ CAT, ↑ SOD
Вторинні метаболіти мікроміцетів	М'язи	Незначні зміни ліпідів	Підвищується	↑ CAT, ↑ SOD

Примітка: ↑ — підвищення, ↓ — зниження; дані узагальнені за літературними джерелами (Fotina et al., 2013; Grubinko, 2005a; Grubinko, 2005b; Holovchak et al., 2012; Khomenchuk et al., 2018; Musiyenko et al., 2005; Osoba, 2013; Matiushko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2023; Zhelai et al., 2023a; Zhelai et al., 2023b).

Для відображення впливу ксенобіотиків та вторинних метаболітів мікроміцетів на тканини риб було розроблено схему, яка демонструє основні зміни ліпідного профілю, рівень перекисного окиснення та активність ферментів-антиоксидантів у печінці та м'язах. Схема дозволяє узагаль-

нити дані літературних джерел і підкреслити тканинну специфіку та механізми адаптаційних відповідей організму риб на токсичні чинники (Fotina et al., 2013; Grubinko, 2005a; Matiushko & Mekhed, 2024; Zhelai et al., 2023a).



Рис. 2. Вплив ксенобіотиків та мікотоксину Т-2 на ліпідний профіль та процеси перекисного окиснення у тканинах риб

Отримані нами результати підтверджують висновки інших дослідників, які також відзначали негативний вплив мікотоксинів на ліпідний профіль риб. Зокрема, дослідження на гібридному групі показали, що афлатоксин В1 порушує метаболізм ліпідів та спричиняє їх накопичення у печінці (Liu et al., 2023). Враховуючи ці дані, для зменшення негативного впливу мікотоксинів можуть бути застосовані спеціальні кормові добавки. Наприклад, використання мікотоксинових зв'язувачів (MTB) сприяє зв'язуванню токсинів у шлунково-кишковому тракті риб, зменшуючи їх біодоступність (Phudkliang et al., 2025). Дослідження на нільській тілапії показали, що додавання до раціону адсорбентів, зокрема цеоліту, значно покращує активність антиоксидантних ферментів, підвищуючи загальну стійкість організму риб (Fornari et al., 2023). На основі аналізу літературних джерел і розробленої схеми можна зробити узагальнення щодо впливу токсичних чинників на ліпідний обмін і процеси перекисного окиснення у тканинах риб.

Дані свідчать, що ксенобіотики, зокрема пестициди та важкі метали, суттєво змінюють ліпідний метаболізм у печінці та м'язах. У цих тканинах спостерігається підвищення вмісту тригліцеридів і холестерину, зниження кількості фосфоліпідів, а також активація антиоксидантних ферментів – каталази та супероксиддисмутази, що виступає захисним механізмом клітин.

Такі результати демонструють, що навіть на базовому рівні клітинних процесів відбувається комплексне порушення, яке вимагає мобілізації адаптаційних резервів організму.

Таким чином, ксенобіотики не лише порушують структуру мембран, але й запускають механізми антиоксидантного захисту, що підтверджує складність їхньої дії.

Вторинні метаболіти мікроміцетів, зокрема мікотоксин Т2, чинять подібний, але більш виражений вплив на ліпідний обмін риб. Дослідження вказують, що вони пригнічують синтез фосфоліпідів у печінці, спричиняючи значне посилення структурних порушень клітинних мембран. Цей ефект супроводжується накопиченням холестерину і додатковими зрушеннями у балансі ліпідів.

Отже, мікотоксини створюють глибший рівень метаболічного дисбалансу, ніж класичні ксенобіотики, і формують загрозу стабільності гомеостазу печінкових клітин.

Це підкреслює необхідність їхнього врахування при оцінці безпеки кормової бази та стану водойм.

Важливою характеристикою є тканинна специфічність дії ксенобіотиків і мікотоксинів.

Печінка зазнає найбільш виражених порушень через свою функціональну роль як центрального органу метаболізму та детоксикації. М'язові тканини, навпаки, демонструють менш значні зміни, що відображає їхню відносно нижчу метаболічну активність і здатність до адаптації.

Таким чином, спостереження різного рівня чутливості між тканинами дозволяє пояснити механізми вибіркової токсичної дії. Це знання може бути використане для розробки цільових методів моніторингу стану риб.

Узагальнені дані свідчать, що токсичні сполуки викликають комплексні зміни ліпідного профілю та процесів перекисного окиснення, які є ключовими механізмами адаптаційної та компенсаторної відповіді риб.

До таких змін належать підвищення рівня тригліцеридів і холестерину, зниження фосфоліпідів, активація антиоксидантних ферментів, а також порушення цілісності мембранних структур (Osoba, 2013; Matiushko & Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Zhelai et al., 2023b). Всі ці явища вказують на взаємозв'язок між токсичними чинниками та окисними процесами у клітинах риб.

Таким чином, запропонована схема змін ліпідного профілю та перекисного окиснення дозволяє наочно відобразити складність і багаторівневність токсичної дії, підкреслюючи значення системного моніторингу та оцінки екологічного стану водних екосистем.

Висновки

Аналіз літературних джерел свідчить, що ксенобіотики та вторинні метаболіти мікроміцетів є одними з ключових чинників, здатних викликати глибокі порушення структурно-функціонального стану клітинних мембран риб, змінюючи їхній ліпідний склад, проникність та здатність підтри-

мувати гомеостаз. Вплив цих сполук супроводжується активацією процесів перекисного окиснення ліпідів, що призводить до накопичення токсичних продуктів пероксидації, зниження адаптаційного потенціалу організму та погіршення фізіологічних функцій. Узагальнені дані свідчать, що токсичний ефект може мати як безпосередній (пряма взаємодія з клітинними структурами), так і опосередкований характер (через порушення роботи антиоксидантних систем та метаболічного балансу). Виявлені закономірності дозволяють сформулювати науково обґрунтовані підходи до

моніторингу стану водних екосистем, у тому числі із застосуванням біохімічних маркерів ушкоджень, та розробити комплекс превентивних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу токсичних чинників на гідробіонтів. Перспективними напрямками подальших досліджень є поглиблений аналіз видоспецифічних відмінностей чутливості риб до ксенобіотиків та мікотоксинів, пошук ефективних біоремедіаційних технологій та впровадження інтегрованих екологічних програм для забезпечення сталого функціонування рибогосподарських водойм.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflicts of Interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Fotina, T. I., Berezovsky, A. V., Petrov, R. V., & others. (2013). Veterinary examination of fish, sea mammals and invertebrates. Vinnytsia: New Book. 120 p.
- Fornari, D.C., Peixoto, S., Ksepka, S.P., Bullard, S.A., Rossi, W., Nuzback, D.E., & Davis, D.A. (2023). Effects of dietary mycotoxins and mycotoxin adsorbent additives on production performance, hematological parameters, and liver histology in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Frontiers in Animal Science*, 4, 1281722.
- Gruber-Dorninger, C., Müller, A., & Rosen, R. (2025). Multi-Mycotoxin Contamination of Aquaculture Feed: A Global Survey. *Toxins*, 17(3), 116.

Grubinko, V. V. (2005a). Integral assessment of toxic damage in biological systems. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, (3), 111-114. (In Ukrainian).

Грубінко В.В. Інтегральна оцінка токсичного ураження у біологічних системах. Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. 2005. № 3. С. 111–114.

Grubinko, V. V. (2005b). Systemic assessment of metabolic adaptations in hydrobionts. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, (2), 36-39. (In Ukrainian).

Грубінко В.В. Системна оцінка метаболічних адаптацій у гідробіонтів. Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. 2005. № 2. С. 36–39.

Holovchak, N. P., Tarnovska, A. V., Kotsiumbas, H. I., & Sanahuskyi, D. I. (2012). *Lipid peroxidation processes in living organisms: Monograph*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv. (In Ukrainian).

Головчак Н. П., Тарновська А. В., Коцюмбас Г. І., Санагуський Д. І. Процеси перекисного окиснення ліпідів у живих організмах: монографія. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 252 с.

Khomenchuk, V. O., Rabcheniuk, O. O., Stanislavchuk, A. V., & Kurant, V. Z. (2018). Free radical lipid peroxidation in fish tissues under the action of ferrum (III). In *Modern problems of theoretical and practical ichthyology: Proceedings of the 11th Ichthyological Scientific and Practical Conference* (pp. 82–85). Lviv. (In Ukrainian).

Хоменчук В. О., Рабченко О. О., Станіславчук А. В., Курант В. З. Вільнорадикальне перекисне окиснення ліпідів у тканинах риб за дії феруму (III). Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології: матеріали XI іхтіологічної науково-практичної конференції (Львів, 18–20 вересня 2018 р.). Львів, 2018. С. 82–85.

Klymenko, O. Yu., & Hasso, V. Ya. (2011). Intensity of lipid peroxidation processes in the sand lizard from ecosystems with different levels of transformation. In *Biodiversity and the role of animals in ecosystems: Proceedings of the 6th International Scientific Conference* (pp. 292–294). Dnipropetrovsk: DNU Publishing. (In Ukrainian).

Клименко О. Ю., Гасо В. Я. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів у прудкої ящірки з екосистем різного рівня трансформації. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали VI Міжнародної наукової конференції. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2011. С. 292–294.

Kolets, P., Schrama, J.W., Graat, E.A.M., Wiegertjes, G.F., Lyons, P., & Pietsch, C. (2021). The Occurrence of Mycotoxins in Raw Materials and Fish Feeds in Europe and the Potential Effects of Deoxynivalenol (DON) on the Health and Growth of Farmed Fish Species—A Review. *Toxins*, 13(6), 403.

Liu, H., Xie, R., Huang, W., Yang, Y., Zhou, M., Lu, B., Li, B., Tan, B., & Dong, X. (2023). Negative effects of aflatoxin B1 (AFB1) in the diet on growth performance, protein and lipid metabolism, and liver health of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* *Epinephelus lanceolatus*). *Aquaculture Reports*, 33, 101779.

Martseniuk, V. M., Potrokhov, O. S. & Zinkovskiy, O. G. (2018). Energy metabolism in organs and tissues of perch *Perca fluviatilis* under changes of water temperature. *Hydrobiological Journal*, 54(4), 85–94.

Martsenyuk, V. M. (2019). Features of regulation of energy supply for the adaptation of fish to the influence of abiotic and anthropogenic factors. PhD dissertation in ichthyology. Hydrobiology Institute, NAS of Ukraine, Kyiv. 225(In Ukrainian).

Марценюк В.М. Особливості регуляції енергозабезпечення адаптації риб до дії абіотичних та антропогенних чинників. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 03.00.10 «Іхтіологія». Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2019. 225 с.

Matiushko, S., & Mekhed, O. (2024). Changes in the content of adenylates in carp tissues under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 78-83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5> (In Ukrainian).

Матюшко С., Мехед О. Зміни вмісту аденілатів в тканинах коропа за дії мікотоксину Т2. *Biota. Human. Technology*. 2024. № 3. С. 78-83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5>

Mekhed, O. B. (2024). Effect of T-2 mycotoxin on certain biochemical indicators of hydrobionts. Molluscs: results, problems and perspectives of research. Zhytomyr: Euro-Volyn, 19–21. (in Ukrainian). <https://tinyurl.com/4umjzxt5>

Мехед О. Б. Вплив мікотоксину Т2 на деякі біохімічні показники гідробіонтів. Молюски: результати, проблеми і перспективи досліджень. Житомир: Євро-Волинь, 2024. С. 19-21. <https://tinyurl.com/4umjzxt5>

Musiyenko, N. H., Zhidenko, A. O., Mekhed, O. B., & Kovalenko, O. M. (2005). Impact of pesticides on morphological indicators of carp. *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology*, 3(26), 319–321. (in Ukrainian). <https://tinyurl.com/279a3azx>

Мусяненко Н.Г., Жиденко А.О., Мехед О.Б., Коваленко О.М. Вплив пестицидів на морфологічні показники коропа. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2005. №3 (26). С.319-321. <https://tinyurl.com/279a3azx>

Nikolaenko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptive changes in blood indicators of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) in response to water pollution. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv: Desna-Polihrav, 99–100. (in Ukrainian).

Ніколаєнко Т., Іващенко М., Іващенко Н., Мехед О. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату. Десна-Поліграф. 2023. С. 99-100

Osoba, I. A. (2013). Biological role of lipid peroxidation in ensuring the functioning of fish organisms. *Fisheries Science of Ukraine*, (1), 87–96. Retrieved from <http://www.fishukr.org.ua> (In Ukrainian).

Особа І. А. Біологічна роль перекисного окиснення ліпідів у забезпеченні функціонування організму риб. *Рибогосподарська наука України*. 2013. № 1. С. 87–96. URL: <http://www.fishukr.org.ua>

Osoba, I. A., & Hrytsyniak, I. I. (2010). Activity of the non-enzymatic link of the antioxidant defense system in the liver of one-year-old scaly and mirror carp of Nesvytskyi zonal type. *Fisheries Science of Ukraine*, (3), 62–65. Retrieved from <http://www.fishukr.org.ua> (In Ukrainian).

Особа І. А., Грициняк І. І. Активність неферментативної ланки системи антиоксидантного захисту у печінці однорічок лускатих та рамчастих карпів несвицького зонального типу. *Рибогосподарська наука України*. 2010. № 3. С. 62–65. URL: <http://www.fishukr.org.ua>

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when fed T-2 toxin-contaminated feed. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv: Desna-Polihrav, 105–106. (in Ukrainian).

Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсиком. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. Чернігів : Десна-Поліграф. 2023. С. 105-106

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2024). Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 69-76. <https://doi.org/10.58407/bht.3.24.4>

Phudkliang, J., Soonthornchai, W., Maele, L.V., Xu, H., Qi, Z., Lee, P.-T., Chantiratikul, A., & Wangkahart, E. (2025). Studies on the use of mycotoxin binders as an effective strategy to mitigate mycotoxin contamination in aquafeed: A case study in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 43, 102984.

Symonova, N. A., Mekhed, O. B., Kupchyk, O. Y., & Tretyak, O. P. (2018). Toxicants in the degradation of lipids in the organism of scaly carp. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4), 6-10.

Yatsenko, I. V., Bohatko, N. M., Bulgakova, N. V. et al. (2017). Hygiene and expertise of food hydro-bionts and their processing products. Part 1. Hygiene and expertise of fishery products: A textbook. Kharkiv.

Yatskiv, O., & Tarnovska, A. (2014). Intensity of lipid peroxidation processes in weatherfish embryos under the influence of calcium and magnesium cations. *Visnyk of Lviv University. Biological Series*, (68), 101–108. (In Ukrainian).

Яцків О., Тарновська А. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів у зародках в'юна за впливу катіонів кальцію та магнію. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2014. Вип. 68. С. 101–108.

Yachna, M. G., Mekhed, O. B., Tretyak, O. P., & Yakovenko, B. V. (2019). Phospholipid content in tissues of scaly carp (*Cyprinus carpio* L.) under the influence of sodium lauryl sulfate-containing and phosphate-free synthetic detergents. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, (2) 76, 48–52. (In Ukrainian).

Ячна М. Г., Мехед О. Б., Третяк О. П., Яковенко Б. В. Вміст фосфоліпідів у тканинах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за дії натрій лаурилсульфатвмісного та безфосфатного синтетичних миючих засобів. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія*. 2019, № 2 (76). С.48–52.

Zhelai, M. V., Polotnianko, L. V., Yachna, M. H., Mekhed, O. B., & Tretyak, O. P. (2023a). Impact of T-2 mycotoxin on ichthyological indicators of carp fish. *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology*, 84(1), 35–40. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.1.5> (in Ukrainian).

Желай М. В., Полотнянко Л. В., Ячна М. Г., Мехед О. Б., Третяк О. П. Вплив мікотоксину Т2 на іхтіологічні показники коропових риб. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2023. Т. 84, №1. С. 35–40 <https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.1.5>

Zhelai, M., Yachna, M., Mekhed, O., & Tretyak, O. (2023b). Adaptive changes in ichthyological indicators of carp fish under the influence of T-2 mycotoxin. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv: Desna-Polihrav, 77–78. (in Ukrainian).

Желай М., Ячна М., Мехед О., Третяк О. Адаптивні зміни іхтіологічних показників коропових риб за дії мікотоксину Т2. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. Чернігів : Десна-Поліграф. 2023. С. 77–78.

Received: 26.08.2025.**Accepted:** 21.09.2025.**Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Лукаш О., Ткачук Н., Янченко В., Новосад Н. Ксенобіотики та вторинні метаболіти мікро-міцетів як чинники змін ліпідного профілю та перекисного окиснення в тканинах риб. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.11>

Cite this article in APA style as:

Lukash, O., Tkachuk, N., Yanchenko, V., & Novosad, N. (2025). Ksenobiotyky ta vtorynni metabolity mikromitsetiv yak chynnyky zmin lipidnoho profilu ta perekysnoho okysnennia v tkanynakh ryb [Xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes as factors of changes in the lipid profile and lipid peroxidation of fish tissues]. *Biota. Human. Technology*, (3), 111–121. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.11> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Lukash O. [*in Ukrainian: Лукаш О.*]¹, D.Sc. (Biology), Prof., email: lukash2011@ukr.net

ORCID: 0000-0003-2702-6430 Scopus-Author ID: 57202369398

Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tkachuk N. [*in Ukrainian: Ткачук Н.*]², PhD (Biology), Assoc. Prof., email: nataliia.smykun@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5115-7716 Scopus-Author ID: 7801574248 ResearcherID: AAB-4448-2020

Department of Biology, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium",
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Yanchenko V. [*in Ukrainian: Янченко В.*]³, PhD (Pharmacy), Assoc. Prof., email: v.o.yanchenko@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6727-4124 Scopus-Author ID: 6602531355 ResearcherID: AAC-9900-2020

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Novosad N. [*in Ukrainian: Новосад Н.*]⁴, PhD (Biology), Assoc. Prof., email: novosadnata@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5993-9870 Scopus-Author ID: 57469575300

Department of Physiology, Immunology and Biochemistry with the Course in Civil Defense and Medicine,
Zaporizhzhia National University,
66 Universytetska Street, Zaporizhzhia, 69600, Ukraine

¹ Study design, manuscript preparation.

² Manuscript preparation, data collection.

³ Manuscript preparation, data collection.

⁴ Manuscript preparation.

UDC 611.18:[597.4/.5+599]:615.099:616-002.828

DOI: 10.58407/bht.3.25.12



Copyright (c) 2025 Lidiia Polotnianko

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Лідія Полотнянко

ПОРІВНЯЛЬНА ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА М'ЯЗОВИХ ТКАНИН РИБ ТА ССАВЦІВ, КОНТАМІНОВАНИХ АФЛАТОКСИНОМ В₁, ЗА ІНДИКАТОРНОЮ КУЛЬТУРОЮ *TETRAHYMENA PYRIFORMIS*



Lidiia Polotnianko

COMPARATIVE TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF MUSCLE TISSUES OF FISH AND MAMMALS CONTAMINATED WITH AFLATOXIN B₁, USING AN INDICATOR CULTURE *TETRAHYMENA PYRIFORMIS*

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідження спрямоване на порівняння ступеня токсичності м'язових тканин риб і ссавців, штучно контамінованих афлатоксином В₁, із застосуванням культури інфузорій *Tetrahymena pyriformis* як біоіндикатора та визначенню токсикологічних особливостей м'язової тканини риб та необхідності коригування нормативів максимально допустимого рівня (МДР) афлатоксину у рибопродуктах.

Методологія. В експерименті використовували наважки гомогенізованих м'язів риби та свинини, у які вносили афлатоксин В₁ у концентраціях, що відповідали 1 та 2 МДР для м'яса. Як тест-об'єкт застосовували 3–5-денну культуру інфузорій *T. pyriformis*, яку інкубували протягом 48 годин. Оцінювання токсичності проводили за морфологічними та фізіологічними показниками тест-організмів (кількість клітин, наявність клітин у стані поділу, рухливість та характер рухів, ступінь деформації). Контрольні зразки включали м'язи без токсину та фізіологічний розчин.

Наукова новизна. Вперше здійснено пряме порівняння токсичності м'язової тканини риб і теплокровних тварин, контамінованих афлатоксином В₁, на індикаторній культурі інфузорій. Встановлено, що при двократному перевищенні МДР м'язи риби не демонструють токсичності середнього ступеня, яка спостерігається у зразках свинини. Це може свідчити про відмінності у метаболічній стабільності та зв'язуванні афлатоксину білками різного амінокислотного складу.

Висновки. Результати дослідження показали, що м'язи теплокровних тварин за умов двократного перевищення МДР афлатоксину В₁ є потенційно небезпечними з точки зору хронічного отруєння, тоді як аналогічні показники у рибних тканинах такої токсичності не проявляють. Це дозволяє зробити припущення, що гранично допустимий рівень афлатоксину В₁ у рибопродуктах може бути вищим, ніж у м'ясі ссавців. Отримані дані підкреслюють необхідність подальших досліджень щодо регламентації вмісту мікотоксинів у рибній продукції та їх впливу на безпеку харчового ланцюга. Виявлені відмінності у прояві токсичності між рибою та ссавцями свідчать про видоспецифічні особливості взаємодії афлатоксину В₁ з білками м'язової тканини, що, ймовірно, зумовлено різним амінокислотним складом та метаболічними процесами. На основі результатів можна припустити, що чинні нормативи максимально допустимого рівня афлатоксину В₁ для рибної продукції є надмірно консервативними у разі їхнього прямого узгодження зі стандартами для м'яса теплокровних тварин.

Ключові слова: афлатоксин В₁, токсичність, риба, ссавці, м'язові тканини, *Tetrahymena pyriformis*, харчова безпека

ABSTRACT

Purpose of the work. The study is aimed at comparing the degree of toxicity of muscle tissues of fish and mammals artificially contaminated with aflatoxin B₁, using the culture of the ciliate *Tetrahymena pyriformis* as a bioindicator and determining the toxicological features of fish muscle tissue and the need to adjust the standards for the maximum permissible level (MRL) of aflatoxin in fish products.

Methodology. The experiment used samples of homogenized fish and pork muscles, into which aflatoxin B₁ was added in concentrations corresponding to 1 and 2 MRLs for meat. A 3–5-day culture of the ciliate *T. pyriformis* was used as a test object, which was incubated for 48 hours. Toxicity was assessed by morphological and physiological indicators of test organisms (number of cells, presence of cells in a state of division, mobility and nature of movements, degree of deformation). Control samples included toxin-free muscles and saline.

Scientific novelty. For the first time, a direct comparison of the toxicity of muscle tissue of fish and warm-blooded animals contaminated with aflatoxin B1 was carried out on an indicator culture of ciliates. It was found that at a two-fold excess of the MDR, fish muscles do not demonstrate the moderate toxicity observed in pork samples. This may indicate differences in metabolic stability and binding of aflatoxin by proteins of different amino acid composition.

Conclusions. The results of the study showed that the muscles of warm-blooded animals at a two-fold excess of the MDR of aflatoxin B1 are potentially dangerous in terms of chronic poisoning, while similar indicators in fish tissues do not show such toxicity. This allows us to assume that the maximum permissible level of aflatoxin B1 in fish products may be higher than in mammalian meat. The data obtained highlight the need for further research on the regulation of mycotoxin content in fish products and their impact on the safety of the food chain. The outcomes of the research highlight the importance of re-evaluating existing food safety regulations with regard to mycotoxins in aquatic organisms. Considering the widespread role of fish in global nutrition, establishing scientifically justified permissible levels of aflatoxin B1 in fish products is crucial for ensuring both consumer safety and the rational use of food resources. Ultimately, such studies contribute to the broader understanding of food chain toxicology and help mitigate potential public health risks associated with hidden mycotoxin contamination. The differences in toxicity between fish and mammals indicate species-specific features of the interaction of aflatoxin B1 with muscle proteins, which is likely due to different amino acid composition and metabolic processes. Based on the results, it can be assumed that the current standards for the maximum permissible level of aflatoxin B1 for fish products are overly conservative if they are directly aligned with the standards for meat of warm-blooded animals.

Key words: aflatoxin B1, toxicity, fish, mammals, muscle tissue, *Tetrahymena pyriformis*, food safety

Вступ

Серед контамінантів харчових продуктів, що становлять значну небезпеку для здоров'я людини і тварин, особливе місце займають мікотоксини – вторинні метаболіти грибів роду *Aspergillus*, *Fusarium* та інших (Fotina et al., 2013; Yatsenko et al., 2017). Одним із найбільш токсичних та поширених є афлатоксин В1, відомий своїми гепатотоксичними та канцерогенними властивостями (Pickova et al., 2021). Його наявність у харчовому ланцюзі, зумовлена як прямим контамінуванням продуктів, так і опосередкованим накопиченням у тканинах тварин і риби, є важливою проблемою ветеринарної та медичної токсикології (Kovalsky et al., 2016; Koletsy et al., 2021; Gruber-Dorninger et al., 2025).

Вплив мікотоксинів на водних організмів останніми роками активно досліджується (Kovalsky et al., 2016; Koletsy et al., 2021; Gruber-Dorninger et al., 2025; Nikolaenko et al., 2023; Polotnianko & Mekhed, 2023), оскільки рибні ресурси становлять значну частину раціону людини та є стратегічно важливим об'єктом продовольчої безпеки (Gruber-Dorninger et al., 2025; Fornari et al., 2025). Доведено, що забруднення середовища та кормів токсинами спричиняє зміни у крові та метаболічних процесах корошових риб, а також впливає на накопичення токсичних сполук у м'язових тканинах (Shkurko et al., 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024). Це створює ризики не лише для

здоров'я риб, але й для безпеки кінцевого споживача.

Наукова література свідчить, що токсичність мікотоксинів у м'язах риби та ссавців може мати відмінний характер, що обумовлюється специфікою білкового складу м'язів, особливостями метаболізму та швидкістю виведення шкідливих сполук (Yatsenko et al., 2017). Проте питання визначення відмінностей у ступені токсичності афлатоксину В1 при його надходженні в організм риб і теплокровних тварин досліджено недостатньо, а діючі нормативи максимально допустимих рівнів не враховують міжвидових особливостей.

Мета роботи. Дослідження спрямоване на порівняння ступеня токсичності м'язових тканин риб і ссавців, штучно контамінованих афлатоксином В1, із застосуванням культури інфузорій *Tetrahymena pyriformis* як біоіндикатора.

Таким чином, актуальним завданням є проведення порівняльної токсикологічної оцінки м'язів риб і ссавців, контамінованих афлатоксином В1, що дозволить більш обґрунтовано підходити до формування санітарних норм і забезпечення безпеки харчових продуктів.

Екологічні стресори, включно з мікотоксинами, спричиняють у риб низку гематологічних та метаболічних зрушень, які розглядають як чутливі біомаркери якості середовища та токсичного навантаження (Nikolaenko et al., 2023). Показано, що адаптивні зміни показників крові коропа відбивають реакцію на забруднення, а їх

динаміка може слугувати раннім індикатором сублетальних ефектів (Nikolaenko et al., 2023). Узагальнення сучасних даних підкреслює, що мікотоксини у водоймах впливають на ріст, імунітет і енергетичний метаболізм корошових (Shkurko et al., 2024).

Проблематика переходу мікотоксинів із кормів у тканини гідробіонтів залишається у фокусі наукових дискусій. Дані про Т-2 токсин свідчать, що за тривалого надходження він може накопичуватися в м'язах коропа, створюючи потенційні ризики для споживача, навіть за відсутності гострої токсичності у самої риби (Polotnianko & Mekhed, 2023). Морфологічні дослідження на коропах демонструють структурні зміни на тлі дії Т-2, що корелюють з функціональними порушеннями та підкреслюють чутливість м'язової тканини до мікотоксичного впливу (Polotnianko & Mekhed, 2024). Паралельно реєструються біохімічні відгуки гідробіонтів, які відображають оксидативний стрес, дисбаланс ферментних систем і можливі компенсаторні механізми (Mekhed, 2024). Хоч ці праці присвячені здебільшого Т-2 токсину, отримані принципові висновки – щодо шляхів надходження, розподілу, біотрансформації та маркерів впливу – релевантні для оцінки ризиків у рибопродуктах (Polotnianko & Mekhed, 2023; Polotnianko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024).

Порівняння реакцій риб і ссавців на мікотоксини вказує на ймовірні відмінності у зв'язуванні токсинів білками, швидкості метаболізму та видаленні з організму, що, своєю чергою, впливає на інтегральну токсичність тканин за однакових номінальних концентрацій (Yatsenko et al., 2017). Досвід ветеринарної експертизи риби та продуктів її переробки підкреслює потребу у видоспецифічних критеріях оцінювання, а не прямій трансляції норм із м'яса ссавців (Fotina et al., 2013; Yatsenko et al., 2017). У цьому контексті актуальними є моделі біоіндикації на простих еукаріотах – як швидкі скринінгові підходи для порівняльної оцінки токсичності зразків різного походження перед застосуванням складніших аналітичних методів (Yatsenko et al., 2017).

Комплексна експертиза рибопродуктів рекомендує поєднувати інструментальні методи (для кількісного визначення AFB1) з біотестуванням, яке відображає інтегральний ефект матриці (наявність білків, ліпідів,

продуктів автолізу) на біодоступність і токсичність мікотоксину (Yatsenko et al., 2017). Враховуючи показані зміни крові, метаболічних і морфологічних показників у коропа під дією мікотоксинів (Nikolaenko et al., 2023; Shkurko et al., 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024), такі індикатори доцільно розглядати як допоміжні маркери для оцінювання небезпеки AFB1 у рибі.

Сукупність даних свідчить, що мікотоксини, зокрема AFB1, залишаються суттєвим викликом для безпеки харчового ланцюга. Для рибопродуктів існує об'єктивна потреба у видоспецифічних нормах і підходах до контролю, які враховують фізіолого-біохімічні особливості гідробіонтів, матричні ефекти та відмінності у токсикокінезиці порівняно з м'ясом ссавців (Fotina et al., 2013; Yatsenko et al., 2017). Актуальним напрямом є інтеграція аналітичних методів із біоіндикаційними тестами та використанням гематологічних, метаболічних і морфологічних маркерів у корошових як системи раннього сповіщення про токсичне навантаження (Nikolaenko et al., 2023; Shkurko et al., 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2023).

Матеріали та методи дослідження

Використані матеріали. У роботі використовували м'язову тканину риби (короп *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) та теплокровних тварин (свиня *Sus domesticus*), штучно контаміновану афлатоксином В1 у кількостях, що відповідали 1 та 2 мінімально допустимим рівням (МДР) відповідно 0,001 та 0,002 мг/кг згідно з чинними нормативами для м'яса і м'ясних продуктів (MV CHRDL 7.2-1/01, 1997; Methodical recommendations..., 1995). Для порівняння залучали контрольні зразки м'язів риби та свині без додавання токсину, а також розчин натрій хлориду натрію з концентрацією 0,5%, що у досліді використовувався як екстрагуючий реагент (MV CHRDL 7.2-1/01, 1997; Methodical recommendations..., 1995).

Ступінь токсичності визначали за допомогою індикаторної культури інфузорій *Tetrahymena pyriformis*.

М'язи відділяли від жирової та сполучної тканини, гомогенізували на м'ясорубці й відбирали наважки 100 мг з кожної групи зразків. У кожний флакон із пробой додавали 2 мл 0,5 % розчину NaCl, (MV CHRDL 7.2-

1/01, 1997; Methodical recommendations..., 1995). Для моделювання контамінації до гомогенату вносили точно розраховані дози афлатоксину В1, що забезпечували необхідний рівень його концентрації (1 МДР та 2 МДР). Контрольними слугували проби м'язів без токсину та 0,5% розчин NaCl (MV CHRDL 7.2-1/01, 1997; Methodical recommendations..., 1995).

Методи дослідження. Для біопроби застосовували 3–5-денну культуру інфузорій *T. pyriformis*, вирощену на пептоново-дріжджовому середовищі (пептон – 2,0 г; глюкоза – 0,5 г; дріжджі сухі – 0,1 г; морська сіль – 0,1 г на 100 мл дистильованої води, рН 7,0–7,5 з наступною стерилізацією). Життєздатність культури та її густину контролювали за допомогою лічильної камери Фукса-Розенталя/Горяєва (Methodical recommendations..., 1995).

До підготовлених проб м'язів вносили по краплі суспензії інфузорій ($\approx 0,05$ мл, 150–250 тис. клітин/мл). Інкубацію проводили за кімнатної температури протягом 48 годин. Мікроскопічний контроль здійснювали через 24 та 48 год за допомогою світлового мікроскопу XS-5520 при збільшенні $\times 64$ та $\times 160$ (Methodical recommendations..., 1995).

Аналізували кількісні та якісні характеристики інфузорій:

- кількість клітин у полі зору;
- частку клітин, що перебувають у поділі;
- наявність морфологічних змін (деформацій, зміни розміру та форми);
- рухливість та характер рухів.

Ступінь токсичності класифікували згідно з критеріями методики МВ ЧРДЛ 7.2-1/01 (MV CHRDL 7.2-1/01, 1997; Methodical recommendations..., 1995):

- відсутність змін – нетоксичний зразок;
- зниження активності розмноження до 25 % без масової загибелі – слабка токсичність;
- пригнічення росту до 30 %, зміни рухів, до 10 % деформованих клітин – помірна токсичність;
- зниження чисельності на 30–50 %, до 20 % загиблих клітин – виражена токсичність;
- зменшення розмноження > 50 %, масова загибель та деформації – сильна токсичність.

Деформація клітини оцінювалась за шкалою від 0 до 5 (0 – відсутність деформованих клітин, 5 – всі клітини або майже всі деформовані). Рухливість оцінювалась за

шкалою від -5 до +5 (за 0 приймається рухливість інфузорій у поживному середовищі). Результати опрацьовували з використанням статистичних методів: для кожної групи досліди проводили у триразовій повторності ($n=3$), отримані дані обчислювали як середнє арифметичне значення $\pm$ стандартне відхилення. Узагальнені результати зводили у таблиці та здійснювали порівняльний аналіз контрольних і контамінованих зразків за показниками життєздатності культури інфузорій.

Результати дослідження та обговорення

Дослідження впливу афлатоксину В1 на м'язи риби та ссавців продемонструвало відмінності у ступені токсичності цих тканин за однакових умов контамінації. Кількісні та якісні характеристики культури *Tetrahymena pyriformis* оцінювали через 24 та 48 год після інкубації з досліджуваними зразками (таблиця 1).

Метрологічні характеристики методу аналізувались за показником «Збіжність» шляхом підрахування загальної кількості живих клітин при спостереженні за тест-контролем (у розчині хлориду натрію) (таблиця 2).

Отримані результати свідчать, що вплив афлатоксину В1 на м'язи риби та ссавців проявляється по-різному, що підтверджується реакцією культури інфузорій *Tetrahymena pyriformis*. У випадку двократного перевищення максимально допустимого рівня (МДР) афлатоксину у м'язах свині спостерігалось пригнічення розмноження клітин, зниження їх рухливості, підвищений рівень морфологічних деформацій, що відповідає середньому ступеню токсичності.

Такі результати дають підстави вважати м'язи теплокровних тварин із підвищеним вмістом афлатоксину потенційно небезпечними для споживача в аспекті розвитку хронічних інтоксикацій. Натомість у зразках м'язів риби навіть при двократному перевищенні МДР подібних змін не було зафіксовано: кількість інфузорій у полі зору не зменшувалася, клітини зберігали здатність до поділу, деформації та порушення рухливості не реєструвалися. Це може свідчити про специфічну взаємодію афлатоксину з білками та іншими компонентами м'язів, що обмежує прояв токсичного ефекту.

Таблиця 1

Тест-показники культури *Tetrahymena pyriformis* за умов оцінки токсичності м'язів

Характеристики	Контроль у NaCl 0.5%	М'язи свині			М'язи риби		
		Афлатоксин В1, мг/кг			Афлатоксин В1, мг/кг		
		0	0,001	0,002	0	0,001	0,002
24 год							
Кількість клітин, шт	10	7	15	15	10	10	15
Клітини, що діляться, шт	3	3	2	2	3	3	2
Деформація, шт	0	0	0	1	0	0	0
Рухливість, шт	0	0	0	-1	0	-1	-1
48 год							
Кількість клітин, шт	15	<5	>50	20	>20	>50	>50
Клітини, що діляться, шт	3	0	4	0	3	4	3
Деформація, шт	0	1	1	4	0	0	0
Рухливість, шт	0	-2	0	-3	0	0	0

Таблиця 2

Аналіз метрологічних характеристик експерименту

№ з/п	Показник, одиниці виміру	Значення	Нормативне значення
1	Кількість паралельних спостережень (n)	3	
2	Значення спостережень, (кількість клітин), шт:	X1 = 11 X2 = 10 X3 = 9	
3	Середнє значення ($\bar{X}_{сер}$), шт	10	
4	Стандартне відхилення (Збіжність) (SD), шт $\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X}_{сер})^2}{n - 1}}$	1	
5	Відносне стандартне відхилення (RSD), % $RSD = \frac{SD}{\bar{X}_{сер}} * 100\%$	10	20
6	Висновок:	результат задовільний	

Цікавим спостереженням стало також те, що у контамінованих зразках м'язів, як риби, так і свині, кількість клітин інфузорій у деяких випадках була навіть більшою, ніж у контролі. Це може пояснюватися стрес-ефектом, коли низькі дози токсину стимулюють короточасну активацію клітинних процесів. Цей стрес-ефект може бути зумовлений, зокрема, посиленням росту або репродукції інфузорій, чи активацією клітинних метаболічних шляхів. Водночас, літературні дані засвідчують, що деградація афлатоксинів спостерігається переважно у бактерій, грибів і дріжджів через бактеріальні чи грибові ферменти – проте жодне наукове дослідження, поки що, прямо не продемонструвало, що інфузорії (прокаріотично-евкаріотні Protozoa) здатні розкласти афлатоксини або змінювати їх токсичність. Наприклад, Vanhoutte et al. (2016) підкреслюють трансформацію або інактивацію афлатоксинів мікроорганізмами, але без прямої ролі інфузорій. Водночас у зразках свинини такі ефекти супроводжувалися морфологічними змінами та зниженням рухливості, тоді як у рибних тканинах цього не відзначалося. Ще одним важливим результатом стала різниця у процесах автолізу: у контрольних зразках м'яса свині вже через 48 год спостерігалися ознаки гниття, що супроводжувалося різким зменшенням кількості інфузорій, тоді як у пробах з афлатоксином цей процес гальмувався. Аналогічна тенденція відзначалася і для рибних зразків, що може бути пов'язано з бактеріостатичною дією афлатоксину B1, яка уповільнює розвиток мікрофлори.

Зіставлення результатів дозволяє зробити висновок, що відмінності між рибою та теплокровними тваринами можуть бути обумовлені як специфікою амінокислотного складу м'язових білків, так і особливостями метаболізму, які визначають різний ступінь зв'язування та інактивації токсину. Таким чином, встановлені експериментальні факти ставлять під сумнів доцільність прямого перенесення нормативів максимально допустимого рівня афлатоксину B1 із м'яса ссавців на рибну продукцію. Дослідження останніх років та більш ранні підтверджують, що при вживанні забруднених кормів афлатоксини здатні акумулюватися в тканинах, зокрема у м'язах риби та свиней, що має безпосереднє значення для здоров'я споживачів.

Зокрема, проведено експерименти на молоді нільської тилапії (*Oreochromis niloticus*) (Fornari et al., 2023), які показали, що введення в раціон кормів з афлатоксинами негативно впливало на продуктивність риби, морфологічні показники крові та стан печінки. Хоча основна увага була зосереджена на фізіологічних і гістологічних змінах, результати також підтвердили потенційний ризик накопичення токсину в тканинах риби.

Подібні висновки підтверджуються роботами, де розглядаються випадки масових спалахів афлатоксикозу у людей через вживання контамінованих продуктів тваринного походження. Наприклад, у Кенії (Azziz-Baumgartner et al., 2005) та Малайзії (Lye et al., 1995) встановлено, що афлатоксини можуть зберігатися у м'язових тканинах тварин, які споживали заражені корми, й надалі потрапляти в харчовий ланцюг.

Дослідження на свинях підтверджують наявність мікотоксинів у м'ясі. Так, Pleadin et al. (2017), вивчаючи м'ясні продукти, виявили наявність афлатоксинів та пліснявих грибів у готовій продукції, що може бути наслідком як первинної контамінації корму, так і подальшого росту мікрофлори. Робота Sevi et al. (2016) звертає увагу на необхідність впровадження стратегій для зниження ризику потрапляння мікотоксинів у м'ясо, включно з контролем якості кормів.

Зіставлення даних із різних видів тварин дозволяє зробити висновок, що накопичення афлатоксину B1 у м'язах має універсальний характер і може становити небезпеку як у аквакультурі (Fornari et al., 2023; Mushtaq et al., 2012), так і у свинарстві (Pleadin et al., 2017). Це підкреслює важливість впровадження системного моніторингу вмісту мікотоксинів у кормах та продукції тваринного походження, особливо в країнах із підвищеним ризиком контамінації (Strosnider et al., 2006).

Для риби та рибних продуктів цілком можливим є встановлення більш високого граничного рівня цього мікотоксину без ризику виникнення токсичного ефекту для споживача. Однак остаточне підтвердження цієї гіпотези потребує подальших досліджень, зокрема із залученням біохімічних та токсикокінетичних методів аналізу, а також епідеміологічних спостережень за впливом споживання риби з різним рівнем контамінації афлатоксином на організм людини.

Висновки

Встановлено, що м'язи теплокровних тварин (свині), контаміновані афлатоксином В1 у концентрації, що перевищує максимально допустимий рівень удвічі, проявляють середній ступінь токсичності, що свідчить про потенційну небезпеку розвитку хронічного отруєння при їх споживанні.

М'язи риби за аналогічних умов експерименту не виявили токсичного ефекту: культура *Tetrahymena pyriformis* зберігала життєздатність, здатність до поділу та не зазнавала морфологічних змін.

Виявлені відмінності у прояві токсичності між рибою та ссавцями свідчать про видоспецифічні особливості взаємодії афлатоксину В1 з білками м'язової тканини, що, ймовірно, зумовлено різним амінокислотним складом та метаболічними процесами.

На основі результатів можна припустити, що чинні нормативи максимально

допустимого рівня афлатоксину В1 для рибної продукції є надмірно консервативними у разі їхнього прямого узгодження зі стандартами для м'яса теплокровних тварин.

Отримані дані вказують на можливість того, що риба здатна переносити вищі концентрації афлатоксину В1 без проявів гострих чи підгострих токсикологічних ефектів, проте ця гіпотеза потребує подальшої перевірки з використанням комплексних токсикологічних, біохімічних та епідеміологічних досліджень. Результати роботи підкреслюють необхідність перегляду та уточнення регламентів щодо вмісту мікотоксинів у рибопродуктах. Враховуючи вагоме значення риби у харчуванні населення, науково обґрунтоване встановлення допустимих рівнів афлатоксину В1 є ключовим для забезпечення продовольчої безпеки та раціонального використання харчових ресурсів.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до автора / Dataset available on request from the author.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Не застосовується / Not applicable.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Azziz-Baumgartner, E., Lindblade, K., Gieseke, K., Schurz Rogers, H., Kieszak, S., Njapau, H., Schleicher, R., McCoy, L. S., Misore, L., DeCock, K., Rubin, C. & Slutsker, L. (2005). Case-control study of an acute aflatoxicosis outbreak, Kenya, 2004. *Environmental Health Perspectives*, 113(12), 1779–1783. <https://doi.org/10.1289/ehp.8384>
- Fotina, T. I., Berezovsky, A. V., Petrov, R. V. & Gorchanok N.V. (2013). *Veterinary examination of fish, sea mammals and invertebrates*. Vinnytsia, 120 p. (in Ukrainian).
Фотіна Т.І., Березовський А.В., Петров Р.В., Горчанок Н.В. Ветеринарно-санітарна експертиза риби, морських ссавців та безхребетних тварин. Вінниця: Нова Книга, 2013. 120 с.
- Fornari, D.C., Peixoto, S., Ksepka, S.P., Bullard, S.A., Rossi, W., Nuzback, D.E., & Davis, D.A. (2023). Effects of dietary mycotoxins and mycotoxin adsorbent additives on production performance, hematological parameters, and liver histology in juvenile *Nile tilapia* (*Oreochromis niloticus*). *Frontiers in Animal Science*, 4, 1281722. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1281722>
- Gruber-Dorninger, C., Müller, A., & Rosen, R. (2025). Multi-Mycotoxin Contamination of Aquaculture Feed: A Global Survey. *Toxins*, 17(3), 116. <https://doi.org/10.3390/toxins17030116>
- Hassan, F. F. (2018). Detection of aflatoxin B1 in some canned foods and reduction of toxin by ultraviolet radiation. *Iraqi Journal of Science*, 58(4C), 2343–2349. <https://doi.org/10.24996/ij.2017.58.4C.10>
- Kolets, P., Schrama, J.W., Graat, E.A.M., Wiegertjes, G.F., Lyons, P., & Pietsch, C. (2021). The Occurrence of Mycotoxins in Raw Materials and Fish Feeds in Europe and the Potential Effects of Deoxynivalenol (DON) on the Health and Growth of Farmed Fish Species—A Review. *Toxins*, 13(6), 403. <https://doi.org/10.3390/toxins13060403>
- Kovalsky, P., Kos, G., Nährer, K., Schwab, C., Jenkins, T., Schatzmayr, G., Sulyok, M. & Krska, R. (2016). Co-occurrence of regulated, masked and emerging mycotoxins and secondary metabolites in finished feed and maize—an extensive survey. *Toxins*, 8, 363.
- Lye, M. S., Ghazali, A. A., Mohan, A. A., Alwin, N. & Nair, R.C. (1995). An outbreak of acute hepatic encephalopathy due to severe aflatoxicosis in Malaysia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 53, 68–72.
- Mekhed, O. (2024). Changes in the biochemical indicators of hydrobionts in response to the toxic effect of mycotoxin T2. *One World – One Health: I International Scientific and Practical Conference* (4–5 June 2024, Słupsk, Poland). P. 263–266.
- MV CHRDL 7.2-1/01 (DSTU 3570-97, GOST 13469.7-97). (1997). *Methodical guidelines for toxicological and biological assessment of meat, meat products and milk using the protozoa Tetrahymena pyriformis (express method)*. Kyiv: Institute of Veterinary Medicine of the NAAS of Ukraine. (in Ukrainian)
МВ ЧРДЛ 7.2-1/01 (ДСТУ 3570-97, ГОСТ 13469.7-97). Методичні вказівки з токсико-біологічної оцінки м'яса, м'ясних продуктів та молока з використанням інфузорій *Tetrahymena pyriformis* (експрес-метод). Утв. ГУВ Мінсільгосппрода РБ 20.10.1997. Київ: Інститут ветеринарної медицини НААН України, 1997. 25 с.
- Methodical recommendations on the application of biotesting methods for assessing the quality of water in domestic drinking water supply systems (MR No. TsOS PV R 005-95). (1995). *Determination of toxicity by bioassay on protozoa Tetrahymena pyriformis*. Kyiv: State Institution “O.M. Marzeiev Institute for Hygiene and Medical Ecology of the NAMS of Ukraine”. (in Ukrainian)
Методичні рекомендації щодо застосування методів біотестування для оцінки якості води у системах господарсько-питного водопостачання (МР № ЦОС ПВ Р 005-95). Визначення токсичності біопробами на інфузоріях *Tetrahymena pyriformis*. Київ: Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзеєва НАМН України», 1995. 30 с.

Mushtaq, M., Sultana, V., Anwar, F. Adnan A. & Rizvi, S. S. H. (2012). Occurrence of aflatoxins in selected processed foods from Pakistan. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8324–8337. <https://doi.org/10.3390/ijms1307832>

Nikolaenko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptive changes in blood indicators of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) in response to water pollution. *Natural resources of the border areas in the conditions of climate change*. Chernihiv: Desna-Polihraf, 99–100. (in Ukrainian).

Ніколаєнко Т., Іващенко М., Іващенко Н., Мехед О. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. Чернігів: Десна-Поліграф, 2023. С. 99–100.

Pickova, D., Ostry, V., & Malir, F. A (2021). Recent Overview of Producers and Important Dietary Sources of Aflatoxins. *Toxins*, 13, 186. <https://doi.org/10.3390/toxins13030186>

Pleadin, J., Zdravec, M., Brnić, D., Perković, I., Škrivanko, M. & Kovačević, D. (2017). Moulds and mycotoxins detected in the regional speciality fermented sausage “slavonski kulen” during a 1-year production period. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(2), 282–290. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1266395>

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when fed T-2 toxin-contaminated feed. *Natural resources of the border areas in the conditions of climate change*. Chernihiv: Desna-Polihraf, 105–106. (in Ukrainian).

Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсиком. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. Чернігів: Десна-Поліграф, 2023. С. 105–106.

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2024). Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 69–76. <https://doi.org/10.58407/bht.3.24.4>

Sevi, A., Marino, R., Lorenzo, J. M., Picard, B., & Pereira, A. S. C. (2016). Strategies to improve meat quality and safety. *The Scientific World Journal*, Article ID 9523621. <https://doi.org/10.1155/2016/9523621>

Shkurko, M., Sadchenko, N. M., & Mekhed, O. (2024). Influence of water environment contamination with mycotoxins on ichthyological indicators and metabolic processes in carp fish. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation of Students, Graduate Students and Young Scientists* (20 November 2024, Chernihiv). Chernihiv: Nizhyn Mykola Gogol University, 89–90. (in Ukrainian).

Шкурко М., Садченко Н. М., Мехед О. Вплив забруднення водного середовища мікотоксинами на іхтіологічні показники та метаболічні процеси в організмі карпових риб. *Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю студентів, аспірантів і молодих учених* (20 листопада 2024 р., Чернігів). Чернігів: НУЧК імені Т. Г. Шевченка, 2024. С. 89–90.

Strosnider, H., Azziz-Baumgartner, E., Banziger, M., Bhat, R.V., Breiman, R., Brune, M.N., DeCock, K., Dilley, A., Groopman, J., Hell, K., Henry, S.H., Jeffers, D., Jolly, C., Jolly, P., Kibata, G.N., Lewis, L., Liu, X., Luber, G., McCoy, L., Mensah, P., Miraglia, M., Misore, A., Njapau, H., Ong, C.N., Onsongo, M.T., Page, S.W., Park, D., Patel, M., Phillips, T., Pineiro, M., Pronczuk, J., Rogers, H.S., Rubin, C., Sabino, M., Schaafsma, A., Shephard, G., Stroka, J., Wild, C., Williams, J.T., & Wilson, D. (2006). Workgroup report: Public health strategies for reducing aflatoxin exposure in developing countries. *Environmental Health Perspectives*, 114(12), 1898–1903. <https://doi.org/10.1289/ehp.9302>

Vanhoutte, I., Audenaert, K., & De Gelder, L. (2016). Biodegradation of mycotoxins: Tales from known and unexplored worlds. *Frontiers in Microbiology*, 7, 561. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00561>

Yatsenko, I. V., Bohatko, N. M., Bulgakova, N. V., & Biben, I. A. (2017). *Hygiene and expertise of food hydrobionts and their processing products. Part 1. Hygiene and expertise of fishery products: A textbook*. Kharkiv: Disa Plus, 168 p. (in Ukrainian).

Яценко І. В., Богатко Н. М., Букалова Н. В., Фотіна Т. І., Бібен І. А. Гігієна і експертиза харчових тваринних гідробіонтів та продуктів їх переробки. Частина 1. Гігієна і експертиза рибопромислової продукції. Харків: Діса-Плюс, 2017. 680 с.

Received: 24.08.2025. Accepted: 25.09.2025. Published: 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Полотнянко Л. Порівняльна токсикологічна оцінка м'язових тканин риб та ссавців, контамінованих афлатоксином В1, за індикаторною культурою *Tetrahymena pyriformis*. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 122–131. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.12>

Cite this article in APA style as:

Polotnianko, L. (2025). Comparative toxicological assessment of muscle tissues of fish and mammals contaminated with aflatoxin B1, using an indicator culture *Tetrahymena pyriformis*. *Biota. Human. Technology*, (3), 122–131. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.12> (in Ukrainian)

Information about the author:

Polotnianko L. [in Ukrainian: **Полотнянко Л.**], PhD student, email: : chreglab@vetmed.gov.ua
ORCID: 0000-0001-8665-2648

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine



Copyright (c) 2025 Maryna Yachna, Alexandr Tretyak

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Марина Ячна, Олександр Третяк
ОСОБЛИВОСТІ ПОРУШЕННЯ ЛІПІДНОГО ОБМІНУ
В КОРОПА ЛУСКАТОГО (*CYPRINUS CARPIO* L.)
ЗА ДІЇ ТОКСИКАНТІВ РІЗНОЇ ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ



Maryna Yachna, Alexandr Tretyak

PECULIARITIES OF LIPID METABOLISM DISRUPTION
IN COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO* L.)
EXPOSED TO TOXICANTS OF DIFFERENT CHEMICAL NATURE

АНОТАЦІЯ

Сучасне антропогенне навантаження на водні екосистеми спричиняє зростання концентрацій токсикантів у водоймах, що становить серйозну екологічну загрозу для водних організмів. Особливу небезпеку становлять фосфатовмісні сполуки, поверхнево-активні речовини та важкі метали, які можуть взаємодіяти між собою, посилюючи токсичний ефект. У цих умовах вивчення впливу токсикантів на біохімічні процеси у водних організмах, зокрема на ліпідний обмін риб, є надзвичайно актуальним. Такі дослідження дозволяють глибше зрозуміти механізми адаптації гідробіонтів до токсичного навантаження та оцінити екологічний стан водойм.

Мета роботи. З'ясувати особливості впливу окремих (фосфатів, фосфонатів, лаурилсульфату натрію) і комбінованих (фосфатів і солей важких металів) токсикантів на біохімічні показники крові та тканин коропа лускатого для визначення механізмів порушення ліпідного обміну під токсичним навантаженням.

Методологія. Експериментальні дослідження проводили на базі лабораторії екологічної біохімії Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка. Об'єктом слугував короп лускатий масою 250–300 г. Оцінку впливу токсикантів: фосфати (7,0 мг/дм³ та 17,5 мг/дм³ відповідно 2 і 5 ГДК), фосфонати (2,28 мг/дм³ та 5,70 мг/дм³ відповідно 2 і 5 ГДК), лаурилсульфат натрію (0,02 мг/дм³ – 2 ГДК), солі Cu²⁺, Cd²⁺ і Pb²⁺ (відповідно 2,0 мг/дм³, 0,002 мг/дм³ і 0,02 мг/дм³, що відповідає 2 ГДК). Температуру підтримували на рівні +8...+10 °С, що відповідало природним умовам. Тривалість експерименту – 14 діб. Зміни біохімічних показників визначали у крові, м'язах, зябрах, печінці та мозку: кількісний вміст загальних ліпідів, фосфоліпідів та активність ліпази

Наукова новизна. Вперше встановлено тканинно-специфічні особливості зміни ліпідного обміну коропа лускатого на дію фосфатів, фосфонатів і лаурилсульфату натрію та сумісної дії фосфатів із солями важких металів.

Висновки. Встановлено, що досліджені токсиканти призводять до значних змін ліпідного обміну в тканинах коропа лускатого, що проявляється підвищенням концентрації ліпідів у крові та їх зниженням у периферійних органах. Найбільш токсичним є вплив фосфатів, що зумовлює порушення ліпідного гомеостазу, тоді як фосфонати та лаурилсульфат впливають м'якше, але системно. Сумісна дія фосфатів із солями важких металів (особливо Cd²⁺ та Pb²⁺) має синергічний ефект, що проявляється у зниженні вмісту фосфоліпідів і пригніченні активності ліпази. Найчутливішими до токсичного впливу виявилися зябра, печінка та мозок, що свідчить про високу реактивність цих тканин, а також про ключову роль печінки й зябер у процесах детоксикації. Отримані результати можуть бути корисними для екотоксикологічної оцінки стану водних екосистем забруднених токсикантами.

Ключові слова: короп лускатий (*Cyprinus carpio* L.), токсиканти, фосфати, фосфонати, лаурилсульфат натрію, солі важких металів, ліпідний обмін, фосфоліпіди, ліпаза, токсичність, екотоксикологія

ABSTRACT

Modern anthropogenic pressure on aquatic ecosystems leads to increased concentrations of xenobiotics in water bodies, posing a serious ecological threat to aquatic organisms. Phosphate-containing compounds, surfactants, and heavy metals pose a particular danger, as they can interact with each other and enhance the toxic effect. Under these conditions, studying the impact of xenobiotics on biochemical processes in aquatic organisms, particularly on fish lipid metabolism, is highly relevant. Such research provides a deeper understanding of the mechanisms of hydrobiote adaptation to toxic stress and allows for the assessment of the ecological status of water bodies.

Purpose of the work. To elucidate the effects of individual (phosphates, phosphonates, sodium lauryl sulfate) and combined (phosphates and heavy metal salts) xenobiotics on biochemical parameters of the blood and tissues of the scaly carp (*Cyprinus carpio*) in order to determine the mechanisms of lipid-metabolism disruption under toxic load.

Methodology. The experimental studies were conducted at the Laboratory of Ecological Biochemistry of the T. H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium". The object of the study was the scaly carp (*Cyprinus carpio*) weighing 250–300 g. The effects of the following toxicants were assessed: phosphates (7.0 mg/dm^3 and 17.5 mg/dm^3 corresponding to 2 and 5 MPC), phosphonates (2.28 mg/dm^3 and 5.70 mg/dm^3 corresponding to 2 and 5 MPC), sodium lauryl sulfate (0.02 mg/dm^3 – 2 MPC), and salts of Cu^{2+} , Cd^{2+} , and Pb^{2+} (2.0 mg/dm^3 , 0.002 mg/dm^3 , and 0.02 mg/dm^3 respectively, corresponding to 2 MPC). The temperature was maintained at $+8...+10^\circ\text{C}$ to mimic natural conditions. The duration of the experiment was 14 days. Changes in biochemical parameters were determined in the blood, muscles, gills, liver, and brain, including the quantitative content of total lipids, phospholipids, and lipase activity. All results were processed statistically.

Scientific novelty. For the first time, tissue-specific features of lipid metabolism alterations in scaly carp (*Cyprinus carpio*) under the influence of phosphates, phosphonates, and sodium lauryl sulfate, as well as under the combined action of phosphates and heavy metal salts, were established.

Conclusions. It was established that the studied xenobiotics cause significant alterations in lipid metabolism in the tissues of the scaly carp (*Cyprinus carpio*), manifested by an increase in lipid concentration in the blood and a decrease in peripheral organs. Phosphates were found to have the most toxic effect, leading to lipid homeostasis disruption, whereas phosphonates and sodium lauryl sulfate exerted milder but systemic effects. The combined action of phosphates with heavy metal salts (particularly Cd^{2+} and Pb^{2+}) produced a synergistic effect, resulting in a reduction of phospholipid content and inhibition of lipase activity. The gills, liver, and brain were found to be the most sensitive to toxic exposure, indicating the high reactivity of these tissues and the key role of the liver and gills in detoxification processes. The obtained results may be useful for ecotoxicological assessment of aquatic ecosystems contaminated with toxicants.

Key words: scaly carp (*Cyprinus carpio* L.), xenobiotics, phosphates, phosphonates, sodium lauryl sulfate, heavy metal salts, lipid metabolism, phospholipids, lipase, toxicity, ecotoxicology

Вступ

Інтенсивне антропогенне навантаження на водні екосистеми призводить до накопичення у водоймах широкого спектру токсикантів – синтетичних і природних сполук, які не властиві живим організмам і мають потенційну токсичність. Серед них особливе місце займають поверхнево-активні речовини (зокрема лаурилсульфат натрію) (Zicarelli et al., 2024), фосфати та фосфонати, які широко застосовуються у промисловості та побутовій хімії, а також сполуки важких металів, що потрапляють у довкілля з промисловими стоками. Потрапляючи до водойм, ці речовини не лише чинять шкідливий вплив на гідробіонтів, але й можуть взаємодіяти між собою, утворюючи комплекси з підвищеною біодоступністю та токсичністю (Garai et al., 2021). Саме тому дослідження комбінованої дії фосфатів із важкими металами поряд із впливом окремих токсикантів є важливим для глибшого розуміння механізмів біохімічної адаптації риб до забруднення водного середовища.

Короп лускатий (*Cyprinus carpio* L.) – представник прісноводної іхтіофауни, з високою чутливістю до змін гідрохімічних параметрів і вмісту токсичних речовин у воді – широко використовується як модельний об'єкт у токсикологічних та екотоксико-

логічних дослідженнях. Дослідження біохімічних показників крові коропа дозволяє оцінити як гострі, так і хронічні ефекти дії токсикантів на організм риб.

Особливу увагу у вивченні токсичного впливу хімічних сполук приділяють показникам ліпідного обміну. Ліпіди виконують не лише енергетичну, а й структурну та сигнальну функції, тому зміни їх вмісту відображають рівень метаболічної адаптації організму до дії стрес-факторів (Qi et al., 2023). Оцінка цих параметрів дозволяє виявляти ранні біохімічні порушення, та визначати загальний токсикологічний стан водойм (Grubinko, 2005). Саме тому метою дослідження було визначити особливості впливу окремих (фосфатів, фосфонатів, лаурилсульфату натрію) і комбінованих (фосфатів і солей важких металів) токсикантів на біохімічні показники тканин коропа лускатого з метою виявлення механізмів порушення ліпідного обміну в умовах токсичного навантаження.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводили у 2017–2021 рр. на базі лабораторії екологічної біохімії Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка.

Об'єктом дослідження – короп лускатий (*Cyprinus carpio* L.). Для експериментів відби-
рали 15 особин масою 250–300 г, виловле-

них із природної водойми – зимувального ставу БАТ «Чернігіврибгосп».

Оцінку впливу токсикантів: фосфати (7,0 мг/дм³ та 17,5 мг/дм³ відповідно 2 і 5 ГДК), фосфонати (2,28 мг/дм³ та 5,70 мг/дм³ відповідно 2 і 5 ГДК), лаурилсульфат натрію (0,02 мг/дм³ – 2 ГДК), солі Cu²⁺, Cd²⁺ і Pb²⁺ (відповідно 2,0 мг/дм³, 0,002 мг/дм³ і 0,02 мг/дм³, що відповідає 2 ГДК) здійснювали у 200-літрових акваріумах з відстояною водопровідною водою. Щільність посадки становила один екземпляр на 40 дм³ води. Температуру підтримували на рівні +8...+10 °С, що відповідало природним умовам. Тривалість експерименту – 14 діб.

Вивчали вплив окремих та комбінованих токсикантів на біохімічні показники крові коропа лускатого.

Окремо досліджували сумісну дію фосфатів із солями важких металів – купруму (Cu²⁺), кадмію (Cd²⁺) та плумбуму (Pb²⁺) – у концентраціях, що відповідають 2 ГДК для кожного компонента. Фосфатну складову додавали у вигляді фосфату натрію; солі Cu²⁺, Cd²⁺ та Pb²⁺ застосовували у формі водорозчинних солей. Для біохімічного аналізу відбирали зразки крові, м'язів, зябер, печінки та головного мозку коропа

лускатого. Для дослідження активності ферментів та вмісту загальних ліпідів у тканинах готували гомогенат на 0,22 М сахарозі у співвідношенні 1:10. У відібраних тканинах визначали вміст загальних ліпідів, фосфоліпідів та активність ліпази. Кількісний вміст загальних ліпідів оцінювали сульфованіліновим методом (Frings & Dunn, 1970), фосфоліпіди – за кількістю неорганічного фосфору (Bartlett, 1959). Активність ліпази визначали за методом Гольштейна і Роя (Holstein & Roy, 1946). Дослідження проводили з додержанням вимог Міжнародних принципів Гельсінської декларації про гуманне ставлення до тварин (World Medical Association, 2001).

Результати дослідження та обговорення

Нами були встановлено кількісні зміни в ліпідного обміні в різних тканинах коропа під впливом токсикантів. Що дало змогу оцінити специфіку дії фосфатів, фосфонатів і лаурилсульфату натрію, а також виявити залежність між концентрацією токсикантів та кількісним вмістом загальних ліпідів (ЗЛ) (таблиця 1).

Таблиця 1

Кількісний вміст загальних ліпідів в тканинах риб за дії токсикантів у різній концентрації, г/л (M±m, n=5)

Токсикант		Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	7,0 мг/дм ³ (2 ГДК)	7,51 ± 0,63	3,52 ± 0,36	3,48 ± 0,23	6,33 ± 0,61	7,25 ± 1,24
	17,5 мг/дм ³ (5 ГДК)	11,48 ± 0,12	3,41 ± 0,42	2,94 ± 0,23	5,78 ± 0,49	6,81 ± 0,68
Фосфонати	2,28 мг/дм ³ (2 ГДК)	8,23 ± 0,98	6,77 ± 0,61	6,55 ± 0,32	9,64 ± 0,39	5,02 ± 0,48
	5,70 мг/дм ³ (5 ГДК)	10,27 ± 1,8	6,22 ± 1,05	6,28 ± 0,34	9,28 ± 1,39	4,54 ± 0,39
Лаурилсульфат натрію	0,02 мг/дм ³ (2 ГДК)	6,73 ± 0,92	6,72 ± 0,07	6,52 ± 0,36	6,58 ± 0,57	6,44 ± 0,59
Контроль		5,63 ± 0,58	7,91 ± 0,63	7,61 ± 1,06	11,65 ± 1,05	8,25 ± 0,74

За впливу фосфатів у концентрації 2 ГДК вміст загальних ліпідів у крові підвищується на 33 % у порівнянні з контролем. При збільшенні концентрації фосфатів (5 ГДК) кількість ЗЛ зростає більш ніж вдвічі порівняно з контрольною групою (5,63±0,58 г/л), що свідчить про накопичення ліпідів у відповідь на збільшення концентрації токсиканту. Фосфонати виявляють менш виражену дію. При 2 ГДК рівень ЗЛ зростає на 46 % більше

порівняно з контрольною групою, а при 5 ГДК вміст збільшується на 82 %. Лаурилсульфат натрію найменше впливає на зміну вмісту ЗЛ: на 20 % більше порівняно з контролем, що може свідчити про його мінімальний вплив на ліпідний обмін у крові.

У тканинах м'язів вплив фосфатів за 2 ГДК призвів до суттєвого зниження вмісту ліпідів: на 55 % менше від контролю. Кількість ліпідів у контрольній групі –

7,91±0,63 г/л. За більшої концентрації токсиканту (5 ГДК) кількість ЗЛ зменшилось на 57 % щодо контролю, що підтверджує токсичну дію фосфатів. Для фосфонатів спостерігається помірніший вплив. При 2 ГДК рівень ЗЛ знижувався на 15 % (від контролю), тоді як при 5 ГДК – 21 %. За дії лаурилсульфату кількості ЗЛ знижується на 15% порівняно з контролем, що схоже до дії фосфонатів за меншої концентрації (2 ГДК).

При дослідженні тканин зябер встановили, що фосфати за 2 ГДК спостерігається зниження кількості ліпідів на 54 % від показників у контролі. При 5 ГДК – зменшення на 61 % (порівняно з контролем). Кількість загальних ліпідів в контрольній групі 7,61±1,06 г/л. Фосфонати проявляють меншу токсичність: за 2 ГДК кількість ліпідів на 15 % менша від контролю, а при 5 ГДК – на 17 % (щодо контролю), що може свідчити про меншу токсичність фосфонатів у порівнянні з фосфатами. Лаурилсульфат натрію призводить до зниження кількості ЗЛ на 14 % від контролю.

Найбільше зменшення у тканинах печінки викликають фосфати: за 2 ГДК – на 46 %, а 5 ГДК – на 50 % порівняно з контролем. При 2 ГДК фосфонатів кількість ЗЛ знижуються на 17 %, а за 5 ГДК – на 20 % (щодо контролю). Лаурилсульфат натрію призводить до зниження кількості ЗЛ на 44 % (від контролю).

У тканинах мозку спостерігається найменший вміст ЗЛ за дії досліджених токсикантів – на 12 % від показників контрольної групи, що може свідчити про певні захисні механізми в нервовій тканині від дії цього полютанта. При збільшенні концентрації до 5 ГДК вміст знижується на 17 % (щодо контролю). За дії фосфонатів спостерігається більший вплив на вміст ЗЛ у мозку у порівнянні з іншими тканинами. При 2 ГДК рівень ліпідів знижується на 39 %, а при 5 ГДК – на 45 % менше від контролю, що вказує на специфічну реакцію нервової тканини на вплив фосфонатів. Лаурилсульфат натрію викликає зниження рівня ЗЛ: на 22 % від контролю. Токсична дія досліджуваних токсикантів на тканини мозку зменшується в ряду: фосфонати – лаурилсульфат – фосфати.

Таким чином, дія токсикантів призводить до порушення ліпідного обміну, що проявляється у зниженні вмісту ліпідів у

тканинах (м'язи, зябра, печінка та мозок) і компенсаторним зростанням їх концентрації у крові. Найбільш виражені зміни у вмісті ЗЛ спостерігаються за дії фосфатів, особливо при 5 ГДК, тоді як вплив фосфонатів та лаурилсульфату на вміст ЗЛ є помірнішим, але має системні ознаки. Найчутливішими до токсичного впливу виявилися тканини зябер, печінки та мозку, що можна пояснити їх провідною роллю у процесах газообміну, детоксикації та регуляції метаболізму ліпідів.

Оскільки ліпіди складають структурний та функціональний компонент клітинних мембран, важливим і перспективним було подальше дослідження впливу токсикантів на фосфоліпіди, що визначають стабільність, проникність і метаболічну активність мембран. Для цього ми дослідили кількісний вміст фосфоліпідів (ФЛ) у різних тканинах риб за дії зазначених токсикантів.

За дії фосфатів при 2 ГДК у крові коропа спостерігається підвищення кількості ФЛ, що на 64 % більше від контролю. Кількість ФЛ у крові риб контрольної групи – 0,14±0,02 г/л. Фосфати за концентрації 5 ГДК призвели до збільшення кількості ФЛ на 86 % (щодо контролю).

Фосфонати за концентрації 2 ГДК суттєво підвищували вміст ФЛ, у порівнянні з фосфатами: спостерігається зростання показника більш ніж у 1,5 рази. Однак при 5 ГДК спостерігається зниження вмісту ФЛ, що може бути пояснено або адаптаційними механізмами або перерозподілом фосфоліпідів. Лаурилсульфат натрію підвищив вміст ФЛ на 71 % порівняно з контролем (таблиця 2).

У м'язах за дії фосфатів у концентрації 2 ГДК рівень фосфоліпідів майже не змінився порівняно з контролем. Показник контрольної групи 0,19±0,03 г/л, в той час як при додаванні подвійної концентрації фосфатів показник був більше від контролю лише на 10 %. Таку саму зміну спостерігали і за дії лаурилсульфату. В той же час за дії 5 ГДК фосфатів кількість ФЛ зросла – 15 %, можна сказати, що збільшення концентрації токсиканту не впливає на зміну кількості ФЛ. За дії 2 ГДК фосфатів спостерігали підвищення рівня ФЛ на 10 % від контролю, концентрація фосфатів у 5 ГДК призвело до зниження показника на 5 %.

Таблиця 2

**Кількісний вміст фосфоліпідів в тканинах риб за дії токсикантів
у різній концентрації, г/л ($M \pm m$, $n=5$)**

Токсикант		Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	7,0 мг/дм ³ (2 ГДК)	0,23 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,22 ± 0,04	0,23 ± 0,04	0,46 ± 0,06
	17,5 мг/дм ³ (5 ГДК)	0,26 ± 0,03	0,22 ± 0,03	0,24 ± 0,04	0,25 ± 0,05	0,53 ± 0,08
Фосфонати	2,28 мг/дм ³ (2 ГДК)	0,35 ± 0,04	0,21 ± 0,03	0,23 ± 0,03	0,24 ± 0,03	0,42 ± 0,07
	5,70 мг/дм ³ (5 ГДК)	0,22 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,22 ± 0,03	0,23 ± 0,03	0,42 ± 0,08
Лаурилсульфат натрію	0,02 мг/дм ³ (2 ГДК)	0,24 ± 0,03	0,21 ± 0,02	0,32 ± 0,05	0,17 ± 0,02	0,18 ± 0,02
Контроль		0,14 ± 0,02	0,19 ± 0,03	0,19 ± 0,04	0,27 ± 0,04	0,19 ± 0,03

У тканинах зябер спостерігається підвищення кількості ФЛ у риб усіх експериментальних груп порівняно з контролем. Найбільше зростання вмісту ФЛ (на 68 %) спричинив лаурилсульфат. Фосфати, порівняно з фосфонатами, викликали більш виражені зміни у рівні ФЛ у зябрах. Спостерігається збільшення цього показника на 21 % та 23 % під впливом 2 ГДК та 5 ГДК відповідно. Менше підвищення відзначено за дії фосфонатів – усього 14 % та 15 % зі збільшенням концентрації.

У тканинах печінки навпаки фіксували лише зниження показників, порівняно з контрольною групою. Найбільшу зміну спричинив лаурилсульфат натрію – на 31% менше за контроль. Спостерігали однакові зміни у кількості ФЛ як за дії 2 ГДК фосфатів, так і 5 ГДК фосфонатів – зменшення кількості ФЛ на 15 % порівняно з контролем. Найменші зміни спричинили фосфати у концентрації 5 ГДК та фосфонати у концентрації 2 ГДК.

У тканинах мозку зафіксовано найбільше зростання кількості ФЛ серед усіх досліджених тканин. У контрольній групі цей показник становив $0,19 \pm 0,03$ г/л. Під впливом 2 ГДК фосфатів кількість фосфоліпідів зросла більш ніж у 2,4 рази, а за дії 5 ГДК фосфатів – більш ніж у 2,5 разів порівняно з контролем. За дії фосфонатів, незалежно від концентрації, вміст фосфоліпідів у мозку був більш ніж удвічі вищим від контролю.

Виявлене підвищення загального вмісту фосфоліпідів у тканинах коропа під впливом токсикантів може свідчити про активацію ліпідного обміну, що, своєю чергою, може сприяти підтриманню структури клітинних мембран – зокрема в тканинах

мозку та крові – як одного з імовірних адаптаційних механізмів. Оскільки фосфоліпіди є основним компонентом клітинних мембран і субстратом ферментативного гідролізу, наступним етапом дослідження стало визначення активності ліпаз у тих самих тканинах. Це дало змогу оцінити, чи узгоджуються зміни ліпідного складу з функціональною здатністю організму до гідролізу жирів та адаптації до токсичного впливу.

Отримані результати свідчать, що дія всіх досліджуваних токсикантів супроводжується підвищенням активності ліпаз, що може бути проявом компенсаторної реакції, спрямованої на підтримання рівноваги ліпідного обміну (табл. 3).

Найбільші зміни в активності ліпази спостерігаються за дії фосфонатів у концентрації 5 ГДК – на 81 % вище від контрольного показника ($2,81 \pm 0,12$ од. акт.). Водночас за впливу фосфатів (2 ГДК) встановлено підвищення лише на 35 %, що також є достовірним, але меншим порівняно з попереднім значенням. Для обох груп токсикантів простежується спільна закономірність: зі зростанням концентрації речовини активність ферменту збільшується. Так, під впливом фосфонатів у концентрації 2 ГДК активність ліпази зросла на 11 %, а за 5 ГДК – на 81 %.

При дослідженні тканин м'язів у контрольній групі активність ліпази становила $1,43 \pm 0,12$ од. акт. Під впливом усіх токсикантів активність ферменту зростала, хоча й у різному ступені. Найбільш виражене підвищення зафіксовано за дії фосфатів у концентрації 5 ГДК – у 2,2 рази більше, ніж у контролі. За впливу фосфатів 2 ГДК активність також зростала суттєво – у 2,1 рази порівняно з контролем.

Таблиця 3

**Активність ліпази в тканинах риб за дії токсикантів у різній концентрації,
од.акт. ($M \pm m$, $n=5$)**

Токсикант		Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	7,0 мг/дм ³ (2 ГДК)	3,82 ± 0,21	3,12 ± 0,27	3,22 ± 0,25	3,11 ± 0,22	3,06 ± 0,23
	17,5 мг/дм ³ (5 ГДК)	4,24 ± 0,13	3,24 ± 0,19	3,47 ± 0,26	3,34 ± 0,27	3,16 ± 0,22
Фосфонати	2,28 мг/дм ³ (2 ГДК)	3,13 ± 0,28	2,72 ± 0,19	2,56 ± 0,21	2,73 ± 0,18	2,68 ± 0,18
	5,70 мг/дм ³ (5 ГДК)	5,11 ± 0,33	2,86 ± 0,26	2,83 ± 0,21	2,92 ± 0,23	2,74 ± 0,16
Лаурилсульфат натрію	0,02 мг/дм ³ (2 ГДК)	3,12 ± 0,25	2,53 ± 0,19	3,51 ± 0,24	3,31 ± 0,27	2,82 ± 0,19
Контрольна група		2,81 ± 0,12	1,43 ± 0,12	2,58 ± 0,95	2,05 ± 0,19	1,49 ± 0,09

Дещо менший вплив на активність ферменту відмічено для фосфонатів. Відповідно до концентрацій 2-ГДК та 5-ГДК спостерігали підвищення активності на 90 % та 100 % порівняно з контролем. Дія лаурилсульфату натрію була менш вираженою: активність ферменту зростала приблизно на 70 % відносно контролю.

У тканинах зябер також спостерігається підвищення активності ліпази під впливом усіх токсикантів за різних концентрацій. Найбільш виражене зростання активності (на 36 %) спричиняє лаурилсульфат натрію. Під дією 5 ГДК фосфонатів активність ліпази збільшується на 34 %, тоді як за дії 2 ГДК цього ж токсиканта – на 25 %. Вплив фосфонатів у концентрації 2 ГДК практично не позначився на активності ферменту, тоді як за 5 ГДК спостерігається її зростання на 10 % порівняно з контролем.

У печінці, як і в інших досліджених тканинах, спостерігалось підвищення активності ферменту порівняно з контролем. Найбільші зміни відзначено під впливом фосфатів у концентрації 5 ГДК та лаурилсульфату натрію: активність ферменту зростала на 62 % і 61 % відповідно. Дещо менші зміни виявлялися за дії фосфатів у концентрації 2 ГДК та фосфонатів у 5 ГДК – активність ліпази перевищувала порівняно з контролем на 51 % та 42 %. Найменш виражений вплив фосфонатів спостерігали у концентрації 2 ГДК, за якої активність ферменту зростала на 33 %.

У тканинах мозку відзначено суттєве підвищення активності ліпази. Під впливом

фосфатів у концентраціях 2 ГДК та 5 ГДК активність ферменту зростала більш ніж у два рази порівняно з контролем (1,49±0,09 од. акт.). Фосфонати в концентраціях 2 ГДК та 5 ГДК, а також лаурилсульфат натрію призвели до збільшення активності ліпази на 80 %, 83 % та 89 % відповідно.

Отже, аналіз активності ліпази показав, що фосфати спричиняють найвираженішу загальну стимуляцію активності ферменту в усіх досліджених тканинах. Вплив фосфонатів виявляє тканинну специфічність, переважно з ефектом у крові. Лаурилсульфат натрію зумовлює підвищення активності ліпази головно у зябрах і печінці, що, ймовірно, пов'язано з його поверхнево-активними властивостями та можливим контактним впливом на мембрани клітин. Найчутливішими до дії токсикантів виявилися кров, тканини печінки та зябер, тоді як у м'язах і мозку зміни мали помірний характер.

Одержані результати дослідження показали, що фосфати чинять найсильніший токсичний вплив на ліпідний обмін коропа порівняно з фосфонатами та лаурилсульфатом натрію. Враховуючи поширене забруднення водойм фосфатами та солями важких металів, було досліджено сумісну дію фосфатів із солями Cu^{2+} , Cd^{2+} та Pb^{2+} на біохімічні показники тканин риб.

Встановлено, що за сумісного впливу токсикантів (фосфати і солі важких металів) у крові риб спостерігається суттєве зниження рівня загальних ліпідів порівняно з контролем (табл. 4).

Таблиця 4

Кількісний вміст загальних ліпідів в тканинах риб за сумісного впливу фосфатів та солей важких металів (2 ГДК), г/л ($M \pm m$, $n=5$)

Токсикант	Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	19,6 ± 1,6	22,3 ± 2,8	23,2 ± 3,5	29 ± 2,03	11,6 ± 1,6
Фосфати + Cu ²⁺	17,4 ± 1,8	27,2 ± 4,3	38 ± 7,2	35,6 ± 5,34	50,8 ± 8,6
Фосфати + Cd ²⁺	18,7 ± 2,8	32,3 ± 2,9	39 ± 7,1	30,1 ± 4,2	15 ± 3
Фосфати + Pb ²⁺	16,9 ± 1,9	33,1 ± 6,3	31,1 ± 4,9	42,9 ± 7,7	14,6 ± 2
Контроль	30 ± 2,6	24,3 ± 2,9	32,7 ± 5,2	38 ± 5,32	51,3 ± 8,7

Встановлено, що за впливу фосфатів вміст ЗЛ зменшувався на 35 %, що свідчить про виражене пригнічення ліпідного обміну. Сумісна дія фосфатів із солями міді (Cu²⁺) зумовлювала ще більш значне зниження вмісту загальних ліпідів – на 42 % відносно контролю. Подібна тенденція спостерігалася і за комбінованої дії фосфатів із солями свинцю (Pb²⁺) та кадмію (Cd²⁺): рівень загальних ліпідів був на 44 % та 38 % нижчим порівняно з контрольними значеннями.

На відміну від крові, у тканинах м'язів спостерігалася протилежна тенденція – підвищення вмісту загальних ліпідів за впливу як фосфатів, так і їх поєднання із солями важких металів. У контрольній групі рівень загальних ліпідів становив 24,3 ± 2,9 г/л, тоді як за дії фосфатів цей показник дещо зростав. Підвищення вмісту ЗЛ відзначено також за сумісного впливу фосфатів із солями міді (Cu²⁺) – на 12 % порівняно з контролем. Водночас дія фосфатів із солями кадмію (Cd²⁺) та свинцю (Pb²⁺) спричиняла ще помітніше зростання – на 33 % і 36 % відповідно.

Таке підвищення, імовірно, пов'язане з накопиченням ліпідів у тканинах м'язів як енергетичного резерву або як компенсаторний механізм за умов токсичного стресу, що може бути наслідком активації процесів ліпогенезу чи порушення механізмів утилізації жирів.

Результати експерименту свідчать про складний характер сумісного впливу фосфатів із солями важких металів на ліпідний обмін у тканинах зябер риб. Під дією фосфатів рівень загальних ліпідів дещо знижувався порівняно з контролем. Натомість за сумісної дії фосфатів із солями Cu²⁺ та Cd²⁺ спостерігалася підвищення

цього показника – на 16 % і 19 % відповідно. За сумісного впливу фосфатів і Pb²⁺ рівень ліпідів залишався близьким до контрольного.

Таким чином, сумісна дія фосфатів із солями важких металів має різноспрямований характер і залежить від природи металу: кадмій і мідь сприяють акумуляції ліпідів, тоді як свинець (Pb²⁺) – пригніченню ліпідного обміну.

За сумісної дії фосфатів і солей важких металів у тканинах печінки риб спостерігали різноспрямовані зміни вмісту загальних ліпідів. У контрольній групі цей показник становив 38 ± 5,32 г/л. Найбільш виражене підвищення відзначено під впливом фосфатів у поєднанні із солями свинцю (Pb²⁺): рівень загальних ліпідів зріс на 13 %. Водночас дія інших сполук мала протилежний ефект – зниження вмісту загальних ліпідів у печінці. Так, під впливом самих фосфатів показник зменшувався на 23 %, що може свідчити про активацію катаболічних процесів.

Сумісний вплив фосфатів із солями міді (Cu²⁺) спричиняв менш виражене зниження – на 6 %, тоді як за поєднання з кадмієм (Cd²⁺) цей показник зменшувався на 21 %.

У тканинах головного мозку риб спостерігалася зниження рівня загальних ліпідів під впливом усіх досліджуваних токсикантів, що свідчить про високу чутливість нервової тканини як до дії фосфатів, так і солей важких металів. У контрольній групі цей показник становив 51,3 ± 8,7 г/л. Найбільш істотне зменшення вмісту загальних ліпідів відзначено за впливу фосфатів, а також за їх сумісної дії із солями кадмію та плюмбуму – кількість ліпідів знижувалася на 77 % та 71 % відповідно.

Під впливом фосфатів у поєднанні з солями міді (Cu^{2+}) спостерігали мінімальні зміни: рівень ліпідів залишався практично на рівні контролю.

Загалом отримані результати свідчать, що кадмій і свинець у поєднанні з фосфатами чинять більш виражений токсичний вплив на ліпідний метаболізм тканин мозку, тоді як солі міді в комбінації з фосфатами проявляють менш токсичну дію.

Отже, узагальнюючи результати дослідження, можна зазначити, що характер змін у вмісті загальних ліпідів у різних тканинах коропа істотно залежить як від природи токсиканту, так і від тканинної специфічності. Зниження рівня загальних ліпідів у більшості випадків свідчить про порушення ліпідного обміну, зокрема про деградацію ліпідного пулу під впливом фосфатів та їх комбінацій із солями важких металів.

Оскільки фосфоліпіди виконують важливу структурно-функціональну роль у клітинних мембранах, доцільним було дослідити зміни саме цієї фракції ліпідів у тканинах коропа за умов сумісного впливу фосфатів та солей важких металів.

Під час експерименту у крові тварин спостерігалось різке зниження рівня фосфоліпідів порівняно з контролем (таблиця 5).

У контрольній групі рівень фосфоліпідів становив $0,84 \pm 0,11$ г/л. Під впливом фосфатів цей показник зменшувався майже у 2,5 рази. За сумісної дії фосфатів і солей Cu^{2+} вміст фосфоліпідів знижувався ще більшою мірою – майже у 3,8 разів, що свідчить про суттєве порушення ліпідного обміну в крові. Подібну тенденцію спостерігали й за комбінованого впливу фосфатів із солями Pb^{2+} і Cd^{2+} , що може вказувати на стійку дестабілізацію мембранних структур.

Аналіз вмісту фосфоліпідів у тканинах м'язів показав їхнє істотне зниження під впливом фосфатів. Порівняно з контрольною групою ($0,07 \pm 0,01$ г/л) відзначалося зменшення на 22 %. За сумісного впливу фосфатів і солей важких металів спостерігали підвищення вмісту фосфоліпідів у всіх експериментальних групах. Найбільше зростання зафіксовано за дії фосфатів у поєднанні з Cu^{2+} , коли рівень фосфоліпідів перевищував контрольні значення більш ніж утричі. За впливу фосфатів із Cd^{2+} відзначалося підвищення у 2,1 раза, тоді як при поєднанні з Pb^{2+} – на 27 %.

Таблиця 5

Кількісний вміст фосфоліпідів в тканинах риб за комбінованого впливу фосфатів та солей важких металів, г/л ($M \pm m$, $n=5$)

Токсикант	Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	$0,32 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,03$	$0,46 \pm 0,06$
Фосфати + Cu^{2+}	$0,22 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,01$	$0,11 \pm 0,01$
Фосфати + Cd^{2+}	$0,32 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,01$
Фосфати + Pb^{2+}	$0,27 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,01$
Контроль	$0,84 \pm 0,11$	$0,07 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01$	$0,17 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,01$

Аналіз вмісту фосфоліпідів у тканинах зябер показав виражені зміни під впливом фосфатів та їх поєднання із солями важких металів. У контрольній групі концентрація фосфоліпідів становила $0,12 \pm 0,01$ г/л. Під дією фосфатів відзначалося значне зниження цього показника – на 57 % порівняно з контролем. За сумісного впливу фосфатів і солей Cu^{2+} спостерігали різке підвищення концентрації фосфоліпідів, що більш ніж удвічі перевищувало рівень контролю.

Поєднання фосфатів із Cd^{2+} призводило до незначного підвищення концентрації фосфоліпідів, хоча показник залишався нижчим за контрольний. Найменше збільшення зафіксовано при дії фосфатів у поєднанні з Pb^{2+} – на 20 % нижче від рівня контролю.

Аналіз вмісту ФЛ у печінці коропа лускатого продемонстрував виражені тканинносцифічні зміни під впливом фосфатів та їх поєднання із солями важких

металів. У контрольній групі рівень фосфоліпідів становив $0,17 \pm 0,03$ г/л. Під дією фосфатів спостерігалось незначне підвищення цього показника – на 20 %. За сумісного впливу фосфатів із Cu^{2+} вміст фосфоліпідів зменшувався майже удвічі, що демонструє пригнічувальний ефект солей міді на ліпідний обмін. Вплив фосфатів у поєднанні з Cd^{2+} супроводжувався зниженням рівня фосфоліпідів у 2,4 раза, що свідчить про високу токсичність цієї комбінації для тканин печінки. Натомість поєднання фосфатів із Pb^{2+} спричиняло помітне підвищення вмісту фосфоліпідів на 30 % відносно значень у контрольній групі.

Аналіз вмісту фосфоліпідів у тканинах мозку коропа лускатого продемонстрував виражену тканинноспецифічну реакцію на дію фосфатів та їх комбінацій із солями важких металів. У контрольній групі рівень фосфоліпідів становив $0,09 \pm 0,01$ г/л. Під впливом фосфатів спостерігалось різке підвищення вмісту фосфоліпідів, що у п'ять разів перевищувало контрольний рівень, що свідчить про значну стимуляцію синтезу або накопичення фосфоліпідів у нервовій тканині. За сумісного впливу фосфатів із Cu^{2+} рівень фосфоліпідів майже не відрізнявся від контрольного. Поєднання фосфатів із Cd^{2+} ще більше знижувало кількість фосфоліпідів, що вказує на високу токсичність цієї комбінації для нервової тканини. Вплив фосфатів із Pb^{2+} спричиняв помірне підвищення рівня фосфоліпідів, проте воно суттєво поступалося ефекту, зумовленому дією самих фосфатів.

Таким чином, одержані результати демонструють, що тканини мозку коропа є надзвичайно чутливими до дії фосфатів. Їхній вплив спричиняє різке підвищення концентрації фосфоліпідів, тоді як поєднання з солями важких металів проявляє різноспрямовані ефекти: солі купруму та кадмію пригнічують накопичення фосфоліпідів, тоді як свинець, навпаки, зумовлює помірну стимуляцію. Це підкреслює складність адаптаційних механізмів у нервовій тканині у відповідь на комбінований токсичний вплив.

Встановлені зміни у вмісті фосфоліпідів, які є ключовими структурними компонентами біологічних мембран, нерозривно пов'язані з динамікою ферментів, що регулюють їхній метаболізм. Порушення

ліпідного гомеостазу, спричинене токсикантами, часто проявляється через зміну активності ліпази.

Активність ліпази у крові риб контрольної групи становила $1,2 \pm 0,2$ од. акт. Під впливом фосфатів спостерігали лише незначне підвищення активності ферменту. Натомість сумісна дія фосфатів і солей важких металів спричиняла виражену активацію ліпази. Найбільше зростання активності відзначено за дії фосфатів у поєднанні з Cu^{2+} та Cd^{2+} , коли рівень активності перевищував контрольні значення більш ніж удвічі. Комплексна дія фосфатів із Pb^{2+} також викликала підвищення активності ферменту, хоча й меншою мірою.

У тканинах м'язів спостерігалось зниження активності ферменту під впливом фосфатів – на 76 %. Водночас дія фосфатів у поєднанні з солями важких металів призводила до підвищення цього показника: для фосфатів і солей купруму – на 92 %, для фосфатів і солей кадмію – на 64 %, а для фосфатів і солей плумбуму – на 30 %.

У тканинах зябер спостерігалось зменшення активності ферменту під впливом усіх досліджуваних токсикантів. Найбільші зміни активності викликала сумісна дія фосфатів і солей Cu^{2+} – зниження показника становило 91 %. За впливу лише фосфатів активність ферменту зменшувалася на 82 %. Комбінована дія фосфатів із солями Pb^{2+} призводила до зниження активності на 67 %, тоді як найменші зміни (17 %) фіксували за поєднання фосфатів із Cd^{2+} .

Аналіз активності ліпази у тканинах печінки коропа лускатого показав чітко виражені тканинноспецифічні зміни під впливом фосфатів та їх поєднання із солями важких металів. У контрольній групі активність ліпази становила $0,95 \pm 0,16$ од. акт. Під дією фосфатів спостерігалось суттєве зниження ферментативної активності – на 66 % порівняно з контролем. За комбінованого впливу фосфатів із Cu^{2+} активність ліпази зростала майже удвічі відносно контрольного рівня. Поєднання фосфатів із Cd^{2+} також супроводжувалося підвищенням активності, але менш вираженим – на 53 %. Найбільше зростання зафіксовано за дії фосфатів у поєднанні з Pb^{2+} , коли активність перевищувала контрольні значення більш ніж удвічі.

Таблиця 6

Активність ліпази в тканинах риб за комбінованого впливу фосфатів та солей важких металів, од. акт. ($M \pm m$, $n=5$)

Токсикант	Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	$1,43 \pm 0,12$	$0,31 \pm 0,04$	$0,92 \pm 0,06$	$0,31 \pm 0,03$	$0,92 \pm 0,18$
Фосфати + Cu^{2+}	$2,19 \pm 0,15$	$2,4 \pm 0,43$	$0,45 \pm 0,08$	$1,95 \pm 0,39$	$0,3 \pm 0,06$
Фосфати + Cd^{2+}	$2,05 \pm 0,19$	$3,3 \pm 0,46$	$4,16 \pm 0,99$	$1,46 \pm 0,29$	$0,45 \pm 0,08$
Фосфати + Pb^{2+}	$1,49 \pm 0,09$	$1,64 \pm 0,27$	$1,65 \pm 0,34$	$2,55 \pm 0,51$	$0,52 \pm 0,09$
Контроль	$1,2 \pm 0,2$	$1,25 \pm 0,18$	$5,04 \pm 0,95$	$0,95 \pm 0,16$	$1,55 \pm 0,31$

Аналіз активності ферменту в тканинах мозку коропа лускатого показав чітко виражену тканинноспецифічну відповідь на дію фосфатів та їх комбінацій із солями важких металів. У контрольній групі активність ліпази становила $1,55 \pm 0,31$ од. акт. Під впливом фосфатів спостерігалось зниження ферментативної активності на 40 %. За сумісного впливу фосфатів і Cu^{2+} активність ліпази зменшувалася ще більш виражено – на 78 %. Поєднання фосфатів із Cd^{2+} та фосфатів із Pb^{2+} також знижувало активність ферменту – на 71 % і 63 % відповідно.

Таким чином, одержані результати свідчать, що нервова тканина є надзвичайно чутливою до дії фосфатів та їх комбінацій із солями важких металів. Вплив фосфатів спричиняє помірне зниження активності ліпази, тоді як комбінована експозиція фосфатів із солями металів викликає ще більш виражене пригнічення ферментативної активності. Це вказує на високий ризик порушення ліпідного обміну в мозку за умов комбінованого токсичного впливу.

Висновки

Дослідження впливу окремих і комбінованих токсикантів на біохімічні показники коропа лускатого виявило суттєві порушення ліпідного обміну під дією токсичних навантажень. Фосфати спричиняли найзначніші зміни серед усіх досліджуваних токсикантів, зокрема накопичення загальних ліпідів у крові та зниження їхнього вмісту в м'язах, зябрах і печінці.

Фосфонати проявляли менш виражений, проте системний ефект, зумовлений насамперед впливом на нервову тканину. Лаурилсульфат натрію продемонстрував

відносно низьку токсичність і локальний характер дії, переважно на тканини зябер і печінки.

Отримані результати свідчать про високу чутливість окремих тканин до дії фосфатів і їхніх комбінацій із солями важких металів, що супроводжується порушенням ферментативної активності ліпази та змінами у співвідношенні ліпідних фракцій. Це підтверджує важливу роль ліпідного обміну як інтегрального показника токсичного впливу на організм риб.

Аналіз вмісту фосфоліпідів показав, що мозок і кров є найбільш чутливими тканинами: за дії фосфатів рівень фосфоліпідів у мозку зростав більш ніж удвічі. Активність ліпази підвищувалася переважно в крові, печінці та зябрах, що вказує на компенсаторні реакції організму.

Комбінована дія фосфатів і солей важких металів мала синергічний ефект. Найбільші зміни зафіксовано в тканинах мозку: якщо фосфати окремо викликали помірне підвищення рівня фосфоліпідів, то у поєднанні з солями купруму і кадмію накопичення майже повністю блокувалося. Активність ліпази змінювалася по-різному: вона зростала в печінці, але знижувалася в мозку та зябрах.

Отримані результати підтверджують, що фосфати є потужними токсикантами, що впливають на ліпідний обмін коропа лускатого за умов забруднення водою сполуками мінерального й органічного походження. Найчутливішими індикаторами токсичного впливу є вміст фосфоліпідів і загальних ліпідів у крові та тканин мозку, а також рівень активності ліпази в печінці. Отримані результати можуть бути корисними для екотоксикологічної оцінки стану водних екосистем забруднених токсикантами.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (№ протоколу: 5, 3 жовтня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium» (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Bartlett, G. R. (1959). Phosphorus assay in column chromatography. *Journal of Biological Chemistry*, 234(3), 466–468.
- Frings, C. S., & Dunn, R. T. (1970). A colorimetric method for determination of total serum lipids based on the sulfo-phospho-vanillin reaction. *American Journal of Clinical Pathology*, 53(1), 89–91. <https://doi.org/10.1093/ajcp/53.1.89>
- Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., & Saha, N. C. (2021). Effect of heavy metals on fishes: Toxicity and bioaccumulation. *Journal of Clinical Toxicology*, 11(S18), 001. <https://doi.org/10.35248/2161-0495.21.11.S18.001>
- Grubinko, V. V. (2005). Integral assessment of toxic damage in biological systems. Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology, (3), 111–114. (In Ukrainian)
Грубінко В. В. Інтегральна оцінка токсичного ураження у біологічних системах. Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. 2005. № 3. С. 111–114
- Holstein, S. A., & Roy, R. (1946). Determination of lipase activity. *Journal of Biological Chemistry*, 164, 1–8.
- Qi, T., Wu, L., Yu, J., Song, Z., Liu, F., Li, J., Song, X., & Li, X. (2023). Acute low-dose phosphate disrupts glycerophospholipid metabolism and induces stress in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *The Science of the total environment*, 861, 160430. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160430>

Zicarelli, G., Impellitteri, F., & Faggio, C. (2024). Effects of a common surfactant sodium lauryl sulfate on early life stages of two fish and one amphibian species. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(807). <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07639-8>

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191-2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Received: 22.10.2025. **Accepted:** 15.11.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Ячна М., Третьак О. Особливості порушення ліпідного обміну в коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за дії токсикантів різної хімічної природи. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 132–143. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.13>

Cite this article in APA style as:

Yachna, M., & Tretyak A. (2025). Osoblyvosti porushennia lipidnoho obminu v koropa luskatoho (*Cyprinus carpio* L.) za dii toksykantiv riznoi khimichnoi pryrody [Peculiarities of lipid metabolism disruption in common carp (*Cyprinus carpio* L.) exposed to toxicants of different chemical nature]. *Biota. Human. Technology*, (3), 132–143. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.13> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Yachna M. [*in Ukrainian: Ячна М.*] ¹, Senior lecturer, email: m_yachna@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4587-525X

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tretyak A. [*in Ukrainian: Третьак О.*] ², PhD (Biology), Prof., email: alexandr.tretyak@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8989-1601

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation

² Statistical analysis, manuscript preparation



ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF ECOSYSTEMS

**АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ
ЕКОСИСТЕМ**



UDC 574.5:556.11]:712.253(477.51)

DOI: 10.58407/bht.3.25.14



Copyright (c) 2025 Olena Bondar, Oleksandr Parkhomenko, Iryna Kurmakova, Oleksandr Yakovenko, Lesia Kovalska, Anna Zyi

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**Олена Бондар, Олександр Пархоменко, Ірина Курмакова,
Олександр Яковенко, Леся Ковальська, Анна Зуй**

**ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ ГІДРОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ
ІЧНЯНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ**



**Olena Bondar, Oleksandr Parkhomenko, Iryna Kurmakova,
Oleksandr Yakovenko, Lesia Kovalska, Anna Zyi**

**WATER QUALITY OF HYDROLOGICAL OBJECTS
OF ICHNYAN NATIONAL NATURE PARK**

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідити хімічні та фізико-хімічні властивості води гідрологічних об'єктів Ічнянського національного природного парку (далі Ічнянський НПП) та оцінити якість навколишнього природного середовища як важливу передумову збереження природного біорізноманіття.

Методологія. Для оцінки якісного стану водних екосистем було відібрано зразки води з гідрологічних об'єктів основної ділянки Ічнянського НПП та Тростянецького дендропарку (кластерна ділянка Ічнянського НПП). Визначали фізико-хімічні параметри (окисно-відновний потенціал, рН) та вміст окремих іонів: фосфатів, хлоридів, загального заліза, та нітратів. Дослідження проведено за допомогою методів фотоколориметрії, нефелометрії та титрування (кислотно-основне, комплексонометрія).

Наукова новизна. Дослідження хімічних та фізико-хімічних властивостей води більшості гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП до цього часу практично не здійснювалося. Аналіз зразків води показав наявність забруднення гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП. Встановлено підвищений вміст фосфатів та нітратів, що спричиняє евтрофікацію водойм, а також перевищення концентрації хлоридів і загального заліза, які негативно впливають на стан водних екосистем.

Висновки. Для гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП встановлено високий рівень загальної твердості (понад 8 ммоль/дм³) та значне перевищення концентрації загального заліза (у 5,8–7,3 рази вище за гранично допустимі концентрації). Водна рослинність (зокрема *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud та *Typha latifolia* L.) може акумулювати сполуки заліза, що може сприяти природному самоочищенню водойм і покращенню їх екологічного стану. Для збереження екологічної рівноваги та мінімізації антропогенного впливу необхідно проводити постійний моніторинг стану якості води, регулювання господарської діяльності у прибережних зонах та комплекс заходів із відновлення природних екосистем.

Ключові слова: гідрохімічні показники води, Ічнянський національний природний парк, водні об'єкти

ABSTRACT

Purpose of the work. To investigate the chemical and physicochemical properties of water in the hydrological objects of the Ichnianskyi National Nature Park (hereinafter referred to as Ichnianskyi NNP) and to assess the quality of the natural environment as an important prerequisite for the conservation of natural biodiversity.

Methodology. To assess the qualitative state of aquatic ecosystems, water samples were collected from the hydrological objects of the main area of the Ichnianskyi National Nature Park and the Trostianets Dendrological Park (a cluster area of the Park). In the collected samples were determined physicochemical parameters (redox potential, pH), and content of certain ions: phosphates, chlorides, total iron and nitrates. The study was carried out using photocolormetry, nephelometry, and titration methods (acid-base and complexometric).

Scientific novelty. The study of the chemical and physicochemical properties of water in most hydrological objects of the Ichnianskyi National Nature Park has practically not been conducted until now. Analysis of water samples from hydrological sites revealed contamination of surface water bodies. Elevated concentrations of phosphates and nitrates, which cause eutrophication of water bodies, were identified, as well as excess levels of chlorides and total iron, which negatively affect the condition of aquatic ecosystems.

Conclusions. The high level of total hardness (over 8 mmol/dm³) and a significant excess of total iron concentrations (5.8–7.3 times higher than the maximum permissible levels) has been established for the hydrological objects of the Ichnianskyi National Nature Park. Aquatic vegetation (in particular, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud та *Typha latifolia* L.) is capable of accumulating iron compounds, which may contribute to the natural self-purification of water bodies and improve their ecological condition. To maintain ecological balance and minimize anthropogenic impact, it is necessary to conduct continuous monitoring of water quality, and implement a set of measures aimed at restoring natural ecosystems.

Key words: hydrochemical indicators of water, Ichnianskyi National Nature Park, water objects

Вступ

Якість води у природних джерелах є важливим фактором не лише для питного водопостачання або забезпечення якісною сировиною виробництв, а й сприяє розвитку біорізноманіття, що є показником якості навколишнього середовища і має особливе значення для об'єктів національних природних парків (НПП). Постійний моніторинг якості природної води передбачено європейськими вимогами, зокрема Директивами №2000/60/ЄС та №2008/105/ЄС.

Якість природних вод – це їх стан, представлений набором показників, який відображає потреби користувачів у складі й властивостях вод (Yurasov et al., 2011). У наш час для повної оцінки якості води визначається низка показників та індексів. При оцінці екологічного стану водних об'єктів використовують санітарні або рибогосподарські норми якості води, здійснюється біотестування.

Територія Ічнянського НПП (створений відповідно до Указу Президента України від 21 квітня 2004 року) знаходиться у межах Сульсько-Ворсклинської підобласті достатньої водності Лівобережної Дніпровської області (Parkhomenko, 2025a). Гідрологічна мережа Ічнянського НПП включає річки Удай та Іченьку, які утворюють своєрідні водно-болотні ландшафти та низку ставків. У певних гідрологічних об'єктах Ічнянського НПП (ставок Зазим'я, р. Іченька (неподалік с. Хаєнки), р. Іченька (на околиці с. Лучківка), ставок Мисливський) відмічалось перевищення вмісту амоніаку та хлорид йонів, що свідчить про забруднення органічними речовинами та розклад білків (Parkhomenko, 2025b; 2025c). Тому дослідження якості води гідрологічних об'єктів НПП є актуальним практично-науковим завданням.

Важливо оцінити вміст фосфат-йонів. Їх надмірний вміст сприяє бурхливому розростанню водоростей та інших водних рослин, що у свою чергу призводить до зниження рівня кисню у воді, загибелі риби

та інших водних мешканців. Перевищення хлорид-йонів призводить до зміни видового складу рослин і тварин, порушує біологічну рівновагу. Враховуючи особливості природних вод Чернігівщини, важливо визначити вміст загального заліза.

Оцінка якості води постійно привертає увагу дослідників. Частина публікацій стосується моніторингу джерел питної води. Оскільки моніторинг гідрологічних об'єктів НПП є важливою складовою їх діяльності (Shershun et al., 2023) проводяться дослідження якості води природних джерел.

При аналізі гідрохімічних показників води рр. Дністер та Турунчук на території Нижньодністровського НПП (Bohachenko & Tyshchenko, 2025) встановлено перевищення ГДК вмісту сульфат-, нітрит-, хлорид-та амоній-йонів, а також біохімічного споживання кисню. На думку авторів публікації це пояснюється впливом мінеральних добрив. При цьому відмічається високий потенціал досліджених вод до самоочищення.

У роботі (Kropyvnytskyi et al., 2022) проаналізовано ряд фізико-хімічних та гідрологічних показників р. Опір у межах НПП «Сколівські Бескиди». Встановлено перевищення ГДК за вмістом розчиненого кисню, біологічного споживання кисню, йонів амонію, нітратів, нітритів та йонів феруму, що пов'язано з надходженням стічних вод у річку.

Комплексне дослідження водних об'єктів Карпатського НПП представлено у роботі (Kravchynskyi et al., 2019). Встановлено, що близько 90 % природних джерел за мінералізацію води знаходиться у діапазоні «дуже прісні» та «нормально прісні» (30–500 мг/дм³). Деякі з досліджених природних джерел мають мінералізацією води у межах 500–1000 мг/дм³ («пріснуваті») або 1000–3000 мг/дм³ («слабкосолонуваті»).

Аналіз динаміки показників якості води озерних екосистем Шацького НПП, зокрема озера Чорне Велике у 2005–2007 р., свідчить про підвищення вмісту амонійного

азоту, зростання концентрації йонів Кальцію (Sytnik et al., 2009).

Метою нашої роботи є дослідження якості води гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП, як важливої складової забезпечення природного біорізноманіття.

Матеріали та методи дослідження

Відбір зразків проб води з гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП здійснено у травні-червні 2025 р. (табл. 1, рис. 1 а, б).

Таблиця 1

Гідрологічні об'єкти Ічнянського НПП

№ зразка	Назва гідрологічного об'єкту	Час відбору зразка
Тростянецький дендропарк (кластерна ділянка Ічнянського НПП)		
1	ставок Центральний	червень 2025 р
2	ставок Куциха	червень 2025 р.
3	ставок Лебединий	червень 2025 р.
Основна ділянка Ічнянського НПП		
4	ставок Зазим'я	червень 2025 р.
5	р. Удай (біля с. Монастирище)	червень 2025 р.
6	р. Іченька (неподалік с. Хаєнки)	червень 2025 р.
7	ставок Софіївський	червень 2025 р.
8	верхів'я Книшевого бродка	червень 2025 р.
9	ставок Будянський	травень 2025 р.
10	ставок Дзюбівський	травень 2025 р.
11	біля дамби Книшевого бродка	травень 2025 р.

Показник кислотності (рН) води визначали потенціометричним методом із застосуванням рН-метру MW 804 виробництва «Milwaukee» (Bila et al, 2020). Окисно-відновний потенціал (ОВП) вимірювали за допомогою датчика-сенсора ORP-BTA (Vernier). Загальну твердість води (вміст йонів Кальцію та Магнію) визначали методом прямої комплексонометрії (титрант – 0,01н розчин трилону Б; індикатор – хромоген). Лужність гідрокарбонатну (твердість карбонатна) – методом прямої ацидиметрії (титрант – 0,01н розчин хлоридної кислоти; індикатор – метиловий оранжевий) (Okhrimenko & Hafiatullina, 2011).

Вміст хлорид-йонів визначали методом нефелометрії з використанням фотоелектроколориметра КФК-2. Фотоелектроколориметричним методом (КФК-2) визначали загальний вміст йонів Fe^{2+} та Fe^{3+} (Malyna et al. 2014), концентрацію нітрат-йонів та ортофосфат-йонів (Bila et al, 2021).

Аналітична повторність при визначенні кожного показника становила 5 (n=5). Статистичну обробку даних проводили з

використанням комп'ютерної програми Microsoft Excel загальноприйнятими методами варіаційної статистики з використанням t-критерію Ст'юдента (Tarasova, 2008).

Результати дослідження та обговорення

Аналіз зразків води свідчить про те, що їх фізико-хімічні властивості практично не відрізняються: значення рН знаходяться у межах 7,10...7,19; ОВП – у межах 140–165 мВ. Таким чином, досліджену природну воду з гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП можна охарактеризувати, як слаболужне середовище з окислювальними властивостями. У воді з позитивним ОВП переважають окисники, що може вказувати на наявність забруднювачів. При цьому, ОВП природних вод знаходиться у широкому діапазоні значень -400...+700 (Bokhan & Tereshchenko, 2014) і не є нормованим показником. Всі зразки води відрізняються високим показником загальної твердості (більше 8 ммоль/дм³).

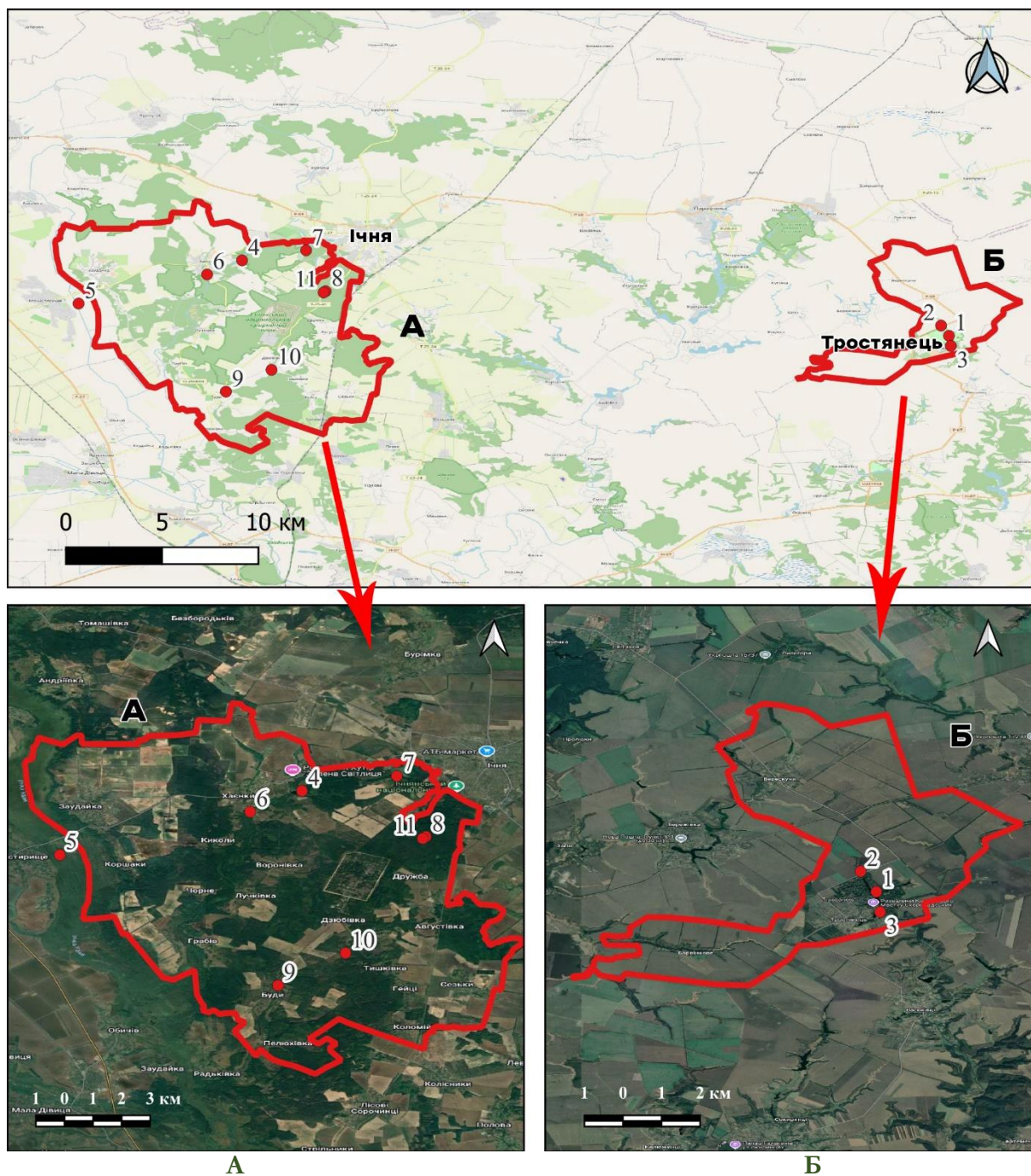


Рис. 1. Карта відбору проб води у межах Ічнянського НПП: А – основна частина парку (4 – ставок Зазим'я, 5 – р. Удай біля с. Монастирище, 6 – р. Іченька неподалік с. Хаєнки, 7 – ставок Софіївський, 8 – верхів'я Книшевого бродка, 9 – ставок Будянський, 10 – ставок Дзюбівський, 11 – біля дамби Книшевого бродка); Б – кластерна ділянка парку (Тростянецький дендропарк: 1 – ставок Центральний, 2 – ставок Куциха, 3 – ставок Лебединий)

Одержані результати хімічного аналізу представлено у табл. 2.

Концентрація хлорид- та фосфат-йонів відповідає нормативам (наведено ГДК відповідно до наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів

України №173 від 05.03.2021 р. «Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти із зворотними водами»).

Таблиця 2

**Хімічні показники зразків води гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП
у порівнянні з ГДК**

№ зразка	Загальна твердість, ммоль/дм ³	Загальна лужність, ммольекв/дм ³	Загальне залізо, мг/дм ³	Концентрація йонів Cl ⁻ , мг/дм ³	Концентрація йонів PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³
1	27,00	9,50	1,83	44,51	0,32
2	31,25	13,50	1,79	54,54	1,37
3	28,25	11,00	1,74	37,83	0,53
4	31,25	14,50	1,79	124,73	3,37
5	31,75	13,50	1,79	14,43	1,90
6	28,00	15,00	1,96	211,63	1,90
7	30,50	10,50	1,92	188,23	1,58
8	9,75	16,00	1,74	184,89	2,95
9	20,40	4,40	1,83	7,75	0,21
10	22,00	6,40	1,92	1,07	2,07
11	8,20	12,80	2,19	64,57	3,17
ГДК (господарсько-побутові)	не нормується	не нормується	0,3	350	3,5

Нітрати у кількості 0,17 мг/дм³ (ГДК–45 мг/дм³) виявлені лише у зразку №11.

Зразки води 2-8 та 11 мають вищу загальну лужність, що може вказувати на підвищений вміст гідрокарбонатів у водній системі, який зумовлено наявністю вапнякових та карбонатних порід.

У всіх досліджених зразках води спостерігається перевищений вміст загального заліза. Однак така особливість характерна для більшості природних вод Чернігівської області. Як відомо, підвищений вміст заліза у воді робить її непридатною не лише для життя, але й для господарських потреб. Це негативно впливає на фотосинтезуючі організми, зокрема водорості, які є основою харчового ланцюга у водних екосистемах. Як наслідок, можливе зменшення різноманіття видів, розвиток лише організмів, стійких до заліза, та зміни у структурі водних угруповань.

Здатність деяких водних рослин, зокрема *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (очерет звичайний) та *Typha latifolia* L.

(рогоз вузьколистий), поглинати й накопичувати залізо (Meitei & Prasad, 2021; Kumari & Tripathi, 2015) може бути використана для покращення якості води гідрологічних об'єктів НПП.

Висновки

Результати визначення хімічних та фізико-хімічних властивостей води гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП свідчать про те, що всі зразки води відрізняються високим показником загальної твердості (більше 8 ммоль/дм³) та містять значну кількість загального заліза, яка у 5,8–7,3 разів перевищує ГДК. Наявність таких водних рослин як *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, які здатні поглинати та накопичувати залізо, буде покращувати якість води гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП. При цьому необхідно проводити постійний моніторинг для попередження антропогенного впливу, посилення природоохоронних заходів.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

Bila, T. A., Liashenko, Ye. V., & Okhrimenko, O. V. (2020). Research on phosphate content in surface waters. *Aquatic bioresources and aquaculture*, 1, 111–118 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.10>

Біла Т. А., Ляшенко Є. В., Охріменко О. В. Дослідження вмісту фосфатів у поверхневих водах. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2020. Вип. 1. С. 111–118. <https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.10>

Bohachenko, M. & Tishchenko, V. (2025) Analysis of water conditions in the Dniester and Turunchuk rivers in the Lower Dniester National Nature Park. *UNIVERSUM*. 17. 117–123. (in Ukrainian). Retrieved from <https://archive.liga.science/index.php/universum/article/view/1641>

Богаченко М., Тищенко В. Аналіз стану води в річках Дністер та Турунчук на території Нижньодністровського національного природного парку. *UNIVERSUM*. 2025. №17. С. 17–123.

Bokhan, Yu. V. & Tereshchenko, O.V. (2014). Oxidation-reduction potential of water as a new hydrobiological indicator of drinking water quality. In *Healthy lifestyle – healthy person – healthy society* (pp. 28–31) Kirovograd National Technical University (in Ukrainian).

Бохан Ю. В. Терещенко О. В. Окисно-відновний потенціал води як новий гідробіологічний показник якості питної води. *Здоровий спосіб життя – здорова людина – здорове суспільство: матеріали міжнар. наук.-практ. конф.*, 10-11 квіт. 2014 року, м. Кіровоград / М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. Кіровоград: КНТУ, 2014. С. 28–31.

Kravchynskyi, R. L., Khilchevsky, V. K., Korchemlyuk, M. V., & Stefurak, O. M.. (2019). Monitoring of natural water sources of the Carpathian National Nature Park (Kravchynskyi, Ed.). *Foliant*. (in Ukrainian).

Моніторинг природних водних джерел Карпатського національного природного парку / Р. Л. Кравчинський та ін.; за ред. В. К. Хільчевського. Івано-Франківськ: Фоліант., 2019. 124 с.

Kropyvnytskyi, L. M., Bryndzia, I. V., Martyniuk I. M., Karshen, A. M., & Stadnichuk, O. M. (2022). Assessment of the ecological risk of the surface water state of the Opir river within the boundaries of the Skolivski Beskidy national nature park. *Acta Carpathica*. (2), 22–30. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.2.3>

Оцінка екологічного ризику стану поверхневих вод річки опір у межах національного природного парку «Сколівські Бескиди» / Л. М. Кропивницька, І. В. Бриндзя, І. М. Мартинюк, та ін. *Acta Carpathica*. 2022. № 2. С. 22–30. <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.2.3>

Kumari, M., & Tripathi, B. (2015). Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal removal from wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 112. 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.10.034>

Malyna, V. V., Liasota, V. P., & Hryshko, V. A. (2014). Physical, chemical and biological indicators of water quality: methodological guidelines. Bila Tserkva National Agrarian University (in Ukrainian).

Малина В. В., Лясота В. П., Гришко В. А. Фізичні, хімічні та біологічні показники якості води: метод. вказівки. Біла Церква: Білоцерківський національний аграрний університет, 2014. 48 с.

Meitei, M. D., & Prasad, M. N. V. (2021). Potential of *Typha latifolia* L. for phytofiltration of iron-contaminated waters in laboratory-scale constructed microcosm conditions. *Appl. Water Sci.*, 11(47). <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01339-4>;

Okhrimenko, O. V., & Hafiatullina, O. H. (2011). Assessment of the quality of drinking water by chemical parameters. *Taurian Scientific Bulletin*, 77, 211–214 (in Ukrainian).

Охріменко О. В., Гафіатулліна О. Г. Оцінка якості питної води за хімічними показниками. *Таврійський науковий вісник*. 2011. № 77. С. 211–214.

Parkhomenko, O. G. (2025a) Spatial-temporal analysis of morphometric characteristics of water bodies in the Ichnya National Nature Park. In Current state and trends in science and education (pp. 193-197). International Humanitarian Research Center (in Ukrainian).

Пархоменко О.Г. Просторово-часовий аналіз морфометричних характеристик водних об'єктів Ічнянського національного природного парку. "Сучасний стан та тенденції розвитку науки та освіти": матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (10 лютого 2025 р., м. Дніпро). Дніпро: Міжнародний гуманітарний дослідницький центр Research Europe, 2025. С. 193–197

Parkhomenko, O. G. (2025b). Assessment of the level of ammonia pollution of hydrological objects in the Ichnya National Nature Park. In Water resources: current state, effective technologies for rational use and protection (pp. 27–28). T. H. Shevchenko National University «Chernihiv collegium» (in Ukrainian).

Пархоменко О. Г. Оцінка рівня аміачного забруднення гідрологічних об'єктів Ічнянського НПП. Водні ресурси: сучасний стан, ефективні технології раціонального використання та охорона: збірник тез доповідей регіональної науково-практичної конференції (27 березня 2025 р., м. Чернігів). Чернігів: НУЧК імені Т. Г. Шевченка, 2025. С. 27–28.

Parkhomenko, O. (2025c). Hydrochemical analysis of water bodies in the Ichnya National Nature Park. In Constructive geography and cartography: status, problems, prospects (pp. 220–223). Ivan Franko National University of Lviv. (in Ukrainian)

Пархоменко О. Гідрохімічний аналіз водних об'єктів Ічнянського національного природного парку. Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми, перспективи: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 25-річчю кафедри конструктивної географії і картографії Львівського національного університету імені Івана Франка, Львів, Україна, м. Львів, 1–3 травня 2025 р. С.220–223.

Shershun, M. H., Mykyten, T. M., Ivashynyuta, S. V., & Dikovytskyi, V. M. (2023). SWOT analysis of the work of national nature parks. *Balanced nature management*. 3/2023, 5–13. (in Ukrainian) <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2023.287815>

Шершун М. Х., Микитин Т. М., Івашинюта С. В., Діковицький В. М. SWOT-аналіз роботи національних природних парків. Збалансоване природокористування. 2023. № 3/2023 С. 5–13. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2023.287815> (in Ukrainian)

Sytnik, Y. M., Osadcha, N. M., Shevchenko, P. G., Kyrychuk, G. E., Zabitivsky, Y. M., Khomik, N. V., Sydorenko, M. M., & Maystruk, I. A. (2009). Hydrochemical studies of lake ecosystems in Shvatska National Nature Park. Lake Chorne Velyke (review). *Nature conservation in Ukraine*. 15(2), 104–105. (in Ukrainian).

Гідрохімічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку. Озеро Чорне Велике (огляд) / Ю. М. Ситник, Н. М. Осадча, П. Г. Шевченко та ін. Заповідна справа в Україні. 2009. Т.15. Вип. 2. С.104–105.

Tarasova, V. V. (2008). Ecological statistics (with a block-modular form of knowledge control): a textbook. Centre of scientific literature. (in Ukrainian).

Тарасова В. В. Екологічна статистика (з блочно-модульною формою контролю знань): навчальний підручник Київ: Центр учбової літератури, 2008. 392 с.

Yurasov, S. M., Safranov, T. A., & Chugai, A. V. (2011). Assessment of natural water quality. Published by Odessa State Environmental University. (in Ukrainian)

Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чугай А. В. Оцінка якості природних вод. Одеса: Вид-во Одеського державного екологічного університету, 2011. 164 с.

Received: 09.09.2025. Accepted: 02.10.2025. Published: 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Бондар О., Пархоменко О., Курмакова І., Яковенко О., Ковальська Л., Зуй А. Оцінка якості води гідрологічних об'єктів Ічнянського національного природного парку. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 145–152. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.14>

Cite this article in APA style as:

Bondar, O., Parkhomenko, O., Kurmakova, I., Yakovenko, O., Kovalska, L., & Zyi, A. (2025). Otsinka yakosti vody hidrologichnykh ob'ektiv Ichnianskoho natsionalnoho pryrodnoho parku [Water quality of hydrological objects of Ichnyan national nature park]. *Biota. Human. Technology*, (3), 145–152. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.14> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Bondar O. [*in Ukrainian: Бондар О.*] ¹, PhD (Technical Sciences), Assoc. Prof., email: bondar4elena@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9612-0546 Scopus-Author ID: 54583088800 ResearcherID: AAH-6361-2019
Department of Physics and Astronomy, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine.

Parkhomenko O. [*in Ukrainian: Пархоменко О.*] ², PhD (Geography), Assoc. Prof., email: sasho1979turizm@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7939-9576 Scopus-Author ID: 57210551735
Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine.

Kurmakova I. [*in Ukrainian: Курмакова І.*] ³, D.Sc. (Technical Sciences), Prof., email: i.kurmakova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8916-6546 Scopus-Author ID: 6603630402 ResearcherID: H-2041-2019
Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine.

Yakovenko O. [*in Ukrainian: Яковенко О.*] ⁴, PhD (Biology), email: ajakov2@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1417-6042 Scopus-Author ID: 57205261327 ResearcherID: AAF-7401-2021
Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine.

Kovalska L. [*in Ukrainian: Ковальська Л.*] ⁵, PhD (Geography), Assoc. Prof., email: gnatuk_L@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7582-8249
Department of Tourism studies and Local history, Vasyl Stefanyk Carpathian National University
57 Shevchenko Street, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine.

Zyi A. [*in Ukrainian: Зуй А.*] ⁶, Bachelor's Degree Candidate, email: anna.annaa2004@gmail.com
ORCID: 0009-0008-1938-8988
Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine.

¹ Study design, data collection, statistical analysis.

² Study design, manuscript preparation, data collection.

³ Manuscript preparation, statistical analysis

⁴ Data collection.

⁵ Study design.

⁶ Data collection.



Copyright (c) 2025 Stanislav Dushkin

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Станіслав Душкін

ЗМІНА КЛІМАТУ ЯК КАТАЛІЗАТОР ВОДНИХ КОНФЛІКТІВ



Stanislav Dushkin

CLIMATE CHANGE AS A CATALYST FOR WATER CONFLICTS

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Метою дослідження є комплексний аналіз впливу зміни клімату на ескалацію водних конфліктів у глобальному та регіональному вимірах з акцентом на ситуацію в Україні, систематизація типології таких конфліктів та формулювання практичних рекомендацій щодо запобігання й пом'якшення їх наслідків через інтегроване управління водними ресурсами.

Методологія. Дослідження здійснено на основі системного підходу з використанням статистичного аналізу даних Pacific Institute (Water Conflict Chronology, 2014–2024), кореляційного аналізу взаємозв'язку кліматичних аномалій (температурні й опадові відхилення) з частотою інцидентів, компаративного регіонального аналізу та case-study з детальною реконструкцією подій в Україні (2014–2024). Використано також методи контент-аналізу, картографування та систематизації емпіричних даних.

Наукова новизна. Уперше виконано синтез кількісних даних про водні інциденти з кліматичними показниками за 2014–2024 рр.; встановлено сильну позитивну кореляцію між температурними аномаліями та частотою водних конфліктів ($r=0,89$; $R^2=0,79$); систематизовано типологію конфліктів за роллю води («тригер», «жертва», «зброя»), а на прикладі України продемонстровано трансформацію водних ресурсів у воєнний інструмент.

Висновки. Зміна клімату виступає потужним мультиплікатором ризиків, що підсилює частоту й інтенсивність водних конфліктів; регіони з високим водним стресом мають найбільшу вразливість. Необхідне впровадження інтегрованих систем управління водними ресурсами, превентивних систем раннього попередження, адаптаційних технологій водозбереження та посилення міжнародної водної дипломатії. Практична значимість – рекомендації для національної політики водної безпеки й міжнародних механізмів транскордонного управління, та конкретні рекомендації для політиків і практиків.

Ключові слова: зміна клімату, водні конфлікти, водні ресурси, дефіцит води, міжнародні відносини, ескалація конфліктів

ABSTRACT

Purpose of the work. The aim of the study is a comprehensive analysis of the impact of climate change on the escalation of water conflicts at global and regional scales, with emphasis on the situation in Ukraine, the systematization of the typology of such conflicts, and the formulation of practical recommendations to prevent and mitigate their consequences through integrated water resources management.

Methodology. The study is based on a systems approach using statistical analysis of data from the Pacific Institute (Water Conflict Chronology, 2014–2024), correlation analysis of the relationship between climate anomalies (temperature and precipitation deviations) and incident frequency, comparative regional analysis and case-study reconstruction of events in Ukraine (2014–2024). Content analysis, mapping, and empirical data systematization methods were also used.

Scientific novelty. For the first time, a synthesis of quantitative incident data with climate indicators for 2014–2024 was performed, revealing a strong positive correlation between temperature anomalies and the frequency of water conflicts ($r=0.89$; $R^2=0.79$); the typology of conflicts by the role of water ('trigger', 'victim', 'weapon') was systematized, and the Ukrainian case demonstrates the transformation of water resources into a wartime instrument.

Conclusions. Climate change acts as a powerful threat multiplier, increasing the frequency and intensity of water conflicts; regions with high water stress are most vulnerable. The study highlights the need for integrated water management systems, early-warning preventive systems, adaptive water-saving technologies, and international water diplomacy to reduce conflict escalation. Practical significance – recommendations for national water security policy and international transboundary water governance, and concrete recommendations for policymakers and practitioners.

Key words: climate change, water conflicts, water resources, water scarcity, international relations, conflict escalation

Вступ

Вода є ключовим природним ресурсом, що визначає життєздатність екосистем, соціально-економічний розвиток та продовольчу безпеку. В умовах глобальних змін клімату доступ до безпечної й якісної прісної води дедалі більш обмежений: підвищення середньорічних температур і модифікація режимів опадів спричиняють зміни річкового стоку, танення льодовиків і посилення екстремальних явищ (IPCC, 2023). Наслідком є зниження доступності води та погіршення її якості, що створює додатковий тиск на соціальні та економічні системи і посилює напруженість навколо водних ресурсів (Pacific Institute, 2024).

Проблема є особливо гострою в транскордонних басейнах, де зміни гідрологічного режиму можуть провокувати міждержавні суперечки і загострення конфліктів (Wolf et al., 2003; Yoffe et al., 2004). Відсутність дієвих механізмів координації та інтегрованого управління створює передумови для перетворення води на інструмент політичного тиску (Zeitoun & Warner, 2006). Саме поєднання кліматичних, економічних та політичних чинників формує складний контекст, у якому локальні проблеми водопостачання набувають регіонального чи міжнародного масштабу.

Окремий аспект, що ускладнює відновлення й управління водними ресурсами, – активне поширення інвазійних чужорідних видів, які змінюють структуру рослинного покриву та впливають на гідрологічні процеси (Gentili et al., 2021). Антропогенна діяльність, зокрема транспорт і трансформація землекористування, сприяє швидкій інтродукції видів у нові біотопи (Lorenzo & Morais, 2023). Для деревних порід це також актуально: понад 700 деревних видів визнані інвазійними в різних регіонах світу і становлять серйозну загрозу для місцевих екосистем (Hirsch et al., 2017; Hejda et al., 2017).

В українському контексті поєднання кліматичних змін і збройної агресії створило низку унікальних викликів для водної безпеки. Останні дослідження свідчать про значне погіршення ситуації: руйнування інфраструктури, забруднення джерел і цілеспрямоване використання води як елементу воєнної тактики (Snizhko et al., 2024a; Snizhko et al., 2024b; Napich et al.,

2024). Такі трансформації демонструють, як водні ресурси можуть одночасно виступати «тригером», «жертвою» та «зброєю» конфлікту, що ускладнює процеси відновлення й адаптації.

Методологічні підходи сучасних досліджень підкреслюють необхідність міждисциплінарності: поєднання кліматології, гідрології, політичної географії та конфліктології для формування ефективних стратегій управління водною безпекою (Kåresdotter et al., 2025). Праці з адаптації інфраструктур, розробки математичних моделей прогнозування «гарячих точок» і створення систем раннього попередження виявляються перспективними напрямками для пом'якшення ризиків (Naderi et al., 2024; Romashchenko et al., 2025).

Отже, існує нагальна потреба у всебічному аналізі механізмів взаємодії кліматичних змін і соціально-політичних процесів, що призводять до ескалації водних конфліктів. Ця робота спрямована на систематизацію наявних доказів та формулювання практично спрямованих рекомендацій для зниження напруженості й підвищення стійкості водних систем у глобальному та регіональному вимірах (United Nations, 2024; Kulkarni, 2024).

Матеріали та методи дослідження

Дослідження взаємозв'язку між зміною клімату та ескалацією водних конфліктів базується на комплексному міждисциплінарному підході, що поєднує методи кліматології, гідрології, конфліктології та геополітичного аналізу (Gleick, 2014; Wolf et al., 2003). Методологічна основа дослідження обґрунтовується на системному підході до вивчення складних соціально-екологічних систем, де кліматичні зміни розглядаються як драйвери трансформації водних ресурсів та каталізatori конфліктних ситуацій (IPCC, 2023).

Основним джерелом емпіричних даних слугувала база даних Water Conflict Chronology Тихоокеанського інституту (Pacific Institute, 2024), яка містить найбільшу повну хронологію водних конфліктів у світі з 2500 року до н.е. до сьогодення. Ця база даних класифікує водні конфлікти за трьома основними категоріями залежно від ролі води в конфлікті: вода як «тригер» (безпосередня причина конфлікту), вода як «зброя» (інструмент ведення війни) та вода як

«жертва» (об'єкт, що є в результаті конфлікту) (Gleick, 2014). Для дослідження було відібрано дані за період 2014–2024 років, що охоплює 1547 задокументованих водних інцидентів.

Кліматичні дані були отримані з офіційних метеорологічних баз даних, включаючи дані Національного управління океанічних та атмосферних досліджень США (NOAA, 2024), Всесвітньої метеорологічної організації (WMO, 2024) та Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC, 2023).

Статистичний аналіз включає розрахунок коефіцієнта кореляції Пірсона для визначення міцності зв'язку між кліматичними параметрами та частотою водних конфліктів (Field, 2018). Для оцінки статистичної значущості результатів використовувався t-критерій Стюдента при рівні значущості $p < 0,05$. Коефіцієнт детермінації R^2 дозволяє визначати частку дисперсії водних конфліктів, що пояснюється кліматичними факторами.

Географічний аналіз розподілу водних конфліктів було проведено за регіональним принципом, використовуючи класифікацію, що охоплює: Африку на південь від Сахари, Близький Схід та Північну Африку (MENA), Азію та Тихоокеанський регіон, Європу та Центральну Азію, Латинську Америку та Карибський басейн, а також Північну Америку. Для кожного з цих регіонів розраховувався рівень водного стресу, що визначався як відсоток населення, яке стикається з високою або критичною нестачею води, згідно з методологією Інституту світових ресурсів (WRI, 2023).

Детальний кейс-аналіз водних конфліктів в Україні проводився з використанням методології case-study (Yin, 2018), що дозволило глибоко проаналізувати механізми трансформації водних ресурсів у засоби ведення війни. Для цього було проаналізовано 116 водних інцидентів на території України за період 2014–2024 років, класифікованих за типом конфлікту, географічним розташуванням, масштабом впливу та часовими рамками (Kharlamova et al., 2022).

Результати дослідження та обговорення

Зміна клімату є однією з головних причин зростання напруженості навколо водних ресурсів у всьому світі. Глобальне

потепління призводить до підвищення середньорічної температури, що спричиняє танення льодовиків і полярних шапок. Це, у свою чергу, змінює режим річкового стоку та призводить до екстремальних погодних явищ, таких як посухи та повені (United Nations, 2024). За даними ООН, до 2030 року дефіцит води може становити 40 %, що створює безпрецедентний тиск на світові водні ресурси (United Nations, 2024). Ці процеси не лише зменшують доступність прісної води, а й погіршують її якість.

Проблема стає особливо гострою в регіонах, що залежать від транскордонних річок. Зменшення стоку однієї з приток може спровокувати конфлікт між державами, що розташовані нижче за течією (Naderi et al., 2024). Прикладами таких регіонів є басейни Нілу, Тигру та Євфрату, де вже сьогодні спостерігається високий рівень напруженості через обмеженість водних ресурсів (Kulkarni, 2024). Відсутність дієвих механізмів міжнародної співпраці в управлінні спільними водними ресурсами перетворює кліматичні виклики на політичні та соціальні конфлікти.

«Корінь» будь-якого конфлікту криється в незгоді сторін, адже водні ресурси є не лише об'єктом суперництва, а й інструментом для досягнення цілей (Kåresdotter et al., 2025). Вирішальне значення в уникненні водних конфліктів має здатність керівників держав до взаємодії та компромісів. Важливим прикладом спроб міжнародної співпраці у водній сфері є створення Nile Basin Initiative у 1999 році (Salman, 2010), коли вперше всі прибережні країни Нілу (крім Еритреї) погодилися на комплексний механізм співпраці. Однак, незважаючи на ці зусилля, суперечки навколо вод Нілу між Єгиптом, Суданом, Ефіопією та іншими країнами продовжуються і сьогодні (Cascão, 2011), особливо щодо будівництва Великої Ефіопської дамби відродження. Сучасні дослідження показують, що енергетична торгівля може пом'якшити водні конфлікти в басейні Нілу (Wheeler et al., 2024), створюючи нові можливості для взаємовигідного співробітництва між країнами регіону (Didkovska, 2024).

Хоча водні конфлікти не є новим явищем – перший відомий випадок стався у шумерській Гuedені ще 2500 р. до н.е. – їхня кількість та інтенсивність значно зросли в сучасну епоху (Pacific Institute, 2024). Як

пропрокував віце-президент Світового банку І. Серагелдін, що «війни цього століття точитимуться за воду», ці слова набувають особливої актуальності (Serageldin, 1995). Аналіз даних свідчить, що XXI століття справді характеризується безпрецедентним зростанням конфліктів за водні ресурси (Pacific Institute, 2024).

Згідно з даними Тихоокеанського інституту, значне збільшення кількості водних конфліктів спостерігається саме з 2000 року. Лише в період з 2014 по 2024 рік було зафіксовано 1547 інцидентів, що становить 89 % від усіх зареєстрованих випадків у міжнародній базі даних (Pacific Institute, 2024). Особливо напруженим видався 2023 рік, коли було задокументовано 342 конфлікти – на 50 % більше, ніж у 2022-му. Географія цих конфліктів розширилася, охопивши Україну, Близький Схід та країни Африки.

Україна, на жаль, стала епіцентром водних конфліктів в Європі. У період з 2014 по 2024 рік у країнах Європи було зафіксовано 127 водних інцидентів, і 91 % з них припали саме на Україну (Pacific Institute, 2024). Ці дані яскраво ілюструють, як воєнні дії перетворюють водні ресурси на зброю, посилюючи кліматичні загрози та створюючи катастрофічні наслідки для населення та довкілля.

Перший етап водних конфліктів: анексія Криму та початок війни на Донбасі (2014-2022).

Після анексії Криму Російською Федерацією у 2014 році водна криза півострова стала однією з найгостріших у Європі. Блокування Північно-Кримського каналу, який забезпечував 85 % водопостачання Криму з Дніпра, призвело до катастрофічного дефіциту води. За період 2014-2022 років в анексованому Криму було зафіксовано 23 водних інциденти, включаючи конфлікти навколо водозабезпечення населених пунктів, сільського господарства та промислових об'єктів.

Захоплення частин Донецької та Луганської областей створило додаткові осередки водних конфліктів. З 2014 року окуповані території зіткнулися з системними проблемами водопостачання через руйнування інфраструктури та порушення логістичних ланцюгів. На території ОРДЛО за період 2014-2022 років зафіксовано 31 водний інцидент, переважно пов'язаний з

пошкодженням водопровідних мереж, конфліктами за доступ до джерел води та екологічними катастрофами через затоплення шахт.

Повномасштабне вторгнення Росії в Україну 24 лютого 2022 року кардинально змінило характер та масштаби водних конфліктів. За останні два з половиною роки (2022-2024 рр.) кількість водних інцидентів зросла експоненційно. Тільки за 2022-2024 роки в Україні зафіксовано 78 нових водних конфліктів, що становить 68 % від усіх європейських водних інцидентів за цей період.

Цілеспрямоване руйнування Каховської ГЕС у червні 2023 року стало найбільшою техногенною водною катастрофою в Європі за останні десятиліття. Підлив дамби призвів до затоплення 600 км² території, залишив без води понад 700 000 людей та спричинив екологічну катастрофу в Чорноморському регіоні. Цей інцидент демонструє, як водна інфраструктура використовується як зброя масового ураження проти цивільного населення.

Загалом, за десять років конфлікту (2014-2024 рр.) в Україні задокументовано 116 водних інцидентів, що робить країну абсолютним лідером водних конфліктів у Європі та одним з найбільших осередків таких конфліктів у світі.

За даними Тихоокеанського інституту, водні конфлікти поділяються на типи залежно від ролі, яку вода відіграє в суперечці. Тихоокеанський інститут, що веде хронологію водних конфліктів, розрізняє три основні категорії: вода як «тригер», вода як «зброя» та вода як «жертва» (Pacific Institute, 2024):

– вода як «тригер» – цей тип конфлікту виникає, коли водні ресурси є безпосередньою рушійною силою або причиною початку конфлікту. Це відбувається в ситуаціях, коли доступ до води або її контроль є центральним питанням. Конфлікти можуть бути спричинені дефіцитом води (кількісним або якісним), що призводить до напруженості між різними групами, громадами або державами. Також конфлікти виникають через контроль над водними об'єктами, що є джерелом ресурсів для кількох сторін. Прикладами таких конфліктів є суперечки за доступ до води в транскордонних річкових басейнах, що посилюються через зміну клімату та збільшення кількості посушливих періодів.

– вода як «зброя» – у цьому випадку вода використовується як інструмент або засіб ведення війни. Це може включати цілеспрямоване руйнування водопровідної інфраструктури, дамб чи насосних станцій, щоб завдати шкоди противнику або вплинути на його поведінку. Прикладом є знищення гідротехнічних споруд з метою затоплення територій, припинення водопостачання або використання посухи для тиску на цивільне населення. Такі дії є порушенням міжнародного гуманітарного права і мають руйнівні наслідки для екосистем. В таблиці 1 наведені категорії водного озброєння.

– вода як «жертва» – вода стає «жертвою» конфлікту, коли її джерела або інфраструктура страждають від ненавмисних або опосередкованих наслідків військових дій. Це може бути забруднення річок чи озер внаслідок бомбардувань промислових об'єктів, витік токсичних речовин або руйнування очисних споруд, що призводить до масштабного забруднення довкілля. Забруднення або пошкодження водних ресурсів через бойові дії робить їх непридатними для використання, що створює довгострокові екологічні та гуманітарні проблеми.

Таблиця 1

Категорії водного озброєння

Категорія	Визначення
Стратегічна зброя	Використання води для знищення великих або важливих територій, об'єктів, груп населення чи інфраструктури.
Тактична зброя	Використання води проти цілей, що мають суто військове значення на полі бою.
Примусова зброя	Використання води для фінансування територіального управління або придбання зброї з метою досягнення легітимності.
Ненавмисна зброя	Використання води як зброї спричиняє побічну шкоду довкіллю або її людським компонентам.
Інструмент психологічного терору	Використання погрози відмови в доступі до води або її цілеспрямованого забруднення для залякування цивільного населення.
Інструмент шантажу	Використання водопостачання для винагороди за поведінку залежного населення та підтримки легітимності агресора.

Примітка: сформовано автором на основі даних (Climate and Security Center, 2023).

Окупація частин Донецької та Луганської області зі створенням ОРДЛО, анексія Криму та повноцінне вторгнення РФ, спровокували чисельні водні конфлікти на території України (Табл. 2).

Використовуючи методологію пошуку даних та їх аналіз запропонованій Е. Karesdottter та її колегами (Kåresdotter et al., 2025), можна прийти к висновкам, що найбільша кількість конфліктів через водні ресурси проходиться на Африку (рис. 1), за структурою водних конфліктів у 39 % вода є причиною конфлікту, а в 50 % – «жертвою» (рис. 2).

Аналіз емпіричних даних підтверджує, що водні конфлікти демонструють чіткі географічні та часові закономірності, які безпосередньо корелюють зі зміною клімату. Географічний розподіл конфліктів свідчить про їх високу концентрацію в регіонах з найбільшим дефіцитом водних ресурсів. Так, за даними досліджень, лівова частка водних конфліктів припадає на Африку (39 %) та Азію (28 %). Такий розподіл безпосередньо відображає рівень водного стресу, що вимірює відсоток населення, яке перебуває під загрозою критичної нестачі води.

Таблиця 2

Класифікація водних конфліктів в Україні (2014-2024)

Категорія	Період	Конкретні випадки	Локація	Наслідки
Вода як «тригер»				
Дефіцит води через блокування каналу	2014-2022	Блокування Північно-Кримського каналу після анексії Криму	Крим, Херсонська область	85 % водопостачання Криму припинено, аграрна криза
Конкуренція за водні ресурси	2014-2024	Конфлікти за доступ до підземних вод у ОРДЛО	Донецька, Луганська області	Затоплення 150+ шахт, забруднення водоносних горизонтів
Транскордонні суперечки	2022-2024	Контроль над дніпровським каскадом ГЕС	Уся течія Дніпра	Порушення водного режиму для 12 млн людей
Вода як «зброя»				
Стратегічна зброя	2023	Підриг Каховської ГЕС (6 червня 2023)	Херсонська, Миколаївська області	620 км ² затоплено, 700 тис. без води, \$14 млрд збитків
Тактична зброя	2022-2024	Атаки на водопровідні станції та насосні системи	Харків, Київ, Маріуполь	Припинення водопостачання мільйонів людей
Примусова зброя	2014-2022	Використання водного дефіциту для політичного тиску на Крим	Крим	Залежність від російського водопостачання
Ненавмисна зброя	2022-2024	Пошкодження водних систем під час боїв	Маріуполь, Северодонецьк	Забруднення річок, втрата доступу до води
Психологічний терор	2022-2024	Систематичні атаки на водну інфраструктуру міст	Київ, Харків, Одеса	Деморалізація цивільного населення
Шантаж	2014-2024	Контроль водопостачання на окупованих територіях	ОРДЛО, Крим	Політична лояльність в обмін на воду
Вода як «жертва»				
Забруднення промислових об'єктів	2022-2024	Бомбардування хімізаводів поблизу річок	Северодонецьк, Рубіжне	Забруднення Сіверського Дінця
Руйнування очисних споруд	2022-2024	Знищення водоочисних станцій	Маріуполь, Бахмут	Скидання неочищених стоків у річки
Екологічна катастрофа	2023-2024	Висихання Каховського водосховища після підризу дамби	Запорізька, Херсонська області	Деградація екосистеми Дніпра, загроза ЗАЕС
Затоплення шахт	2014-2024	Припинення водовідведення на окупованих шахтах	Донецька, Луганська області	Забруднення підземних вод важкими металами

Примітка: сформовано автором на основі даних (Pacific Institute, 2024; Gleick P.H., et al., 2024; Borysova O. et al., 2024; United Nations Ukraine, 2023; Ukraine War Environmental Consequences Work Group, 2024; Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, 2025).

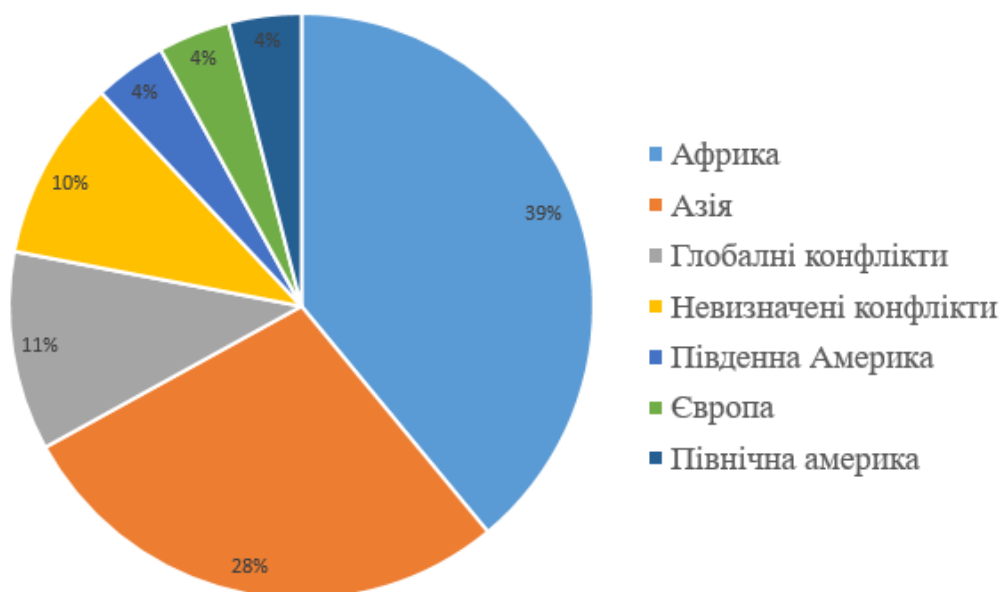


Рис. 1. Географічний розподіл конфліктів

Примітка: сформовано автором на основі даних (Pacific Institute, 2024)

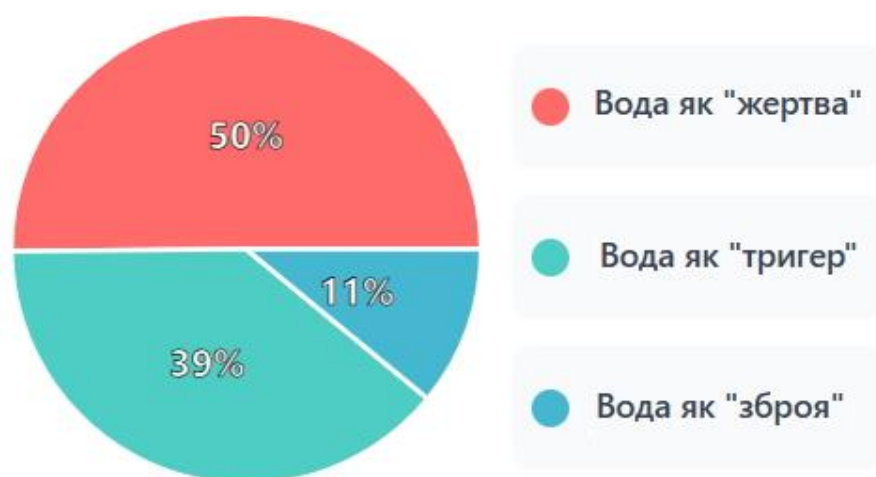


Рис. 2. Структура водних конфліктів

Примітка: сформовано автором на основі даних (Pacific Institute, 2024)

Напруженість навколо водних ресурсів не лише провокує конфлікти, а й є їхнім наслідком, що призводить до зростання водного стресу (рис. 3) – стану, коли попит на воду перевищує доступні запаси. Найвищий рівень водного стресу, що становить 83 %, зафіксовано в регіоні MENA (Близький Схід і Північна Африка). Цей показник прямо корелює з високою концентрацією водних

конфліктів у цьому регіоні, що підкреслює їх взаємозалежність. Таким чином, водний стрес виступає як індикатор вразливості, а його високий рівень слугує потужним каталізатором, який посилює існуючі конфлікти.

За даними Pacific Institute Water Conflict Chronology (Pacific Institute, 2024) побудовано динаміку водних конфліктів (рис. 4).

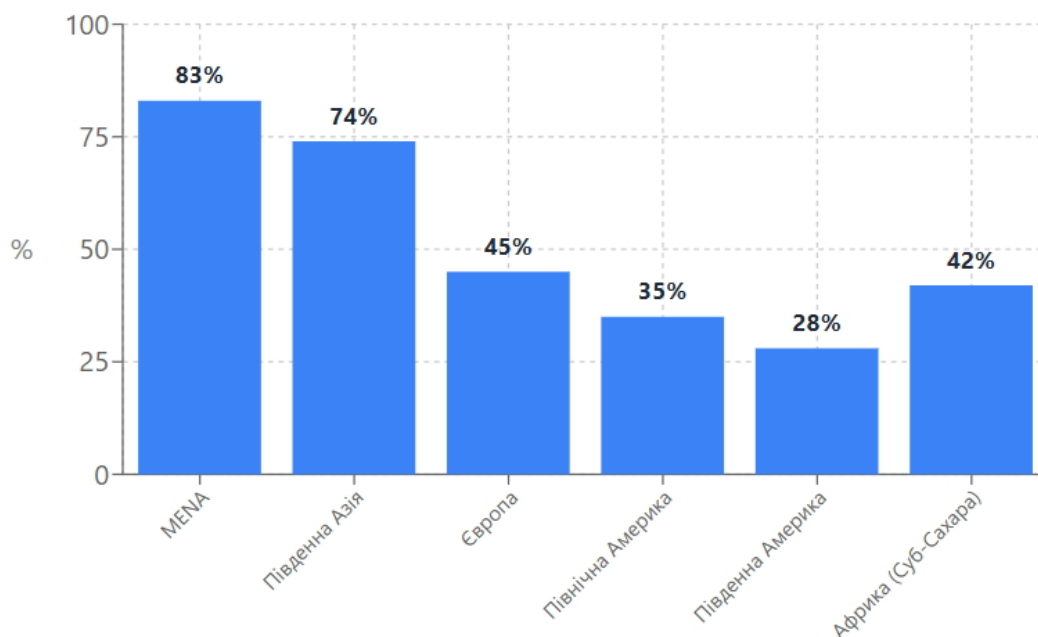
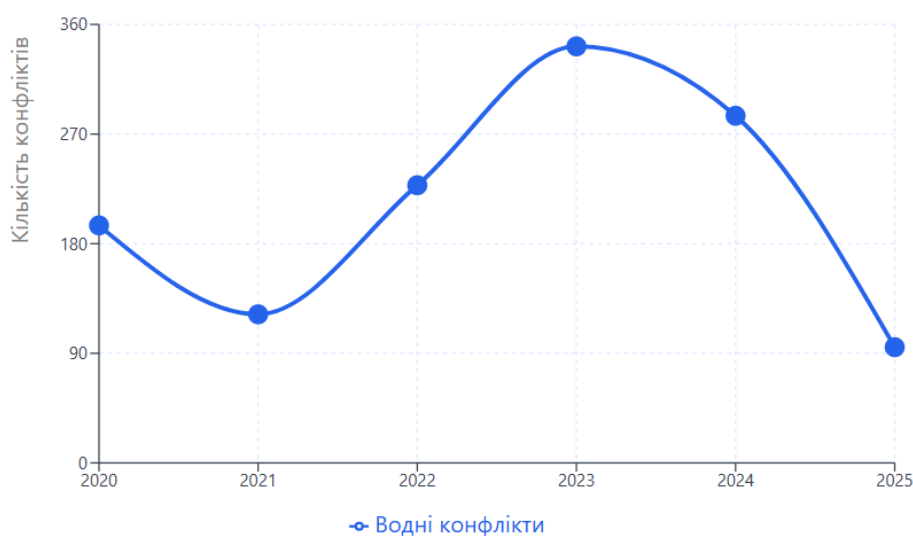


Рис. 3. Рівень водного стресу за регіонами, %

Примітка: сформовано автором на основі даних (Pacific Institute, 2024)



**Рис. 4. Динаміка водних конфліктів за 2020-25 рр.
(за 2025 р часткові дані до серпня)**

Примітка: сформовано автором на основі даних (Pacific Institute, 2024)

Проведена кореляція між кліматичними аномаліями та водними конфліктами (рис. 5).

Для повного розуміння механізмів, за якими кліматичні зміни стають каталізатором конфліктів, необхідний детальний аналіз кореляції між кліматичними аномаліями та зростанням напруженості. Це дозволяє перейти від загальних гіпотез до конкретних даних.

Вплив кліматичних аномалій на водні конфлікти можна розділити на два основні напрямки. Перший – це екстремальні погодні явища (Extreme Weather Events), які є рідкісними подіями, що виходять за межі нормальних кліматичних коливань. До них належать сильні посухи, коли відсутність опадів триває понад 3–6 місяців, та катастрофічні повені, коли добова норма опадів перевищує місячну. Крім того, сюди ж

відносяться швидкі переходи від посухи до повені, раптове танення льодовиків та урагани з екстремальними опадами. Частота таких подій, які зазвичай трапляються рідше, ніж раз на 10–20 років, неухильно зростає: у 2024 році було зафіксовано 34 подібні аномалії, тоді як у 2020-му їх було лише 15 (Pacific Institute, 2024).

Другий напрямок – це зміна кількості опадів (Precipitation Change), яка вимірюється як відсоткове відхилення від середнього показника за тривалий період. Від'ємні значення цього показника прямо

вказують на посуху: помірна засуха відповідає зниженню опадів на 5-10 %, сильна – на 10-20 %, а екстремальна – більш ніж на 20 %.

Зв'язок з водними конфліктами:

Екстремальні події → руйнують водну інфраструктуру → конфлікти за відновлення

Зменшення опадів → дефіцит води → конкуренція за ресурси → конфлікти

Комбінація факторів → системна водна криза → масові конфлікти

Рисунок 5 побудовано за даними наведеними в таблиці 3.

Таблиця 3

Вихідні дані (кліматичні показники та екстремальні події за 2020-2024 роки)

Рік	2020	2021	2022	2023	2024
Температурна аномалія	+1,02 °C	+0,84 °C	+1,15 °C	+1,48 °C	+1,52 °C
Зміна опадів	- 8,2 %	- 2,1 %	- 12,5 %	- 15,8 %	- 18,2 %
Кількість екстремальних подій	15	12	22	28	34

Примітка: сформовано автором на основі даних (Pacific Institute, 2024; Kåresdotter E., at al., 2025; Kuzma S., at al, 2023; FAO & UN-Water, 2024; Meredith S., 2024; SIPRI, 2019; The World Bank. Beyond Scarcity, 2017)

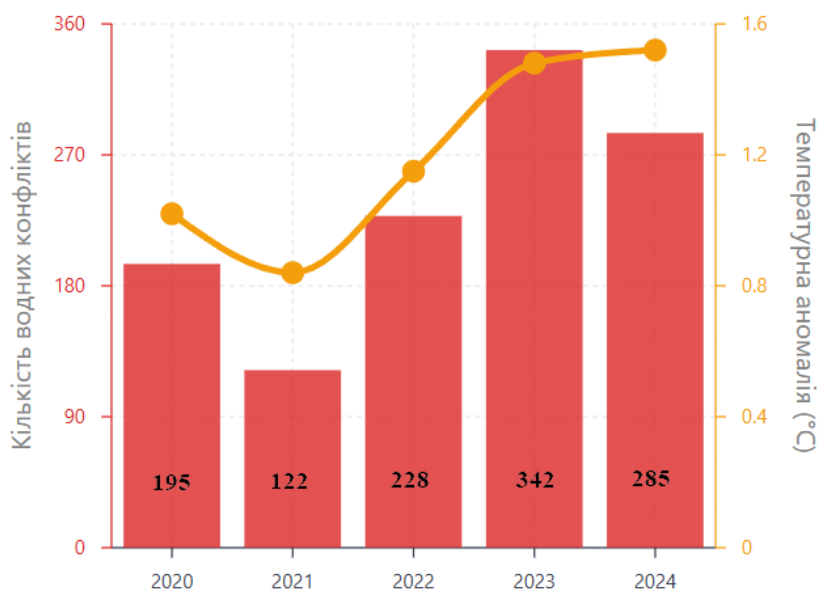


Рис. 5. Кореляція між кліматичними аномаліями та водними конфліктами

Примітка: Кореляція Пірсона $r = 0,89$ – сильна позитивна кореляція між температурними аномаліями та кількістю водних конфліктів; Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,79$ – 79 % варіації кількості конфліктів пояснюється кліматичними факторами

Сформовано автором на основі даних (Pacific Institute, 2024; Kuzma S., at al, 2023; FAO & UN-Water, 2024; Meredith S., 2024; SIPRI, 2019; The World Bank. Beyond Scarcity, 2017; Carnegie Endowment for International Peace, 2024)

Таким чином взаємозв'язок між кліматичними аномаліями та водними конфліктами демонструє значну кореляцію. Екстремальні погодні явища, такі як повені, можуть спричиняти пошкодження водної інфраструктури, що, у свою чергу, призводить до напруженості навколо її відновлення. Водночас, скорочення опадів і тривалі посухи спричиняють зростання дефіциту води, посилюючи конкуренцію за ресурси та потенційно призводячи до нових конфліктів. У комбінації ці фактори можуть створювати системну водну кризу, що сприяє ескалації напруженості, а зміна клімату виступає як мультиплікатор загроз, що посилює наявну вразливість і прискорює виникнення конфліктів за водні ресурси.

Висновки

Проведене дослідження підтверджує гіпотезу про те, що зміна клімату виступає потужним каталізатором ескалації водних конфліктів у глобальному масштабі. Аналіз емпіричних даних за період 2014-2024 років демонструє експоненційне зростання кількості водних інцидентів: з 1547 зафіксованих конфліктів 89 % припадає саме на останнє десятиліття, що свідчить про прискорення цих процесів під впливом кліматичних змін.

Встановлено сильну позитивну кореляцію ($r=0,89$) між температурними аномаліями та частотою водних конфліктів, при цьому кліматичні фактори пояснюють 79 % варіації у кількості конфліктів. Це підтверджує, що глобальне потепління, зміна режиму опадів та екстремальні погодні явища безпосередньо впливають на доступність водних ресурсів, створюючи передумови для ескалації напруженості.

Географічний аналіз виявив чітку закономірність: найвища концентрація водних конфліктів спостерігається в регіонах з критичним рівнем водного стресу. Регіон MENA з показником водного стресу 83 % демонструє найбільшу нестабільність, тоді як на Африку та Азію сукупно припадає 67 % усіх світових водних конфліктів. Це підтверджує гіпотезу про те, що водний стрес виступає індикатором вразливості та потенційним джерелом конфліктів.

Систематизація типології водних конфліктів дозволила виявити три основні категорії: вода як «тригер» (39 %), як «жертва» (50 %) та як «зброя» (11 %). Кейс

України унікально демонструє всі три типи одночасно, особливо використання води як стратегічної зброї, що найяскравіше проявилось у підриві Каховської ГЕС у 2023 році.

Узагальнення наслідків кліматичних змін для водних ресурсів показує, що основними механізмами впливу є: скорочення річкового стоку через танення льодовиків, зміна сезонного розподілу опадів, частіші екстремальні явища (посухи та повені), деградація якості води через підвищення температури та засолення. Ці процеси не лише зменшують доступність прісної води, а й погіршують її якість, створюючи подвійний тиск на водні системи.

Щодо шляхів запобігання водним конфліктам, дослідження виявило кілька ключових напрямків. По-перше, необхідність створення превентивних систем раннього попередження, що базуються на моніторингу кліматичних аномалій та рівня водного стресу. По-друге, розвиток міжнародних інституційних механізмів для управління транскордонними водними ресурсами, зокрема через адаптацію існуючих угод до нових кліматичних реалій. По-третє, впровадження інноваційних технологій водозбереження та альтернативних джерел водопостачання (опріснення, рециркуляція, збір дощової води) для зменшення залежності від природних водних систем.

Особливого значення набуває розвиток дипломатії водних ресурсів як інструменту превентивної дипломатії. Успішні приклади, такі як Індо-Пакистанський договір про води Інду, демонструють можливість мирного врегулювання навіть найскладніших водних суперечок за умови наявності ефективних інституційних рамок та політичної волі сторін.

Перспективи подальших досліджень включають розробку математичних моделей прогнозування водних конфліктів на основі кліматичних сценаріїв IPCC, що дозволить створити системи раннього попередження для найбільш вразливих регіонів. Актуальним є дослідження ефективності різних механізмів міжнародного врегулювання водних суперечок та їх адаптації до нових викликів, пов'язаних зі зміною клімату. Перспективним напрямком є також вивчення ролі гендерних аспектів у водних конфліктах, оскільки жінки часто несуть основний тягар водної кризи, але рідко беруть участь у прийнятті рішень щодо

управління водними ресурсами. Крім того, необхідні дослідження економічної ефективності різних стратегій адаптації до водного дефіциту та їх впливу на соціальну стабільність. Важливим є також розвиток міждис-

циплінарних підходів, що поєднують кліматологію, гідрологію, політичну географію та конфліктологію для створення комплексної теорії водно-кліматичних конфліктів XXI століття.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Всі дані використані в статті доступні у цитованих літературних джерелах, нові дані не створювалися / All data used in the article are available in the cited literature sources; no new data were created.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

Під час підготовки цього рукопису автор використовував claude.ai при аналізі бази даних Pacific Institute з метою вибірки водних конфліктів що виникли через зміну клімату, сортуванню їх по категоріям де вода виступала в ролі «триггеру», «зброї» або «жертви»; пошуку взаємозв'язків між кількістю водних конфліктів, географічним поділом і кліматичними умовами. Після застосування цього інструменту автор ретельно переглянув та відредагував вміст і несе повну відповідальність за остаточну опубліковану версію / While preparing this manuscript, the author used claude.ai to analyse the Pacific Institute database in order to select water conflicts that arose due to climate change, sorting them into categories where water acted as a 'trigger,' 'weapon,' or 'victim'; searching for correlations between the number of water conflicts, geographical distribution, and climatic conditions. After using this tool, the author carefully reviewed and edited the content and bears full responsibility for the final published version.

References

Borysova, O., Kondakov, A., Paleari, S., Amato, M. L., Rizza, M. D., Cogliati, S., Papi, A., & Cinnirella, S. (2024). Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*, 384(6692), 162–165. <https://doi.org/10.1126/science.adn8655>

Carnegie Endowment for International Peace. (2024). Assessing climate adaptation plans in the Middle East and North Africa. <https://carnegieendowment.org/research/2024/04/assessing-climate-adaptation-plans-in-the-middle-east-and-north-africa?lang=en>

Cascão, A. E. (2011). Challenges for water sharing in the Nile basin: changing geo-politics and changing climate. *Hydrological Sciences Journal*, 56(4), 687–702. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.577037>

Climate and Security Center. (2023). Water weaponization: Its forms, its use in the Russia-Ukraine war, and what to do about it. <https://climateandsecurity.org/2023/06/water-weaponization-its-forms-its-use-in-the-russia-ukraine-war-and-what-to-do-about-it/>

Didkovska, L. (2024). Vodni konflikty v Ukraini ta sviti [Water conflicts in Ukraine and the world]. *Acta Academiae Beregsasiensis. Economy*, 5(5), 69–85. <https://doi.org/10.58423/2786-6742/2024-5-69-85> (in Ukrainian)

Дідковська Л. Водні конфлікти в Україні та світі. *Acta Academiae Beregsasiensis. Економіка*. Т.5, №5. С. 69–85. 2024. <https://doi.org/10.58423/2786-6742/2024-5-69-85>

FAO & UN-Water. (2024). Progress on the level of water stress – Mid-term status of SDG Indicator 6.4.2 and acceleration needs, with special focus on food security – 2024. <https://www.unwater.org/publications/progress-level-water-stress-2024-update>

Gleick, P., Vyshnevskiy, V., & Shevchuk, S. (2023). Rivers and water systems as weapons and casualties of the Russia-Ukraine war. *Earth's Future*, 11(9). <https://doi.org/10.1029/2023EF003910>

Hapich, H., Novitskyi, R., Onopriienko, D., Dent, D., & Roubik, H. (2024). Water security consequences of the Russia-Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security*, 21, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100167>

Kåresdotter, E., Destouni, G., Lammers, R. B., Keskinen, M., Pan, H., & Kalantari, Z. (2025). Water conflicts under climate change: Research gaps and priorities. *Ambio*, 54, 618–631. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02111-7>

Kulkarni, N. (2024). War and climate change intensify global water-related conflicts. New Security Beat. <https://www.newsecuritybeat.org/2024/09/war-and-climate-change-intensify-global-water-related-conflicts/>

Kuzma, S., Saccoccia, L., & Chertock, M. (2023). 25 countries, housing one-quarter of the population, face extremely high water stress. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>

Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries. (2025). Water at war: the long-term environmental consequences of the destruction of the Kakhovka Dam in Ukraine. <https://www.preventionweb.net/news/water-war-long-term-environmental-consequences-destruction-kakhovka-dam-ukraine>

Meredith, S. (2024). Water shortages are likely brewing future wars – with several flashpoints across the globe. CNBC. <https://www.cnbc.com/2024/09/05/water-wars-flashpoints-identified-in-africa-asia-and-the-middle-east.html>

Naderi, L., Karamidehkordi, E., Badsar, M., & Moghadas, M. (2024). Impact of climate change on water crisis and conflicts: Farmers' perceptions at the ZayandehRud Basin in Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 54, 101878. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101878>

Pacific Institute. (2024). Water conflict chronology. <https://www.worldwater.org/water-conflict/>

Romashchenko, M., Faybishenko, B., Onopriienko, D., Hapich, H., Novitskyi, R., Dent, D., Saidak, R., Usatyi, S., & Roubík, H. (2025). Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. *Water International*, 50(2), 104–120. <https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2472718>

Salman, S. M. A. (2010). Nile Basin Cooperative Framework Agreement negotiations and the adoption of a 'water security' paradigm: Flight into obscurity or a logical cul-de-sac? *European Journal of International Law*, 21(2), 421–440. <https://doi.org/10.1093/ejil/chq027>

- Serageldin, I. (1995). Toward sustainable management of water resources. Directions in Development, The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/14358>
- Snizhko, S., Didovets, I., & Bronstert, A. (2024a). Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*, 23, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>
- Snizhko, S., Didovets, I., Shevchenko, O., Yatsiuk, M., Hattermann, F. F., & Bronstert, A. (2024b). Southern Bug River: Water security and climate changes perspectives for post-war city of Mykolaiv, Ukraine. *Frontiers in Water*, 6, 1447378. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1447378>
- Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI). (2019). The confluence of crises: Water, climate and security in the Middle East and North Africa. <https://www.sipri.org/publications/2019/sipri-insights-peace-and-security/confluence-crises-water-climate-and-security-middle-east-and-north-africa>
- The World Bank. (2017). Beyond scarcity: Water security in the Middle East and North Africa. <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/beyond-scarcity-water-security-in-the-middle-east-and-north-africa>
- Ukraine War Environmental Consequences Work Group. (2024). The thirsty peninsula: How much water will Crimea need in the future? <https://uwecworkgroup.info/the-thirsty-peninsula-how-much-water-will-crimea-need-in-the-future/>
- United Nations. (2024). Water – at the center of the climate crisis. <https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/water>
- United Nations Ukraine. (2023). Kakhovka Dam destruction inflicted US\$14 billion damage and loss on Ukraine: Government of Ukraine–UN report. <https://ukraine.un.org/en/249742-kakhovka-dam-destruction-inflicted-us14-billion-damage-and-loss-ukraine-government-ukraine>
- Wheeler, K. G., M. E., Etichia, M., Basheer, M., Bravo, R., Gutierrez, J., Endegnanew, A., Gonzalez, J. M., Hurford, A., Tomlinson, J., Martinez, E., Panteli, M., & Harou, J. J. (2024). Energy trade tempers Nile water conflict. *Nature Water*, 2(4), 315–325. <https://doi.org/10.1038/s44221-024-00222-9>

Received: 14.08.2025. Accepted: 03.09.2025. Published: 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Душкін С. Зміна клімату як каталізатор водних конфліктів. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 153–165. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.15>

Cite this article in APA style as:

Dushkin, S. (2025). Zmina klimatu yak katalizator vodnykh konfliktiv [Climate change as a catalyst for water conflicts]. *Biota. Human. Technology*, (3), 153–165. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.15> (in Ukrainian)

Information about the author:

Dushkin S. [in Ukrainian: Душкін С.], PhD (Technical Sciences), Associate Professor, email: dushkin@khadi.kharkov.ua
ORCID: 0000-0002-9345-9632 Scopus-Author ID: 57209021455 ResearcherID: AAK-8407-2020
Department of Ecology, Road-Building Faculty, Kharkiv National Automobile and Highway University
25 Yaroslav Mudryi Street, Kharkiv, 61002, Ukraine



Copyright (c) 2025 Svitlana Boychenko, Olena Kozak, Yulia Andrishko, Valentyn Yarynka

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Світлана Бойченко, Олена Козак, Юлія Андрішко, Валентин Яринка

**ОСОБЛИВОСТІ АЕРОЗОЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ
ЧАСТИНКАМИ $PM_{2.5}$ І PM_{10} ТА СТАН ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ
В М.КИЄВІ В 2024 РОЦІ**

Svitlana Boychenko, Olena Kozak, Yulia Andrishko, Valentyn Yarynka

**FEATURES OF AEROSOL POLLUTION OF ATMOSPHERE
BY $PM_{2.5}$ AND PM_{10} PARTICLES AND THE STATE
OF GREEN SPACES IN KYIV IN 2024****АНОТАЦІЯ**

Мета роботи. Метою даного дослідження є комплексний аналіз динаміки аерозольного забруднення повітря в умовах мегаполіса з урахуванням просторового розподілу концентрацій $PM_{2.5}$ і PM_{10} , їх взаємозв'язків із погодними умовами та впливу на стан міських зелених насаджень.

Методологія. Методологія поєднує польові, лабораторні, статистичні й геоінформаційні підходи. Джерела даних: SaveEcoBot (сім автоматичних станцій), супутникові знімки Sentinel-2, векторні шари QGIS, оперативна інформація про ракетні обстріли, пилові бурі, пожежі, а також зразки листя дерев *Acer platanoides*, *Acer negundo*, *Tilia cordata*, *Populus nigra* та *Robinia pseudoacacia*, відібраних у зонах спостереження.

Наукова новизна. Дослідження є комплексним аналізом динаміки та просторового розподілу концентрацій $PM_{2.5}$ і PM_{10} у Києві в умовах 2024 року з урахуванням факторів воєнного впливу, пилових бур і пожеж. Уперше поєднано дані автоматизованого моніторингу, супутникових спостережень, геоінформаційного аналізу. Отримано нові емпіричні дані щодо рівня пошкодження зелених насаджень в умовах аерозольного навантаження.

Висновки. Рівень аерозольного забруднення повітря в Києві у 2024 році демонстрував численні короткотривалі перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК), зумовлені військовими обстрілами, пиловими бурями та пожежами. Спостереження за станом зелених насаджень в локаціях моніторингових станцій показали ознаки стресу деревних видів, що проявлялося у вигляді хлорозів, некрозів, та пошкодження патогенами листків дерев. Виявлено залежність між рівнем забруднення та морфо-фізіологічним станом дерев. Результати підкреслюють необхідність активного моніторингу якості повітря, адаптивного озеленення міста та врахування впливу війни в екологічній політиці. Застосований підхід є дієвим інструментом для діагностики урбоєкосистем в умовах багатфакторного стресу.

Ключові слова: аерозольні частинки $PM_{2.5}$ та PM_{10} , пилові бурі, пожежі, війна, зелені насадження

ABSTRACT

Purpose of the work. The purpose of this study is a comprehensive analysis of the dynamics of aerosol air pollution in a metropolis, taking into account the spatial characteristics of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations, relationships with weather conditions, and the impact on the condition of urban green spaces.

Methodology. The methodology combined field, laboratory, statistical and geoinformation approaches. Data sources included SaveEcoBot (seven automatic stations), Sentinel-2 satellite imagery, QGIS vector layers, real-time information on missile strikes, dust storms and fires, as well leaf samples from *Acer platanoides*, *Acer negundo*, *Tilia cordata*, *Populus nigra* and *Robinia pseudoacacia* trees collected at the observation sites.

Scientific novelty. The study is a comprehensive analysis of the dynamics and spatial distribution of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in Kyiv in 2024, taking into account factors of military influence, dust storms and fires. For the first time, data from automated monitoring, satellite observations, and geoinformation analysis were combined. New empirical data were obtained on the level of damage of leaves under aerosol loading conditions.

Conclusions. The level of aerosol air pollution in Kyiv in 2024 demonstrated numerous short-term exceedances of the maximum permissible concentrations (MPC), caused by military shelling, dust storms and fires. Observations of urban plantations at the monitoring station sites revealed signs of stress in tree species, including chlorosis, necrosis, and pathogen-induced leaf damage. A relationship was found between the level of pollution and the morpho-physiological

state of trees. The results emphasize the need for active monitoring of air quality, adaptive greening of the city and taking into account the impact of war in environmental policy. The applied approach is an effective tool for diagnosing urban ecosystems under conditions of multifactorial stress.

Key words: PM_{2.5} and PM₁₀ aerosol particles, dust storms, fires, war, green spaces

Вступ

Забруднення атмосферного повітря в міських агломераціях є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, що суттєво впливає на стан здоров'я населення, якість життя та стійкість міських екосистем (Renard et al., 2023; Tomson et al., 2023). Основними чинниками, які визначають погіршення якості повітря, є аерозольні частинки – тверді або рідкі мікрочастинки, зважені у повітрі. За класифікацією ВООЗ, найбільшу небезпеку для здоров'я людини становлять частинки PM_{2.5} і PM₁₀, що здатні проникати у нижні відділи дихальної системи та системний кровообіг, спричиняючи широкий спектр хронічних захворювань (WHO, 2010). Українські нормативи, з огляду на євроінтеграційний курс, певною мірою гармонізовані з європейськими директивами (Europe's air quality status, 2022). Зокрема, Директива 2008/50/ЄС «Про якість атмосферного повітря для Європи» встановлює граничне середньорічне значення концентрації для часток PM_{2.5} – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а для PM₁₀ – 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, тоді як граничне середньодобове значення концентрації для PM₁₀ – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а для часток PM_{2.5} граничного середньодобового значення не встановлено (Exceedance of air quality standards in Europe, 2024).

Міські території характеризуються високою щільністю населення, інтенсивним транспортним рухом, високою концентрацією промислових джерел викидів та значною площею штучних поверхонь, що формують додаткові джерела аерозольного навантаження. Київ як мегаполіс та столиця України є показовим прикладом великого міста з комплексною екологічною ситуацією, що поєднує вплив факторів антропогенного походження (транспорт, промисловість, зменшення площі зелених зон, «міський тепловий острів») із додатковими викликами, пов'язаними з наслідками воєнних дій (обстріли, вибухи, пожежі) (Boychenko et al., 2025; Karamushka et al., 2025). Під впливом цих чинників суттєво змінюється якість атмосферного повітря, а також умови існування міських екосистем.

Особливо важливою складовою міського середовища є зелені насадження, які відіграють роль природних фільтрів, стабілізують мікроклімат, поглинають пил та шум, підвищують стійкість міських територій до змін клімату. Водночас рослини чутливо реагують на підвищення рівня забруднення повітря, що проявляється як на клітинному рівні, так і у вигляді видимих морфологічних змін.

Метою дослідження є аналіз особливостей просторово-часового розподілу аерозольного забруднення атмосферного повітря частинками PM_{2.5} та PM₁₀ у м. Києві у 2024 році на основі даних семи наземних моніторингових станцій, а також оцінка стану міських зелених насаджень за результатами натурних обстежень.

Матеріали та методи дослідження

Методологія дослідження базувалася на інтеграції кількох джерел даних та методів – польових, лабораторних, статистичних і геоінформаційних, що забезпечило комплексний підхід до аналізу аерозольного забруднення повітря в умовах великого міста та стану зелених насаджень.

Основою аналізу концентрацій частинок PM_{2.5} і PM₁₀, стали відкриті дані платформи SaveEcoBot (ресурс: <https://www.saveecobot.com/maps>), яка агрегує інформацію з мережі громадських моніторингових станцій по всій Україні. Для м. Києва було відібрано сім найбільш стабільних та достовірних локацій (див. табл. 1). Період спостережень охоплює 01.01.2024-31.12.2024 і включає погодинні значення, які були усереднені до добових значень.

Польові дослідження проводилися в липні 2024 року у різних локаціях Києва, які включали райони з високим транспортним навантаженням та зелені зони (Kozak et al., 2025). На моніторингових ділянках досліджували листя найпоширеніших деревних порід, зокрема наступні: *Acer platanoides* (клен гостролистий), *Acer negundo* (клен ясенелистий), *Robinia pseudoacacia* (робінія звичайна), *Populus nigra* (тополя чорна) та *Tilia cordata* (липа серцелиста).

З кожного дерева для дослідження було відібрано по 10 листків. Для кожного зразка фіксували GPS-координати, дату відбору, проводили візуальну оцінку пошкоджень листя (у %), зокрема такі як хлорози, некрози, пігментація, пошкодження фітофагами та патогенами. Польові роботи проводилися з дотриманням принципів екологічної етики, без ушкодження або порушення цілісності дерев.

Для просторового аналізу використувалася QGIS 3.28 із відкритими шарами OpenStreetMap, супутниковими даними Sentinel-2 (обробка через Google Earth Engine) (ресурс: <https://earthengine.google.com>). Було створено векторні шари меж мікрорайонів Києва, основних транспортних артерій, водних об'єктів і зелених зон. Геоприв'язка даних дозволила аналізувати щільність забруднення по районах міста та стан зелених насаджень в заданих локаціях.

На основі даних ЗМІ та метеопорталів було відновлено дати повторюваності пилкових бур, пожеж і ракетних обстрілів з метою

співставлення їх із періодами максимальних концентрацій частинок $PM_{2.5}$ і PM_{10} у 2024 році.

В роботі застосовано статистичний аналіз емпіричних даних, графічна візуалізація була виконана за допомогою MS Excel.

Результати дослідження та обговорення

Особливості просторово-часового розподілу концентрацій $PM_{2.5}$ і PM_{10} за даними 7-ми моніторингових станцій у м. Києві в 2024 році.

Особливості просторово-часового розподілу концентрацій $PM_{2.5}$ і PM_{10} для семи вибраних локацій у Києві протягом 2024 року аналізувалися на основі даних наземного моніторингу (ресурс: <https://www.saveecobot.com>). У 2024 році середньорічна концентрація аерозольних частинок у місті Києві становила:

для $PM_{2.5}$ – $14.64 \pm 9.05 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$,
для PM_{10} – $23.06 \pm 14.85 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ (див. табл. 1).

Таблиця 1

Характерні значення вмісту аерозольних частинок розмірами $PM_{2.5}$ і PM_{10} на станціях спостереження в м. Києві в 2024 році

№	Станція моніторингу	Концентрації PM_{10} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$			Концентрації $PM_{2.5}$, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
		Середньорічний вміст	Максимальні значення	Мінімальні значення	Середньорічний вміст	Максимальні значення	Мінімальні значення
1	Вул. Турівська, 28	22.3 ± 12.4	92.7	5.2	13.6 ± 7.8	54.6	3.0
2	Вул. Китайська, 22	22.5 ± 13.7	90.0	3.8	13.9 ± 8.2	59.5	3.1
3	Вул. Вербицького, 26	25.9 ± 16.7	110.6	2.5	18.1 ± 11.1	74.4	2.8
4	Харківське шосе, 7/1	25.5 ± 17.1	106.7	3.1	16.2 ± 10.3	77.9	2.5
5	Пр.Європейського союзу, 64г	21.1 ± 14.7	107.0	3.2	13.2 ± 8.3	56.2	2.2
6	Вул. Щусєва, 21	22.6 ± 14.9	112.3	3.9	13.4 ± 7.9	61.6	3.1
7	Пр.Берестейський, 97	21.3 ± 13.2	93.8	3.9	13.8 ± 8.0	61.8	2.8

Добові значення, які були усереднені до середньомісячних концентрацій аерозольних частинок розміром $PM_{2.5}$ і PM_{10} в атмосфері, представлені на рис. 1 (а, б). Протягом року концентрації частинок $PM_{2.5}$ демонстрували два чітко виражених максимуми – у березні ($21.4 \pm 3.3 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) та у вересні ($21.6 \pm 3.1 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$). У холодний період року (жовтень–лютий) середньомісячні кон-

центрації частинок становили близько $15.5 \pm 1.3 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$, з максимальними значеннями у січні ($18.4 \pm 2.0 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$). В теплий період року (квітень–серпень) концентрації частинок становили в середньому – $10.1 \pm 1.3 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Розподіл концентрацій частинок PM_{10} протягом року мав подібний характер, хоча з певними відмінностями: два пікові періоди – у березні ($30.0 \pm 3.3 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) та вересні

($42.0 \pm 5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – та два мінімуми – у червні ($15.9 \pm 1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) та грудні ($15.9 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Упродовж холодного (жовтень–лютий) і теплого (квітень–серпень) періодів середні концентрації PM_{10} становили близько $21.5 \pm 2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Максимальні добові концентрації частинок PM_{10} зафіксовані 1–2 квітня – $83.5 \pm 3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ та 3–4 жовтня квітня – $101.9 \pm 9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ з перевищенням ГДК вдвічі,

а частинок $\text{PM}_{2.5}$ зафіксовано 20 вересня – $63.7 \pm 9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ та 04 січня і 01 квітня – $43.9 \pm 7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ з перевищенням ГДК в 2–3 рази.

Співставлення добових концентрацій аерозольних частинок розмірів $\text{PM}_{2.5}$ та PM_{10} в атмосфері в 2024 році, представлено на рис. 2.

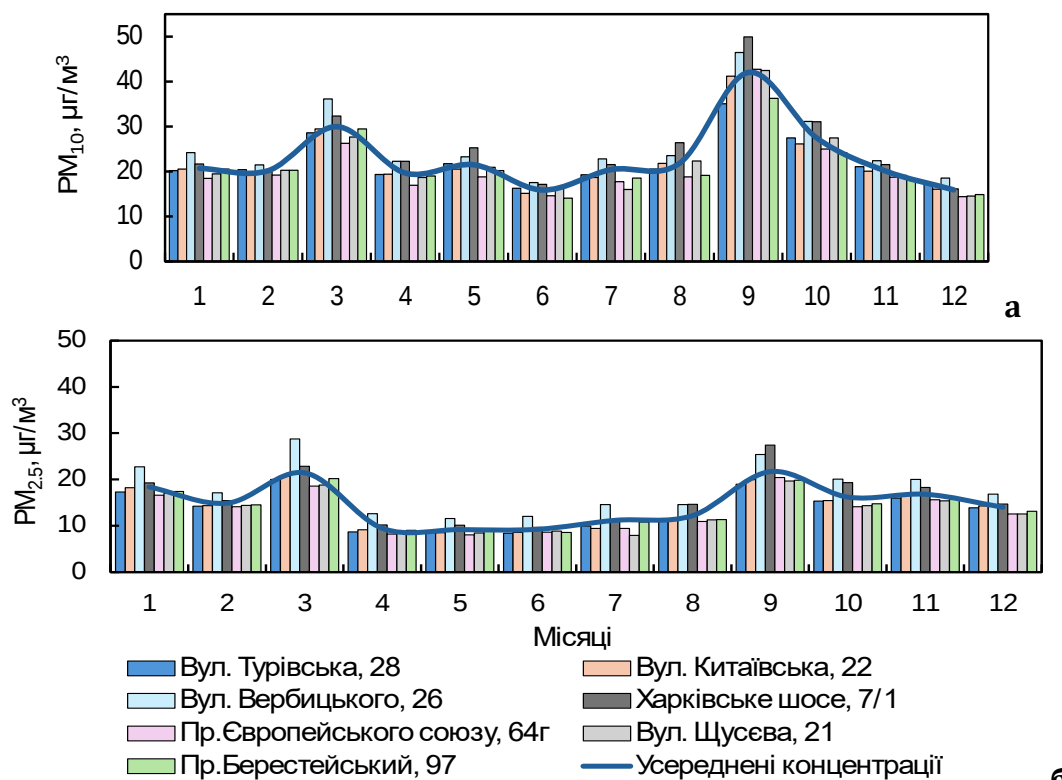


Рис. 1. Динаміка середньомісячних концентрацій в атмосфері аерозольних частинок розмірами PM_{10} (а) $\text{PM}_{2.5}$ (б) за даними 7-ми автоматизованих моніторингових станцій, розташованих в м.Києві в 2024 році

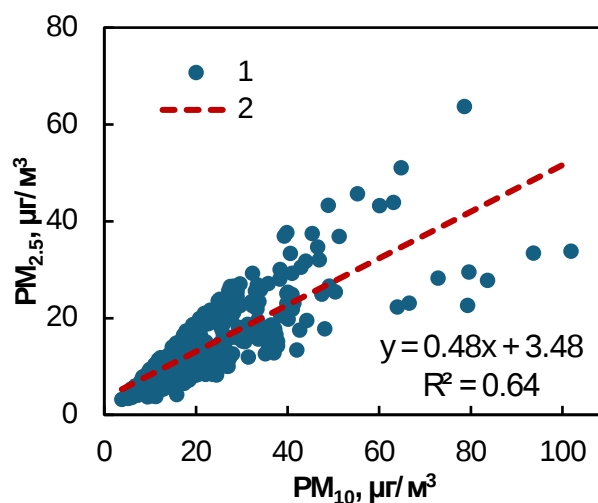
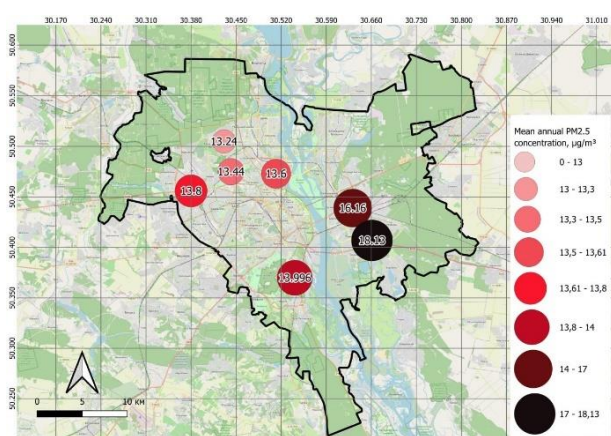


Рис. 2. Співставлення добових концентрацій аерозольних частинок розмірами $\text{PM}_{2.5}$ і PM_{10} в 2024 році в приземній атмосфері (1 – емпіричні дані, 2 – лінійна регресія)

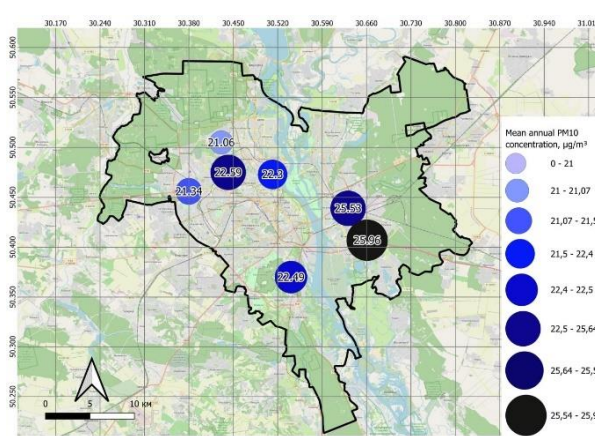
Коефіцієнт кореляції між цими величинами становить 0.80, що вказує на тісний позитивний зв'язок. Водночас відмінності у концентраціях можуть досягати до 20%, що може бути зумовлено різною природою та джерелами походження викидів.

Просторовий розподіл аерозольного забруднення частинками $PM_{2.5}$ і PM_{10} за даними 7-ми автоматизованих моніторингових станцій, представлено на рис. 3. Найвищі середньорічні концентрації обох фракцій зафіксовано на вул. Вербицького, 26: для $PM_{2.5}$ – $18.13 \mu g/m^3$, для PM_{10} – $25.96 \mu g/m^3$. Високі показники також спостерігались на посту по Харківському шосе, 7/1: $16.16 \mu g/m^3$ для $PM_{2.5}$ та $25.53 \mu g/m^3$ для PM_{10} . Помірні значення концентрацій $PM_{2.5}$ зафіксовано на

станціях: вул. Китаївська, 22 ($13.9 \mu g/m^3$); Берестейський проспект, 97 ($13.8 \mu g/m^3$); вул. Турівська, 28 ($13.61 \mu g/m^3$) та вул. Щусева, 21 ($13.4 \mu g/m^3$). Для фракції PM_{10} помірні значення спостерігались на постах по вул. Щусева, 26 ($22.59 \mu g/m^3$) та вул. Китаївській, 22 ($22.49 \mu g/m^3$). Найнижча концентрація $PM_{2.5}$ відмічена на проспекті Європейського Союзу, 64 г – $13.24 \mu g/m^3$. Для PM_{10} найнижчі значення зафіксовано на вул. Турівській, 28 ($22.33 \mu g/m^3$), Берестейському проспекті, 97 ($21.34 \mu g/m^3$) та проспекті Європейського Союзу, 67 г ($21.06 \mu g/m^3$). Отже, на лівому березі Дніпра середні концентрації аерозольних частинок дещо вищі, ніж на правобережній частині міста.



А



Б

Рис. 3. Просторовий розподіл концентрацій $PM_{2.5}$ (а) та PM_{10} (б) у м.Києві за даними автоматизованих моніторингових станцій в 2024 році

Причини підвищеного аерозольного забруднення атмосфери в Києві у 2024 році. Підвищені концентрації аерозольних частинок у повітрі формуються як за рахунок фонових рівнів їх вмісту, так і під впливом місцевих чинників: інтенсивного автомобільного руху, промислових викидів, орографічних особливостей, погодних та мікрокліматичних умов. Додатковими джерелами є несприятливі природні явища – пилові бурі, суховії, пожежі в лісах та торф'яниках. Важливим чинником накопичення аерозольних частинок у приземному шарі повітря стали і наслідки війни – ракетні обстріли та атаки БпЛА.

Співставлення добових концентрацій аерозольних частинок PM_{10} та $PM_{2.5}$ у 2024 році з датами масштабних ракетних обстрілів, пожеж у лісах і торф'яниках, а

також пилових бур (на основі даних ЗМІ та метеопорталів) усереднені по 7-ми моніторинговим станціям, представлено на рис. 4. Основними подіями, що спричинили суттєве перевищення рівня аерозольного забруднення атмосфери в Києві у 2024 році, стали:

▪ **4 січня** – різке зростання концентрації частинок, зумовлене масованим обстрілом Києва БпЛА та ракетами типу «Кинджал», що спричинили численні пожежі;

▪ **кінець лютого-кінець березня** – тривале підвищення рівнів аерозольного забруднення через пожежі в екосистемах Київської області та самого Києва, зокрема внаслідок військових дій (атаки БпЛА, ракетні обстріли);

▪ **1 квітня** – різке зростання концентрацій твердих частинок, особливо фракції PM_{10} , через пилові бурі з регіону Сахари;

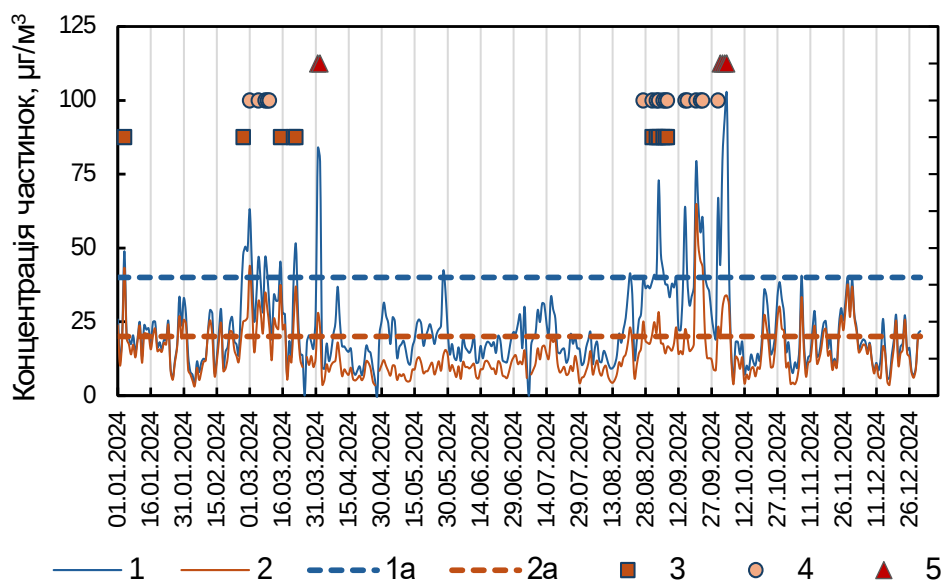


Рис. 4. Співставлення добової концентрації в атмосфері аерозольних частинок розмірами PM_{10} (1) та $PM_{2.5}$ (2) в м.Києві в 2024 році: 1a, 2a – ГДК (відповідно для частинок), 3 – атаки БПЛА та ракетні обстріли; 4 – пожежі в лісах та торф'яниках, 5 – пилові бурі, штормові вітри

▪27 серпня – 8 вересня – тривале перевищення концентрацій аерозольних частинок через масштабні лісові пожежі у Київській області, зокрема внаслідок падіння уламків БПЛА;

▪15 вересня – фіксовано підвищення концентрацій PM_{10} та $PM_{2.5}$ внаслідок пожеж у лісовій підстилці та на торфовищах у Київській області;

▪16 вересня – спостерігалась запилення через специфічні погодні умови, яке призвело до підвищеної запиленості в окремих районах області (горіння торфовищ, лісової підстилки районах Києва);

▪20 вересня – 4 жовтня – суттєве підвищення рівнів аерозольного забруднення внаслідок тривалих пожеж у Київській, сухої трави), а також супутніх атак БПЛА на Київ;

▪1–4 жовтня – фіксовано запилення, зумовлене перенесенням пилових частинок із Каспійської низовини, де у цей період спостерігалась інтенсивна пилова буря.

Оцінка стану зелених насаджень на 7-ми моніторингових ділянках в м. Києві на основі польових досліджень в липні 2024 року

Аерозольні частинки осаджуються в атмосфері шляхом сухої седиментації (під впливом сили тяжіння) або вологого випа-

дання – внаслідок вимивання з атмосфери опадами чи під час утворення хмар, коли частинки виступають ядрами конденсації та кристалізації (Aerosols and Their Importance, 2025). На ефективність утримання аерозолів впливають ряд мікро- та макроморфологічних характеристик листя [Хуе, et al., 2025; Park, S., 2022], зокрема наступні:

▪розмір продихів: існують розбіжності в результатах різних досліджень, проте загалом менший діаметр продихів сприяє ефективнішому затриманню частинок на поверхні;

▪восковий шар: наявність воскового шару або ефективне виділення восків та олій окремими видами рослин покращує здатність до фіксації частинок;

▪трихоми (опушення): наявність волосків і мікроскопічних виступів підвищує шорсткість поверхні листя, сприяючи утриманню аерозолів;

▪форма та розмір листя: вузьколисті види (зокрема з листям у формі голок) краще утримують аерозольні частки завдяки меншій амплітуді коливань і зменшенню турбулентності повітряних потоків;

▪жорсткість листя: жорсткі листові пластинки менш схильні до коливань під дією вітру, що сприяє кращому утриманню пилу;

■**щільність крони і кут нахилу листя:** густі крони знижують швидкість вітру і, відповідно, сприяють акумуляції частинок, зокрема найбільш ефективний кут нахилу листя для утримання аерозолів – 60–90°, тоді як при 30–60° ефективність зменшується.

З віком дерева здатність до акумуляції частинок підвищується, що зумовлене збільшення розміру крони та відповідно більшою площею листової поверхні. Після осідання аерозольні частинки можуть проникати у внутрішні тканини рослин через кутикулярні тріщини та продихи – основний шлях проникнення. Дрібнодисперсні частинки здатні транспортуватися судинною системою (флоемою) до інших тканин (Zhang et al., 2025; Molina, & Segura, 2021).

Аерозольне забруднення має негативний вплив на рослину, а саме: *спричинює механічні ушкодження* – пилові частинки пошкоджують клітини епідермісу; *впливає на процеси фотосинтезу* – за рахунок екранування світла, блокування продихів, зниження транспірації, порушення газообміну; *викликає біохімічні зміни* – спричиняють оксидативний стрес, накопичення токсичних речовин (наприклад, важкі метали).

Візуально стрес проявляється у вигляді хлорозів, некрозів, пігментації, передчасного старіння та навіть загибелі рослин при значних концентраціях.

Оксидативний стрес і фотосинтетичні порушення – основні наслідки впливу аерозольного забруднення. Насамперед уражаються пігменти (хлорофіли, каротиноїди), що призводить до їх деградації. Виявлено як зниження, так і підвищення співвідношення хлорофілів *a/b* у різних дослідженнях залежно від виду рослин і складу забруднювачів (Abriha-Molnár, et al., 2024; Shabnam et al., 2021). Хлорофіл *a* є більш чутливим до деградації під впливом пилових часток. Зміни у пігментному складі безпосередньо впливають на інтенсивність транспортування електронів і фіксацію CO₂, що призводить до підвищеного утворення активних форм кисню та стресової відповіді.

Хоча інформації щодо впливу аерозольного забруднення на рослини роду *Acer* недостатньо, дослідження стану фотосинтетичного апарату *Acer platanoides* та *Acer tataricum* у межах санітарно-захисної зони РЛП ім. С. Ковальської в м. Києві засвідчило, що цементний пил призводить до зниження фотосинтетичної активності листя. При

цьому встановлено, що *Acer platanoides* має нижчу адаптивну здатність до пилового забруднення порівняно з *Acer tataricum* (Laryuga I., 2018). Щодо *Robinia pseudoacacia*, то дослідження на схилах вулкана Везувій виявило цікаві зміни: рослини з більшим осадженням пилу мали більшу площу листя, значне потовщення паренхіми та зменшення міжклітинного простору приблизно на 30 %. Щільність продихів та фотохімічна ефективність фотосистем залишались майже незмінними, проте спостерігався вищий вміст хлорофілів *a* та *b*, а також каротиноїдів (Li et al., 2020).

Вплив аерозольного забруднення на рід *Populus* вивчався з позицій змін у фотосинтетичній активності. Зі збільшенням концентрації аерозолів у повітрі підвищується швидкість фотосинтезу як у добре освітленого, так і у затіненого листя тополі. Це пояснюється підвищенням різниці тиску насиченої водяної пари в умовах високого пилового навантаження, що сприяє відкриттю продихів і зростанню поглинання CO₂. Разом з тим, охолоджувальні властивості аерозольних частинок мають неоднозначний вплив на фотосинтетичну активність, оскільки за різних температурних режимів і періодів доби цей ефект може як підвищувати, так і знижувати ефективність фотосинтезу (De Micco et al., 2023). Інше дослідження продемонструвало, що аерозольне забруднення призводить до зниження транспіраційної активності тополь упродовж усього дня і навіть вночі (Wang B. et al., 2022).

Дослідження з *Tilia cordata* показали, що під впливом міського і промислового пилового забруднення спостерігається пошкодження хлоропластів і деградація хлорофілів *a* і *b*, особливо поблизу зон інтенсивного автомобільного трафіку. При цьому вміст каротиноїдів змінюється незначно і без статистично значущих змін, оскільки ці пігменти зазвичай деградують повільніше за хлорофіли (Bierza & Bierza, 2024). Інше дослідження, присвячене впливу твердих частинок на кілька видів, включаючи *Tilia cordata*, виявило, що пилове забруднення спричиняє зниження фотосинтетичної активності через блокування пор і продихів листя, що обмежує газообмін. Крім того, у дерев спостерігалось подовження пагонів і підвищення активності формування воскового шару як захисної реакції на забруднення (Łukowski et al., 2020).

На основі відібраних зразків дерев досліджуваних видів на зазначених моніторингових ділянках визначали загальний відсоток пошкодження та відсоток хлорозів,

некрозів, пігментації, пошкодження фітофагами та патогенами (див. рис. 5) (Kozak et al., 2025).

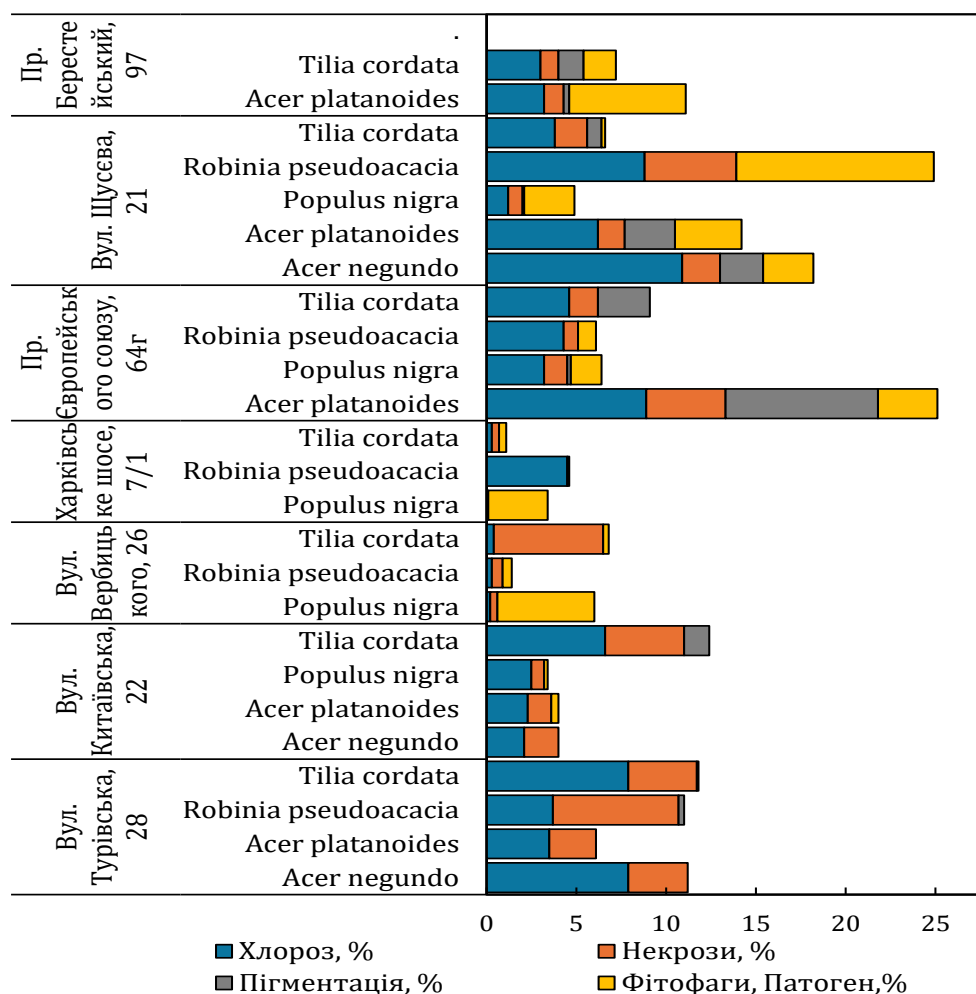


Рис. 5. Рівень пошкодження листя найпоширеніших видів дерев на семи досліджуваних ділянках у Києві зафіксовані в липні 2024 року

На ділянці біля Берестейського проспекту всі зразки листя досліджуваних видів мають усі типи пошкодження. Найбільша частка пошкодження у *Acer platanoides*, який на цій ділянці найбільше уражений фітофагами та патогенами, показник яких сягає близько 6.5 %, тоді як найменший відсоток пошкодження припадає на пігментацію – приблизно 0.3 %. У *Tilia cordata* найбільше пошкодження припадає на хлорози і становить близько 3 %, найменше – на некрози, приблизно 1 %.

На ділянці по вулиці Щусева найбільш пошкодженими виявилися листки у *Acer negundo* та *Robinia pseudoacacia*, тоді як найменш пошкодженими у *Populus nigra* та *Tilia cordata*. Для *Acer negundo* типовим є найвищий рівень хлорозів (~ 8.5 %) та

найнижчий – некрозів (~ 1.8 %). Для *Robinia pseudoacacia* найбільша частка пошкодження спричинена фітофагами (~ 11 %). У *Populus nigra* основна частка пошкодження припадає і на фітофагів (~ 2.8–2.9 %), а найменша – на пігментацію (~ 0.1 %). *Tilia cordata* мала найвищий рівень пошкодження хлорозами (~ 3.8 %) та найнижчий – ураження фітофагами (~ 0.2%). На ділянці проспекту Європейського Союзу найбільше пошкодження листків спостерігалось у *Acer platanoides*, тоді як найменше у *Robinia pseudoacacia* та *Populus nigra*. У *Robinia pseudoacacia* та *Populus nigra* домінують хлорози (~ 4.2 % та ~ 3.2 % відповідно). У *Acer platanoides* зафіксовано максимальні показники хлорозів (~ 8.9 %) і високий рівень пігментації

(~ 8.5 %), найменше ушкоджень спостерігається з боку фітофагів (~ 3.3 %).

Ділянка на Харківському шосе характеризується загалом низьким рівнем пошкоджень листя. У *Tilia cordata*, яка характеризується найменшим загальним відсотком пошкоджень, найбільше уражень припадають на фітофагів та некрози (~ 0.4 %). У дерев *Robinia pseudoacacia* домінують хлорози (~ 5.5 %). Для *Populus nigra* переважають ушкодження фітофагами (~ 3.3 %), некрози становлять ~ 0.1 %, інші форми ушкоджень не спостерігались.

На вулиці Вербицького найменш пошкодженими виявилися листки у *Robinia pseudoacacia*, найбільша частка пошкоджень у якої припадає на некрози (~ 0,6 %). У *Tilia cordata* найбільше пошкоджень було зумовлено некрозами (~ 6.1 %), а у *Populus nigra* фітофагами та патогенами.

На вулиці Китаївській найбільше пошкоджень листків спостерігалось у *Tilia cordata* з переважанням хлорозів (~ 6.6 %).

Для *Populus nigra* також переважають хлорози (~ 1.5 %), пігментація мінімальна (~ 0.05 %). У *Acer platanoides* та *Acer negundo* переважають хлорози та некрози (~ 1–2 %).

На вулиці Турівській найнижчий загальний відсоток пошкодження листків виявлений у *Acer platanoides*, з переважанням хлорозів та некрозів (~ по 3–4 %). Для *Tilia cordata* основна частка ушкоджень припадає на хлорози (~ 7.9 %). А листя *Robinia pseudoacacia* найбільше уражене некрозами (~ 7 %).

Найвищий рівень загального пошкодження листя спостерігається на ділянках вулиць Щусева та Європейського союзу, а найнижчий – на вулиці Вербицького та Харківському шосе, тоді як на трьох інших ділянках спостерігався середній відсоток пошкодження листків досліджуваних видів.

Просторовий розподіл загального відсотку пошкодження листя на досліджуваних ділянках представлений на рис. 6.

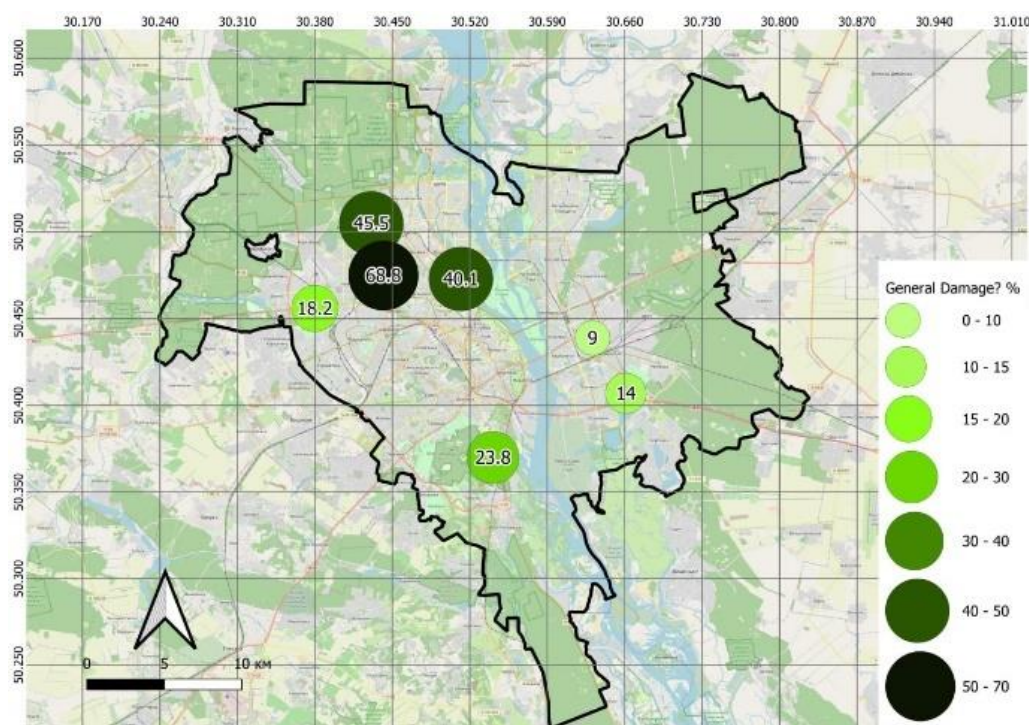


Рис. 6. Просторовий розподіл загального пошкодження листя дерев на 7 досліджуваних ділянках (1–7) у Києві в 2024 році

Варто відмітити, що ці показники не зовсім корелюють з даними по аерозольному забрудненню частинками PM_{10} та $PM_{2.5}$. Такі неоднозначні результати можуть бути спричинені цілим рядом факторів, зокрема напрямком вітру, наявністю будівель поруч,

затінненням, віком та здоров'ям окремих досліджуваних дерев тощо. Для детального вивчення впливу комплексу екологічних факторів на стан зелених насаджень варто проводити багаторічний моніторинг стану деревних видів.

Висновки

Проведене дослідження показало, що рівень аерозольного забруднення атмосферного повітря у Києві у 2024 році в середньорічному вимірі не перевищував гранично допустимих концентрацій (ГДК). Водночас були зафіксовані численні короткотривалі перевищення, зумовлені дією антропогенних та природних факторів, зокрема воєнними обстрілами, пиловими бурями та лісовими пожежами.

Дослідження базувалося на інтеграції кількох джерел даних та методів – польових, лабораторних, статистичних і геоінформаційних, що забезпечило комплексний підхід до аналізу аерозольного забруднення повітря у великому місті та його впливу на стан зелених насаджень.

У 2024 році середньорічні концентрації в приземному шарі атмосфери над Києвом не перевищували нормативів ЄС (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ для $\text{PM}_{2.5}$ та 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ для PM_{10}) і становили 14.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ для $\text{PM}_{2.5}$ та 23.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ для PM_{10} . Однак у певні періоди добові значення перевищували ГДК у 2–3 рази. Просторовий розподіл концентрацій вказує на підвищене

забруднення в районах з інтенсивним транспортним потоком і недостатньою кількістю зелених насаджень.

На досліджуваних ділянках найчастішими ушкодженнями листя виявилися хлорози, меншою мірою – ураження фітофагами та некрози. Найвищий рівень пошкодження листя зафіксовано на вулицях Щусева та Європейського Союзу, найнижчий – на вулиці Вербицького та Харківському шосе. На трьох інших ділянках спостерігався середній рівень пошкодження листків досліджуваних видів.

Водночас рівень пошкодження листя дерев не завжди корелює з показниками аерозольного забруднення, що може пояснюватися додатковими факторами: напрямком вітру, наявністю забудови, затіненням, віком та станом здоров'я окремих дерев тощо.

Отримані результати підтверджують необхідність розширення системи моніторингу, посилення озеленення міста видами, стійкими до забруднення, а також впровадження екологічної політики з урахуванням нових викликів.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

В цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Abriha-Molnár, V. É., Szabó, S., Magura, T., Tóthmérész, B., Abriha, D., Sipos, B., & Simon, E. (2024). Environmental impact assessment based on particulate matter, and chlorophyll content of urban trees. *Scientific Reports*, 14(1), 19911. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70664-4>
- Aerosols and Their Importance (2025). Earth. *Earth Science. Earth*. <https://earth.gsfc.nasa.gov/climate/data/deep-blue/aerosols> (accessed on 12 July 2025)
- Bierza, K., & Bierza, W. (2024). The effect of industrial and urban dust pollution on the ecophysiology and leaf element concentration of *Tilia cordata* Mill. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 58413–5842. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34999-9>
- Boychenko, S., Karamushka, V., Kuchma, T., & Nazarova, O. (2025). Military Actions and Climate Change as Drivers of Wildfires in Northern Regions of Ukraine in 2022-2023, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1474, 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1474/1/012002>
- Exceedance of air quality standards in Europe (2024). European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards> (accessed on 12 July 2025)
- Europe's air quality status (2022). European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/status-of-air-quality-in-Europe2022/europes-air-quality-status-2022> (accessed on 12 July 2025)
- Karamushka, V., Boychenko, S., Khoriev, M.Yu., & Kozak, O.M. (2025). Destruction of the natural environment caused by the war in Ukraine: impact on land, water, and forest ecosystems. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1474, 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1474/1/012016>
- Kozak, O., Boychenko, S., Karamushka, V., Ievgen Khlobystov, Khoriev, M., Yarynka, V., Nazarova, O., Yevheniia Shemet, Yarovyi, A., Andrishko, J., Vorobiova, K., Shmatko, A., Sofiia Bochkor, Vladyslava Kudlai, Lysak, A., Lukina, Y., & Brodskyi, Ye. (2025). Assessment of the Health and Condition of Urban Trees as Part of Kyiv's Green Infrastructure: Findings from 2024 Field Research. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17863.20649>
- Lapyga, I. (2018). Condition Photosynthetic Apparatus of *Acer Platanoides* L. and *Acer Tataricum* L. on the Territory of Sanitary-Protective Zone "S. Kovalska RCS" in the City of Kyiv. *The International research and practical conference The Development of Nature Sciences: Problems and Solutions* : International conference paper, Brno, April 2018, 89–93. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5810720>
- Łukowski, A., Popek, R., & Karolewski, P. (2020). Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10), 10296–10307. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07672-0>
- Molina, L., & Segura, A. (2021). Biochemical and Metabolic Plant Responses toward Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metals Present in Atmospheric Pollution. *Plants*, 10(11), 2305. <https://doi.org/10.3390/plants10112305>
- Park, S., Lee, J. K., Kwak, M. J., Lim, Y. J., Kim, H., Jeong, S. G., Son, J., Oh, C.-Y., Je, S. M., Chang, H., Kim, K., & Woo, S. Y. (2022). Relationship between Leaf Traits and PM-Capturing Capacity of Major Urban-Greening Species. *Horticulturae*, 8(11), 1046. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111046>
- Renard, J.-B., Poincelet, E., Annesi-Maesano, I., & Surcin, J. (2023). Spatial Distribution of PM_{2.5} Mass and Number Concentrations in Paris (France) from the Pollutrack Network of Mobile Sensors during 2018–2022. *Sensors*, 23(20), 8560. <https://doi.org/10.3390/s23208560>

- Shabnam, N., Oh, J., Park, S., & Kim, H. (2021). Impact of particulate matter on primary leaves of *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 212, 111965. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111965>
- Tomson, M., Kumar, P., Kalaiarasan, G., Zavala-Reyes, J. C., Chiapasco, M., Sephton, M. A., Young, G., & Porter, A. E. (2023). Pollutant concentrations and exposure variability in four urban micro-environments of London. *Atmospheric Environment*, 298, 119624. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119624>
- WHO (2010). Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. World Health Organization. 498 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138705/>, (accessed on 12 July 2025)
- Xue, W., Lin, Y., Sun, Z., Long, Y., Chen, D., & Yin, S. (2025). Effects of Leaf Trait Variability on PM Retention: A Systematic Review: *Atmosphere*, 16(2), 170. <https://doi.org/10.3390/atmos16020170>
- Zhang, K., Liang, Y., Ma, C., Guo, H., Liu, F., Gao, A., Liu, N., & Zhang, H. (2025). Stomata as the Main Pathway for the Penetration of Atmospheric Particulate Matter Pb into Wheat Leaves. *Toxics*, 13(3), 185. <https://doi.org/10.3390/toxics13030185>
- Li, J., Wang, X., Wang, Z.-H., Wang, B., Wang, C.-Z., Deng, M.-F., & Liu, L.-L. (2020). Effects of ozone and aerosol pollution on photosynthesis of poplar leaves. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44(8), 854–863. <https://doi.org/10.17521/cjpe.2020.0022>
- De Micco, V., Amitrano, C., Balzano, A., Cirillo, C., Izzo, L. G., Vitale, E., & Arena, C. (2023). Anthropogenic Dusts Influence Leaf Anatomical and Eco-Physiological Traits of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Growing on Vesuvius Volcano. *Forests*, 14(2), 212. <https://doi.org/10.3390/f14020212>
- Wang, B., Wang, C., Wang, Z., Wang, X., Jia, Z., & Liu, L. (2022). High aerosol loading decreases the transpiration of poplars both in the day- and night-time. *Agricultural and Forest Meteorology*, 327, 109225. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109225>

Received: 28.07.2025.**Accepted:** 02.10.2025**Published:** 16.12.2025**Ви можете цитувати цю статтю так:**

Бойченко С., Козак О., Андрішко Ю., Яринка В. Особливості аерозольного забруднення атмосфери частинками PM_{2.5} і PM₁₀ та стан зелених насаджень в м. Києві в 2024 році. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 166–178. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.16>

Cite this article in APA style as:

Boychenko, S., Kozak, O., Andrishko, Y., & Yarynka, V. (2025). Osoblyvosti aerzolnoho zabrudnennia atmosfery chastynkamy PM_{2.5} i PM₁₀ ta stan zelenykh nasadzhzen v m. Kyievi v 2024 rotsi [Features of aerosol pollution of atmosphere by PM_{2.5} and PM₁₀ particles and the state of green spaces in Kyiv in 2024]. *Biota. Human. Technology*, (3), 166–178. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.16> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Boychenko S. [in Ukrainian: Бойченко С.]¹, Dr.Sc. (Geography), Assoc. Prof., email: s.boychenko@ukma.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3590-5988 Scopus Author ID: 7801624588
Department of Environmental Studies, National University of Kyiv-Mohyla Academy
2 Skovorody Street, Kyiv, 04655, Ukraine

Kozak O. [in Ukrainian: Козак О.]², PhD (Biology), PhD (Ecology), Assoc. Prof., email: o.kozak@ukma.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0399-0631 Scopus Author ID: 56448527900
Department of Environmental Studies, National University of Kyiv-Mohyla Academy
2 Skovorody Street, Kyiv, 04655, Ukraine

Andrishko Y. [in Ukrainian: Андрішко Ю.]³, BSc in Ecology, e-mail: yuliia.andrishko@ukma.edu.ua
ORCID: 0009-0008-7665-2861
Department of Environmental Studies, National University of Kyiv-Mohyla Academy
2 Skovorody Street, Kyiv, 04655, Ukraine

Yarynka V. [in Ukrainian: Яринка В.]⁴, MSc in Molecular Physiology and Biophysics, e-mail: v.yarynka@ukma.edu.ua
ORCID: 0009-0009-4905-3043
Department of Environmental Studies, National University of Kyiv-Mohyla Academy
2 Skovorody Street, Kyiv, 04655, Ukraine

¹ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Study design, data collection, manuscript preparation.

³ Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

⁴ Data collection, statistical analysis.



FOOD TECHNOLOGIES

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ





Copyright (c) 2025 Olena Shydakova-Kamieniuka, Oleksii Shklyayev

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Олена Шидакова-Каменюка, Олексій Шкляєв
КОМПЛЕКСНА КВАЛІМЕТРИЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ
КРЕМОВО-ЗБИВНИХ ЦУКЕРОК ЗБАГАЧЕНИХ НАСІННЯМ ЧІА



Olena Shydakova-Kamieniuka, Oleksii Shklyayev
COMPREHENSIVE QUALIMETRIC ASSESSMENT OF THE QUALITY
OF WHIPPED CREAM CANDIES ENRICHED WITH CHIA SEEDS

АНОТАЦІЯ

Сучасна харчова промисловість спрямована на задоволення зростаючих потреб споживачів щодо високих стандартів якості, безпечності та біологічної цінності продукції. Особливу увагу в цьому контексті привертають кондитерські вироби покращеного хімічного складу, зокрема кремowo-збивні цукерки, збагачені натуральними інгредієнтами рослинного походження. Перспективним функціональним компонентом для такого виду продукції є насіння чіа. У попередніх дослідженнях розроблено технологію кремowo-збивних цукерок з додаванням цілого насіння чіа (на стадії отримання напівфабрикату «збита білкова маса» в кількості 50 % від маси сухого яєчного альбуміну) та подрібненого насіння чіа (на стадії приготування напівфабрикату «молочно-жирова суміш» в кількості 50 % від маси жиру. Для наукового обґрунтування та підтвердження доцільності впровадження удосконаленої технології у виробничу практику необхідним є висвітлення її переваг, що можливо реалізувати за рахунок проведення комплексного оцінювання її якості. Одним із найбільш визнаних та методологічно обґрунтованих підходів до здійснення такої оцінки є кваліметричний метод.

Мета роботи. Комплексне оцінювання якості кремowo-збивних цукерок з додаванням насіння чіа зі залученням принципів кваліметрії для визначення їх переваг перед традиційними виробами.

Методологія. Використовували експертний метод органолептичного аналізу та методи кваліметричного аналізу для розрахунку комплексних показників якості.

Наукова новизна. Вперше розроблено «дерево властивостей» кремowo-збивних цукерок та із застосуванням принципів кваліметрії обґрунтовано доцільність застосування насіння чіа для покращення їх загальної якості.

Висновки: Визначено групові та загальні комплексні показники якості кремowo-збивних цукерок з насінням чіа та без нього, які враховували органолептичні, фізико-хімічні властивості, хімічний склад і зміни якості при зберіганні. Встановлено, що зразки з чіа перевищують контрольні за комплексним показником на 35,7 та 38,6 % залежно від типу драглеутворювача, що свідчить про ефективність їх застосування. Запропоновану методику в подальшому доцільно використовувати для оцінювання якості кремowo-збивних виробів зі збагачувальною сировиною.

Ключові слова: кремowo-збивні цукерки, насіння чіа, кваліметрія, комплексний показник якості, органолептичний аналіз, збагачення харчових продуктів

ABSTRACT

The modern food industry is aimed at meeting the growing needs of consumers for high standards of quality, safety and biological value of products. In this context, confectionery products with improved chemical composition attract particular attention. In particular whipped cream candies enriched with natural ingredients of plant origin. A promising functional component for this type of product is chia seeds. In previous studies, the technology of whipped cream candies with the addition of whole and crushed chia seeds was developed. Whole seeds were introduced at the stage of obtaining the semi-finished product "whipped protein mass" in an amount of 50 % of the mass of dry egg albumin. Crushed - at the stage of preparing the semi-finished product "milk-fat mixture" in an amount of 50 % of the mass of fat. To scientifically substantiate and confirm the feasibility of introducing the improved technology into production practice, it is necessary to highlight its advantages. This can be realized by conducting a comprehensive assessment of its quality. One of the most recognized and methodologically sound approaches to conducting such an assessment is the qualimetric method.

Purpose of the work. Is to carry out a comprehensive quality assessment of whipped cream candies with chia seeds using the principles of qualimetry in order to determine their advantages over traditional products.

Methodology. The expert method of organoleptic analysis and qualimetric analysis techniques were applied to calculate integrated quality indicators.

Scientific novelty. For the first time, a "property tree" of whipped cream candies was developed and, using the principles of qualimetry, the feasibility of using chia seeds to improve their overall quality was substantiated.

Conclusions. Group and overall integrated quality indicators of whipped cream candies with and without chia seeds were determined. They took into account organoleptic, physicochemical properties, chemical composition and changes in quality during storage. It was found that samples with chia exceed the control ones by a complex indicator by 35.7 and 38.6% depending on the type of gelling agent. This indicates the effectiveness of their use. The proposed methodology is advisable to apply in further research for the quality assessment of aerated confectionery products enriched with functional raw materials.

Key words: whipped cream candies, chia seeds, qualimetry, complex quality indicator, organoleptic analysis, food fortification

Вступ

Актуальність роботи. Сучасна харчова промисловість орієнтується на задоволення зростаючих вимог споживачів до якості, безпечності та біологічної цінності продукції. Особливий інтерес викликають кондитерські вироби з доданою біологічною цінністю, до яких належать в тому числі кремозбивні цукерки із включенням до рецептури натуральних компонентів рослинного походження. Перспективним інгредієнтом для такої продукції є насіння чіа (*Salvia hispanica* L.) (Zamudio et al., 2024). Чіа містить білки з високою біологічною цінністю, харчові волокна (розчинні, які є пребіотиками, та нерозчинні, що механічно стимулюють травлення), поліфенольні сполуки з вираженими антиоксидантними властивостями, поліненасичені жири (більше 60% яких складають ω -3), мінерали тощо (da Silva et al., 2017; Shydakova-Kamenuka et al., 2017; Agarwal et al., 2023). Наявність в чіа розчинних харчових волокон певного складу надає йому функціонально-технологічних властивостей, зокрема здатності до утримування вологи, спроможності позитивно впливати на процеси піноутворення та емульгування в різних харчових системах тощо (Solanki et al., 2024; Jie Hong Chiang et al., 2021; Mutlu et al., 2023). Це дозволяє за його використання в технологіях цукеркових виробів не лише покращувати їх нутрієнтний склад, а й виступати в якості регулятора структурно-механічних властивостей.

Однак, не достатньо розробити інноваційний продукт – важливим моментом є також його впровадження у виробництво. Для того, щоб аргументовано обґрунтувати виробникам кондитерської продукції переваги нової технології, доцільно ці переваги звести до єдиної комплексної оцінки. Най-

більш відомим методом визначення комплексної оцінки є кваліметричний підхід.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Кваліметрія є міждисциплінарною галуззю, що поєднує елементи математики, товарознавства, метрології та статистики. Основною ідеєю кваліметричного підходу до оцінювання якості харчового продукту є визнання того, що саме поняття якості є багатофакторним, яке формується в результаті сукупного впливу низки показників – органолептичних, фізико-хімічних, технологічних тощо. Ключовою особливістю кваліметричного методу є можливість кількісного зіставлення досліджуваного зразка з вже існуючим на ринку продуктом. Крім того, застосування кваліметричної оцінки надає можливість об'єктивно ранжувати вироби за сукупністю показників з урахуванням їх вагомості, науково обґрунтувати рецептуру та технологію інноваційного харчового продукту, провести швидкий аналіз його якості, задовольнити запит споживача на прозорість та достовірність інформації про продукт тощо (Chorna et al., 2020; Koretska et al., 2020).

Так, авторами (Hoiko & Stetsenko, 2022) за допомогою кваліметричного підходу обґрунтовано рецептуру фаршу для виготовлення м'ясо-рослинних напівфабрикатів з підвищеним вмістом білку для харчування спортсменів. Комплексний показник якості нового продукту становив 0,942, що характеризує його якість як «відмінну».

Елементи комплексної оцінки застосовані для обґрунтування дозування продуктів переробки насіння конопель (борошна та олії) під час виготовлення кексів (Yesaulenko et al., 2023). За результатами розрахунку комплексного показника якості для групи органолептичних властивостей відзначено раціональність внесення борошна насіння

конопель в кількості 12,5 % від маси пшеничного борошна, а конопляної олії – для повної заміни вершкового масла.

В дослідженні (Kashkano et al., 2025) розрахунок комплексного показнику якості був визначним для обґрунтування вибору оптимального співвідношення рецептурних інгредієнтів для нових видів круп'яних запіканок, початковий рецептурний склад яких було отримано методом комп'ютерного моделювання. А в роботі (Minorova et al., 2020) за результатами кваліметричної оцінки якості запропоновано склад сухих молочних сумішей з внесенням концентрату сироваткових білків.

Необхідно відмітити дієвість застосування інструментів кваліметрії під час висвітлення переваг інноваційного харчового продукту, зокрема збагаченого біологічно цінними компонентами переробки натуральної сировини, перед традиційним виробом.

Так в роботах (Stepankova et al., 2019; Oliinyk et al., 2020) застосовано метод кваліметрії для оцінювання переваг нової технології хліба пшеничного з додаванням шротів зародків вівса, макухи зародків кукурудзи, шроту та спиртового екстракту зародків пшениці. Нові зразки мали комплексний показник якості 0,96, 0,96, 0,90 та 0,93 відповідно, а традиційний виріб – 0,83, що беззаперечно демонструє кращу якість нових видів хліба.

В роботі (Antonenko et al., 2022) завдяки кваліметричній оцінці якості було доведено доцільність використання суміші низькоетерифікованого пектину, цитрату кальцію та полідекстрози в технології десерту «Пташине молоко» для покращення харчової цінності та структурних властивостей продукції. А автори (Lapytska et al., 2025) використовували кваліметричний підхід для оцінювання якості заморожених десертів Моті з додаванням до начинки яблучних та чорничних вичавків, а до тіста – гуарової камеді.

Кваліметричний метод використано в роботі (Samokhvalova, 2023) для висвітлення переваг використання пасти з яблук, айви і чорної смородини в технології фруктово-желейного мармеладу – такий виріб перевершує традиційний зразок за смаковими та кольоровими характеристиками, а також вмістом пектинових речовин, вітаміну С та поліфенолів.

Методи кваліметрії застосовані також під час оцінки якості нової технології бісквітів з борошном «Здоров'я» та порошком керобу. Встановлено, що за значенням комплексного показнику новий виріб перевершує традиційний бісквіт з какао-порошком на 23 % (Romanovska, 2022). Ці ж підходи запроваджено для доведення переваг оздоблювальних помадок з порошком керобу порівняно з помадками на основі какао-порошку в роботі (Bozhko & Usatiuk, 2023).

Визначення комплексного показнику якості було підставою для надання рекомендацій до промислового впровадження технології ковбасних виробів з білково-вуглеводно-мінеральною добавкою (Peshuk et al., 2019).

Таким чином, на основі проведеного аналізу інформаційних джерел можна зробити висновки щодо дієвості кваліметричних підходів для узагальнення якісних характеристик харчової продукції, що дозволяє гармонізувати результати наукових досліджень з їх практичною реалізацією.

Однак, в розглянутих дослідженнях немає рекомендацій щодо застосування методів кваліметрії для характеристики якості кремово-збивних цукерок. Тому, у представлених матеріалах пропонується застосовувати такі підходи для визначення комплексної оцінки якості кремово-збивних цукерок типу «Пташине молоко» з додаванням насіння чіа.

Мета роботи: провести комплексне оцінювання якості кремово-збивних цукерок з додаванням насіння чіа із залученням принципів кваліметрії для визначення їх переваг перед традиційними виробами.

Поставлена мета досягалась через послідовну реалізацію наступних задач:

- побудова «дерева властивостей» кремово-збивних цукерок з визначенням коефіцієнтів вагомості їх одиничних показників якості та груп властивостей;
- визначення абсолютних та відносних значень одиничних показників якості оцінюваних зразків згідно розробленого «дерева властивостей»;
- розрахунок групових комплексних показників якості оцінюваних зразків;
- розрахунок узагальненого комплексного показнику якості виробів, що аналізуються.

Методологія

Об'єктом досліджень були зразки кремowo-збивних цукерок типу «Пташине молоко» на агарі та на пектині з додаванням насіння чіа, розроблені нами у роботі (Shydakova-Kamenuka et al., 2024), та контрольні зразки без добавки:

– зразок №1 та №3 – контрольні вироби на агарі та пектині відповідно, виготовлені за традиційною технологією (рис. 1);

– зразок №2 та №4 – вироби на агарі та пектині відповідно, виготовлені з додаванням насіння чіа.



Рис. 1. Принципова схема отримання кремowo-збивних цукерок типу «Пташине молоко» за традиційною технологією

Насіння чіа вносили в цілому та подрібненому вигляді. Ціле насіння додавали на стадії отримання збитої білкової маси (стадія I) після попередньої гідратації під час збивання розчину яєчного альбуміну в кількості 50 % від маси сухого альбуміну. Подрібнене насіння чіа вносили під час отримання молочно-жирової суміші (стадія IV) в кількості 50 % від маси жиру.

Значення фізико-хімічних показників якості досліджуваних виробів та показники їх хімічного складу встановлено нами раніше у роботі (Shydakova-Kamenuka et al., 2024). При цьому проведення статистичної обробки результатів досліджень здійснювали для серії паралельних вимірів ($n=4-5$, $p<0,05$).

Органолептичні характеристики цукерок оцінювали згідно ДСТУ 4683 експертним методом за 50-бальною шкалою за показниками: зовнішній вигляд, структура, колір, смак, запах. Експертами були фахівці галузі (ТОВ «Суперлакомка», м. Харків) та викладачі кафедри технології хлібопродуктів та кондитерських виробів Державного біотехно-

логічного університету (м. Харків) у кількості 8 осіб. Під час оцінювання експерти використовували шкалу, наведену у табл. 1.

Остаточна бальна органолептична оцінка визначалася як середнє арифметичне балів, призначених експертами, за кожним органолептичним показником. Остаточний результату округлювали до цілого числа згідно правил поводження зі значущими цифрами.

Для визначення узагальненого комплексного показника якості усі виміряні абсолютні значення властивостей цукерок були трансформовані у відносні безрозмірні одиниці шляхом їхнього співвідношення з еталонними (базовими) значеннями (Stepankova et al., 2019).

Якщо підвищення значення показника сприяло покращенню якості продукції, використовували формулу

$$k_i = P_i / P_i^{\text{баз}} \quad (1)$$

де P_i – абсолютне значення i -го показника якості продукції;

$P_i^{\text{баз}}$ – значення базового показника.

Таблиця 1

Шкала органолептичної оцінки показників якості кремово-збивних цукерок

Показник	Бали				
	50	40	30	20	10
Зовнішній вигляд	Форма правильна, покриття глазурі рівномірне	Форма правильна, з незначними впливами глазурі	Форма правильна, з незначними впливами глазурі, покриття глазур'ю нерівномірне за товщиною	Дефект форми, нерівномірне глазурування зі значними впливами, покриття глазур'ю нерівномірне за товщиною	Дефект форми, нерівномірне глазурування зі значними впливами, глазур відшукється
Структура	Дрібнопориста, добре аерована, пористість рівномірною, консистенція пружна	Дрібнопориста, добре аерована, пористість дещо нерівномірною, консистенція пружна	Дрібнопориста, менш аерована, пористість нерівномірною, консистенція пружна	Переважає дрібнопориста, але присутні великі порожнини, консистенція дещо мазеподібна або трохи ущільнена	Пористість нерівномірною, погано аерована, консистенція мазеподібна або занадто ущільнена
Колір	Білий однорідний або білий з сірими вкрапленнями насіння	Кремований однорідний або кремований з сірими вкрапленнями насіння	Кремований однорідний або кремований з сірими вкрапленнями насіння	Білий (кремовий) неоднорідний або білий (кремовий) неоднорідний з сірими вкрапленнями насіння	Колір сірий, неоднорідний
Смак	Властивий виробу, ясно виражений, без стороннього присмаку; для цукерок з чіа – з легким приємним горіховим присмаком	Властивий виробу; менш виражений, без стороннього присмаку; для цукерок з чіа – з менш вираженим горіховим присмаком	Властивий виробу; слабо виражений, без стороннього присмаку	Смак не виражений, відчувається сторонній присмак	Не властивий виробу, з вираженим стороннім присмаком
Запах	Властивий виробу, ясно виражений, приємний; для цукерок з чіа – з легким приємним горіховим ароматом	Властивий виробу, менш виражений, приємний; для цукерок з чіа – зі слабким горіховим ароматом	Властивий виробу, слабо виражений	Має незначний сторонній запах	Виражений неприємний сторонній запах

Якщо підвищення значення показника спричиняло зниження якості виробу, застосовували формулу

$$k_i = P_i^{\text{баз}} / P_i \quad (2)$$

Визначення коефіцієнтів вагомості (m_i) для кожного окремого показника, як у межах окремих груп властивостей, так і між самими групами, здійснювалось методом експертної оцінки. Кожним експертом індивідуально призначалися коефіцієнти вагомості для кожного одиничного показника якості в межах однієї групи властивостей в балах за п'ятибальною шкалою. Потім розраховувалися середні арифметичні значення кожного коефіцієнту вагомості і визначалися їх остаточні значення за формулою

$$m_i = m_i^{ca} / \sum_{i=1}^n m_i^{ca} \quad (3)$$

де m_i^{ca} – середнє арифметичне значення коефіцієнтів вагомості, виставлених різними експертами щодо i -того показника;

n – число одиничних показників якості продукції в межах певної групи властивостей.

Значення коефіцієнтів вагомості округлювали до другого десяткового знаку з дотриманням умови, що сума всіх коефіцієнтів вагомості в межах групи властивостей дорівнює одиниці.

Визначення коефіцієнтів вагомості для груп властивостей проводилося аналогічно визначенню коефіцієнтів вагомості для одиничних показників в межах групи властивостей.

Комплексні показники якості (групові та загальний) визначали за формулою

$$K_i = \sum_{i=1}^n k_i \cdot m_i \quad (4)$$

де m_i – коефіцієнт вагомості i -того показника (або i -тої групи властивостей);

n – число показників якості (або груп властивостей) продукції;

k_i – відносний показник якості i -того показника (або i -тої групи властивостей).

Значення комплексних показників якості округлювали до другого десяткового знаку згідно правил поводження зі значущими цифрами.

Наукова новизна. Вперше розроблено «дерево властивостей» кремowo-збивних цукерок та із застосуванням принципів

валіметрії обґрунтовано доцільність застосування насіння чіа для покращення їх загальної якості.

Результати дослідження

Сукупність характеристик, що є необхідними та достатніми для оцінювання якості кремowo-збивних цукерок із урахуванням коефіцієнтів вагомості (m_i) як для одиничних так і для групових показників якості систематизовано та структуровано у вигляді «дерева властивостей» (рис. 2).

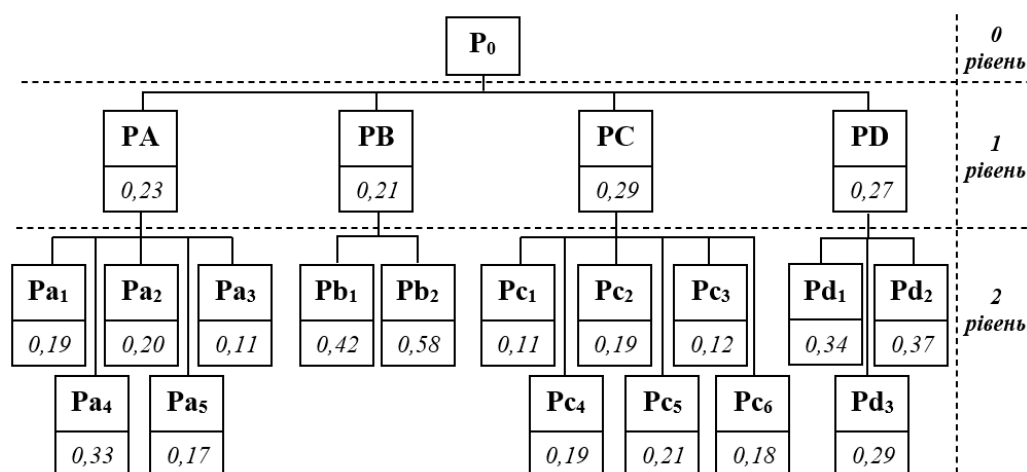


Рис. 2. «Дерево властивостей» кремowo-збивних цукерок з коефіцієнтами вагомостей:
1 рівень: PA – органолептичні показники; PB – фізико-хімічні показники;
PC – хімічний склад та харчова цінність; PD – зміна якості через 60 діб зберігання

2 рівень: PA₁ – зовнішній вигляд; PA₂ – структура; PA₃ – колір; PA₄ – смак; PA₅ – запах;
PB₁ – міцність; PB₂ – щільність; PC₁ – вміст білка; PC₂ – вміст некрохмальних полісахаридів;
PC₃ – вміст поліненасичених жирних кислот; PC₄ – вміст поліфенольних сполук;
PC₅ – сумарний вміст мінеральних речовин (калій, кальцій, магній, залізо, цинк);
PC₆ – сумарний вміст вітамінів (C, E, PP, групи B); PD₁ – зміна перекисного числа;
PD₂ – втрата вологості; PD₃ – підвищення міцності

Для аналізу виділено такі групи властивостей кремowo-збивних цукерок: органолептичні (PA), фізико-хімічні (PB), хімічний склад та харчова цінність (PC) та показники, що характеризують якість цукерок через 60 діб зберігання (PD). Термін 60 діб обрано з огляду на рекомендації ДСТУ 4135 до зберігання цукерок такого типу.

Наступною задачею в межах нашого дослідження було визначення абсолютних та відносних значень одиничних показників якості оцінюваних зразків згідно розробленого дерева властивостей. Для встановлення абсолютних значень одиничних показників в межах групи властивостей PA (органолептичні показники) застосовували експертний метод. Середньоарифметичні результати оцінок експертів за 50-бальною

шкалою наведено у табл. 2. Для встановлення абсолютних значень одиничних показників в межах груп властивостей PB (фізико-хімічні показники) та PD (зміна якості через 60 діб зберігання) використано інструментальний метод, результати представлено у роботі (Shydakova-Kamenuka et al., 2024) та узагальнено в табл. 2. Показники хімічного складу та харчової цінності також розглянуто у роботі (Shydakova-Kamenuka et al., 2024) та узагальнено в табл. 2. Отримані абсолютні значення показників (P_i) переводили у відносні безрозмірні величини (k_i) за відношенням до їх базових значень ($P_i^{\text{баз}}$). За базові обрано кращі значення показників серед оцінюваних цукерок. Базові та відносні показники якості досліджуваних виробів також наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Абсолютні та відносні значення одиничних показників якості оцінюваних зразків згідно розробленого дерева властивостей ($\sigma=1,2\dots2,0$ %)

Показник якості	Значення для кремово збивних цукерок								
	базове $P_i^{баз}$	на агарі				на пектині			
		абсолютне P_i		відносне k_i		абсолютне P_i		відносне k_i	
		конт- роль	з чіа	конт- роль	з чіа	конт- роль	з чіа	конт- роль	з чіа
група властивостей PA									
Pa1, бали	50	49	50	0,98	1,00	49	50	0,98	1,00
Pa2, бали		49	48	0,98	0,96	49	48	0,98	0,96
Pa3, бали		49	48	0,98	0,96	50	48	1,00	0,96
Pa4, бали		47	50	0,94	1,00	47	50	0,94	1,00
Pa5, бали		48	49	0,96	0,98	48	49	0,96	0,98
група властивостей PB									
Pb1, г	580/700*	580	630	1,00	0,92	700	760	1,00	0,92
Pb2, кг/м³	620/590*	600	620	0,97	1,00	590	615	1,00	0,96
група властивостей PC									
PC1, %	3,49	1,83	3,48	0,52	1,00	1,8	3,49	0,52	1,00
PC2, %	3,28	0,43	2,7	0,13	0,82	0,98	3,28	0,30	1,00
PC3, %	4,69	3,95	4,69	0,84	1,00	3,95	4,69	0,84	1,00
PC4, мг/100г	13,19	0,56	12,93	0,04	0,98	0,56	13,19	0,04	1,00
PC5, мг/100г	277,27	168,3	277,27	0,61	1,00	156,8	268,99	0,57	0,97
PC6, мг/100г	1,19	0,21	1,19	0,18	1,00	0,19	1,18	0,16	0,99
група властивостей PD									
Pd1, %	3,8	5,02	4,13	0,76	0,92	5,02	4,13	0,76	0,92
Pd2, %	9,5	14,9	9,5	0,64	1,00	16,8	9,9	0,57	0,96
Pd3, %	5,5	12,1	5,5	0,45	1,00	13,1	7,9	0,42	0,70

Примітка: *для цукерок на пектині

Наступний етап роботи передбачав розрахунок групових комплексних показників якості оцінюваних зразків. Для цього використовували формулу 1. Результати

визначення групових показників якості досліджуваних зразків кремово-збивних цукерок представлено на рис. 3.

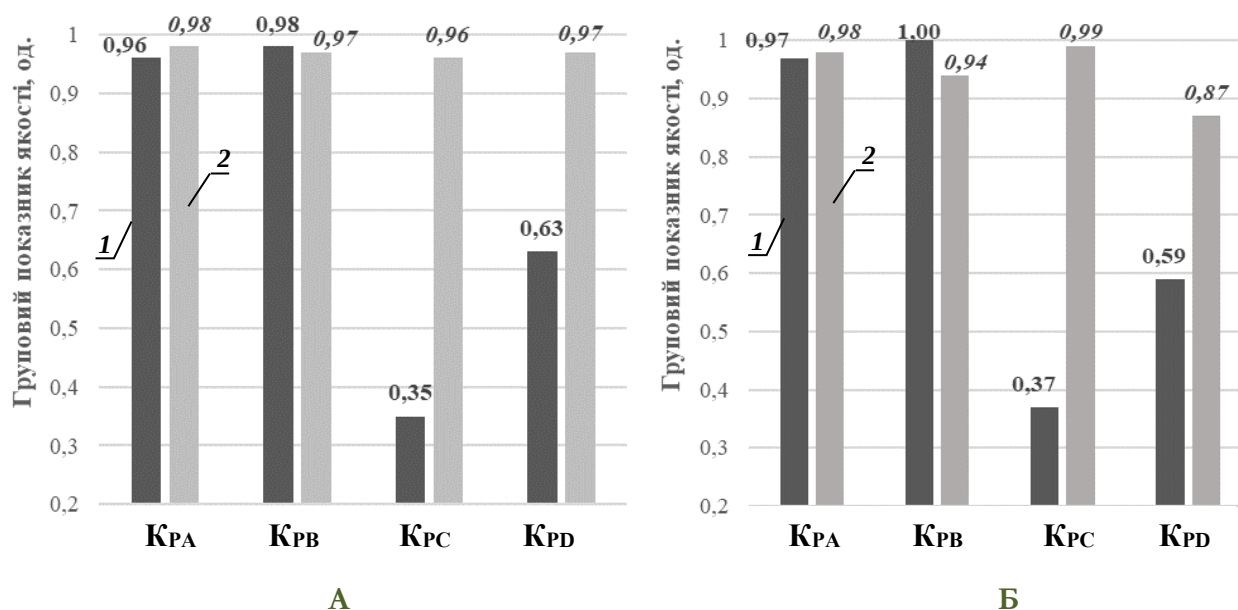


Рис. 3. Групові показники якості кремово-збивних цукерок (1 – контроль, 2 – з чіа).
А – на агарі; Б – на пектині

Діапазон значень для комплексних показників (як групових, так і узагальненого) інтерпретується наступним чином: від 1,00 до 0,80 відповідає рівню «дуже добре», від 0,80 до 0,63 – рівню «добре», у межах 0,63–0,37 характеризується оцінкою «задовільно», 0,37–0,20 – оцінкою «незадовільно», нижче 0,20 – «вкрай незадовільно». З урахуванням цього проведений аналіз свідчить, що рівень якості всіх досліджуваних зразків кремowo-збивних цукерок (як контрольних, так і з додаванням насіння чіа) за органолептичними (K_{PA}) та фізико-хімічними (K_{PB}) характеристиками відповідає оцінці «дуже добре». Водночас контрольні зразки без функціональної добавки за групою властивостей, які відображають хімічний склад та харчову цінність (K_{PC}) демонструють низькі показники – 0,35 (для цукерок на агарі) та 0,37 (для цукерок на пектині), що відповідає оцінці «незадовільно». На противагу ним, зразки з дода-

ванням насіння чіа (як на агарі, так і на пектині) за цією ж групою властивостей досягають рівня «дуже добре». Це зумовлене підвищенням в них вмісту харчових волокон, мінеральних речовин, антиоксидантів (зокрема поліфенолів) та інших цінних біоактивних сполук.

Щодо оцінки за групою параметрів «Зміна якості через 60 діб зберігання» (K_{PD}), зразки цукерок з насінням чіа демонструють кращі результати – груповий показник якості залежно від типу використаного драглеутворювача на 47–53 % вищий, порівняно з контрольними аналогами.

На завершальному етапі роботи здійснювали розрахунок узагальненого комплексного показника якості (КПЯ), виробів, що (формула 4). При цьому було враховано значення групових показників якості (рис. 3) та відповідні коефіцієнти їх вагомості (рис. 2). Результати розрахунку представлено на рис. 4.

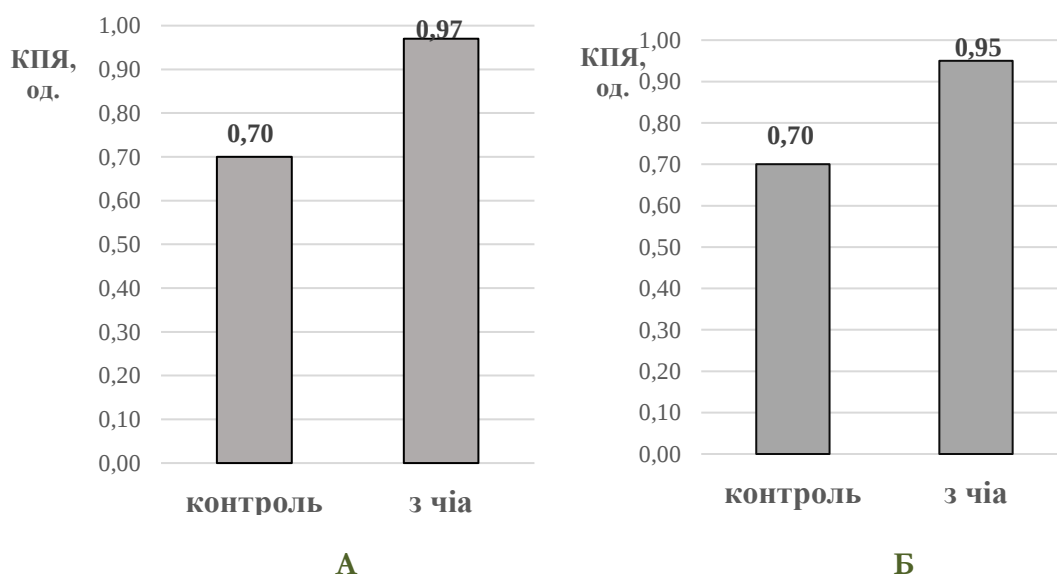


Рис. 4. Комплексні показники якості (КПЯ) досліджуваних зразків кремowo-збивних цукерок. А – на агарі; Б – на пектині

Встановлено, що кремowo-збивні цукерки збагачені насінням чіа демонструють значно вищу якість порівняно з традиційними аналогами. Залежно від використаного гелеутворювача рівень комплексного показника якості у зразках з чіа перевищував контрольні зразки на 35,7 % та 38,6 %. Такі результати дали підставу охарактеризувати дослідні зразки оцінкою «дуже добре», тоді як контрольні зразки без додавання чіа отримали оцінку

на рівні «добре». Це підтверджує, що включення насіння чіа до рецептури цукерок позитивно впливає на рівень їх загальної якості завдяки збагаченню корисними речовинами, покращенню органолептичних характеристик та підвищенню стабільності показників під час зберігання.

Обмеженням даного дослідження є те, що проведений аналіз стосувався лише цукерок на агарі та пектині, хоча в технологіях подібних цукеркових мас

можуть бути використані ще інші драглеутворювачі (наприклад, модифіковані крохмалі). Тобто, розвиток подальших досліджень може полягати саме в оцінюванні якості кремowo-збивних цукерок, виготовлених з використанням більш широкого спектру драглеутворювачів.

Висновки

Розроблено «дерево властивостей» кремowo-збивних цукерок з визначенням коефіцієнтів вагомості їх одиничних показників якості та груп властивостей. До складу «дерева властивостей» включено органолептичні, фізико-хімічні властивості цукерок, а також показники, що характеризують їх хімічний склад та якість через 60 діб зберігання.

Згідно розробленого «дерева властивостей» визначено абсолютні та відносні значень одиничних показників якості кремowo-збивних цукерок на агарі та пектині з додаванням насіння чіа та без нього. На підставі отриманих даних розраховано групові показники якості оцінюваних зразків, які потім зведено до

загального комплексного показнику за кожним видом кремowo-збивних цукерок.

Встановлено, що залежно від використаного драглеутворювача рівень комплексного показнику якості у зразках з чіа перевищував контрольні зразки на 35,7 % та 38,6 %, що зумовлене насамперед покращенням їх біологічної цінності та пролонгацією термінів зберігання. Отримані дані свідчать про доцільність застосування цієї добавки в технології кремowo-збивних цукерок та можуть бути підставою для рекомендації нової технології до впровадження у виробництво.

Запропоноване «дерево властивостей» можна рекомендувати в подальшому застосовувати для комплексної оцінки якості кондитерських виробів на основі кремowo-збивних мас з використанням різної збагачувальної сировини.

Подальші дослідження планується присвятити аналізу якості кремowo-збивних цукерок збагачених насінням чіа, виготовлених з використанням більш широкого спектру драглеутворювачів.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Усі дані представлені безпосередньо у матеріалах статті. Для отримання додаткової інформації звертайтеся до авторів / All data are provided directly in the article materials. For additional information, please contact the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Було отримано інформовану згоду від усіх учасників, які були детально проінформовані про експериментальні процедури, схвалені на засіданні кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів Державного біотехнологічного університету (протокол № 13 від 20.05.2025 р.). / Informed consent was obtained from all participants, who were thoroughly informed about the experimental procedures approved at the meeting of the Department of Bread and Confectionery Technology of the State Biotechnological University (Protocol No. 13 dated May 20, 2025).

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені у даній статті. Фахівці ТОВ «Суперлакомка» (м. Харків, Україна), які брали участь у роботі експертної комісії при проведенні представлених досліджень, задекларували, що не мають конфлікту інтересів

стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного або іншого характеру. / The authors declare that they have no conflicts of interest related to this study, including financial, personal, authorship-related, or any other conflicts that could have influenced the research and its results presented in this article. The specialists from Superlakomka LLC (Kharkiv, Ukraine), who participated in the expert commission during the conducted research, have also declared that they have no conflicts of interest related to this study, including financial, personal, or any other nature.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології на базі штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних. / Generative artificial intelligence or AI-based technologies were not used in this study for data collection, analysis, or interpretation.

Подяка / Acknowledgements

ТОВ «Суперлакомка» (м. Харків, Україна) за сприяння проведенню органолептичного аналізу зразків кремово-збивних цукерок експертним методом. / Superlakomka LLC (Kharkiv, Ukraine) for their assistance in conducting the sensory analysis of whipped cream candy samples using the expert method.

References

Agarwal, A., Rizwana, Tripathi, A. D., Kumar, T., Sharma, K. P., & Patel, S. K. S. (2023). Nutritional and Functional New Perspectives and Potential Health Benefits of Quinoa and Chia Seeds. *Antioxidants*, 12(7), 1413. <https://doi.org/10.3390/antiox12071413>

Antonenko, A. V., Brovenko, T. V., Kryvoruchko, M. Yu., Stukalska, N. M., Tolok, H. A., & Perepelytsia, V. V. (2022). Technology of jelly desserts with dietary supplements. *Tavria Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*, (4), 34–43. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.4.5>. (in Ukrainian)

Антоненко А. В., Бровенко Т. В., Криворучко М. Ю., Стукальська Н. М., Толок Г. А., Перепелиця В. В. Технологія жельованих десертів з дієтичними добавками. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2022. № 4. С. 34–43. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.4.5>

Bozhko, A. Yu., & Usatiuk, S. I. (2023). Determination of identification criteria for assessing the quality indicators of finishing semi-finished products using carob powder. *Food industry*, (33–34), 54–61. (in Ukrainian). <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0884a239-6e50-4712-9600-70ced59f4a07/content>

Божко А. Ю., Усатюк С. І. Визначення критеріїв ідентифікації для оцінювання показників якості оздоблювальних напівфабрикатів з використанням порошку керобу. *Харчова промисловість*. 2023. № 33–34. С. 54–61. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0884a239-6e50-4712-9600-70ced59f4a07/content>

Chorna, T., Shubina, L., Yanushkevych, D., & Domanova, O. (2020). Qualimetric model for assessing the quality and safety of goods. *Path of Science*, 6(4), 2001–2006. <https://dx.doi.org/10.22178/pos.57-6>. (in Ukrainian)

Чорна Т., Шубіна Л., Янушкевич Д., Доманова О. Кваліметрична модель оцінки якості та безпеки товарів. *Path of Science*. 2020. № 6(4). С. 2001–2006. <https://dx.doi.org/10.22178/pos.57-6>

da Silva, P. B., Anunciação, P. C., da Silva Matyelka, J. C., Ceres Mattos Della Lucia, Hércia Stampini Duarte Martino, & Pinheiro-Sant'Ana, H. M. (2017). Chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places. *Food Chemistry*, 221, 1709–1716. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.115>

Jie Hong Chiang, Dayna Shu Min Ong, Felicia Siew Kay Ng, Xin Yi Hua, Wesley Li Wen Tay, & Christiani Jeyakumar Henry. (2021). Application of chia (*Salvia hispanica*) mucilage as an ingredient replacer in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.039>

Hoiko, I. Iu., & Stetsenko, N. O. (2022). Justification of the recipe and research of a comprehensive indicator of the quality of minced meat for the production of culinary meat-vegetable semi-finished products for special dietary consumption (for athletes). *Technology of production and processing of livestock products*, (1), 143–154. (in Ukrainian). <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/38004>

Гойко І. Ю., Стеценко Н. О. Обґрунтування рецептури та дослідження комплексного показника якості фаршу для виробництва кулінарних м'ясо-рослинних напівфабрикатів спеціального дієтичного споживання (для спортсменів). *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2022. № 1. С. 143–154. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/38004>

Kashkano, M. A., Bilenka, I. R., & Lazarenko, N. A. (2025). Comprehensive assessment of the quality of multicomponent culinary products of functional purpose. *Tavria Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*, (1), 343–351. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.35>. (in Ukrainian)

Кашкано М. А., Біленька І. Р., Лазаренко Н. А. Комплексна оцінка якості полікомпонентних кулінарних виробів функціонального призначення. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2025. №1. С. 343–351. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.35>

Koretska, I. L., Kuzmin, O. V., Polovyk, V. V., & Kravchuk, N. M., Niemirich, O. V. (2020). Copyright certificate 96904 UA. Determining the rating of new products (recommendations for evaluating a new food product). *Copyright and related rights*. Publ. 26.03.2020, Bull. 58. 14. (in Ukrainian). <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/32315>

Корецька І. Л., Кузьмін О. В., Польовик В. В., Кравчук Н. М., Неміріч О. В. А. с. 96904 UA. Визначення рейтингу нових виробів (рекомендації до оцінювання нового харчового продукту). *Авторське право і суміжні права*. 2020. Опубл. 26.03.2020, Бюл. № 58. 14 с. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/32315>

Lapytska, N., Rybalochko, O., & Kavurko, D. (2025). Qualimetric assessment of the quality of frozen Moti desserts made using by-products of juice production. *Biota. Human. Technology*, (1), 138–147. <https://doi.org/10.58407/bht.1.25.8>. (in Ukrainian)

Лапицька Н., Рибалочко О., Кавурко Д. Кваліметрична оцінка якості заморожених десертів Моті, виготовлених із використанням побічних продуктів сокового виробництва. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 1. С. 138–147. <https://doi.org/10.58407/bht.1.25.8>

Minorova, A., Krushelnytska, N., Rudakova, T., Moiseieva, L., & Narizhnyi, S. (2020). Quality assessment of dry multicomponent milk mixtures based on the principles of qualimetry. *Food resources*, 8(15), 139–150. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-15>. (in Ukrainian)

Мінорова А., Крушельницька Н., Рудакова Т., Моїсеєва Л., Наріжний С. Оцінка якості сухих молочних багатокомпонентних сумішей на принципах кваліметрії. *Продовольчі ресурси*. 2020. № 8(15). С. 139–150. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-15>

Mutlu, S., Palabiyik, I., Kopuk, B., Gunes, R., Boluk, E., Bagcı, U., Özmen, D., Toker, O. S., Konar, N. (2023). Modification of chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage (a heteropolysaccharide) by atmospheric pressure cold plasma jet treatment. *Food Bioscience*, 56, 2023, 103178. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103178>

Oliinyk S. G., O. Bolkhovitina, O. I., Samokhvalova, O. V., & Shydakova-Kameniuka O. G. (2020). Qualimetric evaluation of the quality of wheat bread with the addition of derivative products of wheat germs. *Progressive equipment and technologies for food production, restaurant industry and trade*, 2(32), 127–139. (in Ukrainian). <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/2474>

Олійник С. Г., Болховітіна О. І., Самохвалова О. В., Шидакова-Каменюка О. Г. Кваліметрична оцінка якості хліба пшеничного з додаванням продуктів переробки зародків пшениці. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2020. Вип. 2(32). С. 127–139. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/2474>

Peshuk, L., Horbach, O., & Vovk, L. (2019). Quality of cooked sausage products with the additive "Record-75". *Goods and markets*, (1), 104–112. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019\(29\)10](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019(29)10). (in Ukrainian)

Пешук Л., Горбач О., Вовк Л. Якість варених ковбасних виробів з добавкою «Рекорд-75». *Товари і ринки*. 2019. №1. С. 104–112. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019\(29\)10](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019(29)10)

Romanovska, O. (2022). Comprehensive assessment of biscuit quality. *Engineering sciences and technologies*, 4(26), 121–128. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-121-128](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-121-128). (in Ukrainian)

Романовська О. Комплексна оцінка якості бісквітів. *Технічні науки та технології*. 2022. № 4(26). С. 121–128. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-121-128](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-121-128)

Samokhvalova, O., Kasabova, K., Shydakova-Kameniuka, O., Zagorulko, O., & Zahorulko, A. (2023). Assessment of the quality of marmalade with the addition of multicomponent fruit and berry paste. *Scientific Works of NUFT*, 29(1), 119–129. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-1-11>. (in Ukrainian)

Самохвалова О.В., Касабова К.Р., Шидакова-Каменюка О.Г., Загорулько О.Є., Загорулько А.М. Оцінка якості мармеладу з додаванням багатокомпонентної плодово-ягідної пасти. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2023. Том 29, № 1. С. 119–129. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-1-11>

Solanki, D., Dhungana P., Qiu Yi Tan, Badin, R., Bhandari, B., Sahu, J. K., & Prakash, S. (2024). Assessing the functional and physicochemical properties of chia seed mucilage extracted using an innovative extraction method. *Food Hydrocolloids*, 156, 110342. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110342>

Shydakova-Kameniuka, O. G., Shklieriev, O. M., & Rohova, A. L. (2017). Analysis of the chemical composition of chia seeds as a promising raw material for confectionery products. *Progressive technique and technologies of food production enterprises, catering business and trade : Scientific works of the KSUFT*, 1(25), 80–91. (in Ukrainian). <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/862>

Шидакова-Каменюка О. Г., Шкляєв О. М., Рогова А. Л. Аналіз хімічного складу насіння чіа як перспективної сировини для кондитерських виробів. *Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі: Зб. наук. праць ХДУХТ*. 2017. Вип. 1 (25). С. 80–91. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/862>

Shydakova-Kameniuka, O., Zagorulko, A., Kasabova, K., Mikhaylov, V., Shklieriev, O., Rohova, A., Novik, A., & Lapytska, N. (2024). Applying chia seeds to improve the structural characteristics and nutrient composition of whipped candies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11 (132)), 73–83. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318530>

Stepankova, G. V., Oliinyk, S. G., & Shydakova-Kameniuka, O. G. (2019). Qualimetric evaluation of the quality of wheat bread with the addition of swirling of oat germ and oilcake of maize germ. *Scientific works of the NUFT*, 1(25), 233–242. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2019-25-1-24>. (in Ukrainian)

Степанькова Г. В., Олійник С. Г., Шидакова-Каменюка О. Г. Кваліметрична оцінка якості хліба пшеничного з використанням шроту зародків вівса та макухи зародків кукурудзи. *Наукові праці НУХТ*. 2019. № 1(25). С. 233–242. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2019-25-1-24>

Yesaulenko, A. A., Mamchenko, L. Ye., Niemirich, O. V., Kuzmin, O. V., & Matyiashchuk, O. V. (2023). Improving the technology of cupcakes with hemp seed processing products. *Tavria Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*, (4), 118–126. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.15>. (in Ukrainian)

Єсауленко А. А., Мамченко Л. Є., Неміріч О. В., Кузьмін О. В., Матіяшчук О. В. Удосконалення технології кексів з продуктами переробки насіння конопель. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. №4. С. 118–126. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.15>

Zamudio, F. V., Herrera, R. R., & Segura Campos, M. R. (2024). Unlocking the potential of amaranth, chia, and quinoa to alleviate the food crisis: a review. *Current Opinion in Food Science*, 57, 101149. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101149>

Received: 24.06.2025. Accepted: 15.09.2025. Published: 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Шидакова-Каменюка О., Шкляєв О. Комплексна кваліметрична оцінка якості кремово-збивних цукерок збагачених насінням chia. *Biota. Human. Technology*. 2025. №3. С. 180–192. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.17>

Cite this article in APA style as:

Shydakova-Kameniuka, O., & Shklyayev, O. (2025). Kompleksna kvalimetrychna otsinka yakosti kremovo-zbyvnykh tsukerok zbahachenykh nasinniam chia [Comprehensive qualimetric assessment of the quality of whipped cream candies enriched with chia seeds]. *Biota. Human. Technology*, (3). 180–192. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.17> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Shydakova-Kameniuka O. [*in Ukrainian: Шидакова-Каменюка О.*] ¹, PhD (Technical Sciences), Assoc. Prof., email: shidakovae@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8550-7817

Department of bakery and confectionery technology, State Biotechnological University
44 Alchevskikh Street, Kharkiv, 61000, Ukraine

Shklyayev O. [*in Ukrainian: Шкляєв О.*] ², PhD (Technical Sciences), email: aleksey_sh86@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4479-508X

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.



Copyright (c) 2025 Elena Chernushenko, Anna Novik, Serhii Khrychov, Alina Savchenko

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Elena Chernushenko, Anna Novik, Serhii Khrychov, Alina Savchenko

**FUNCTIONAL POTENTIAL OF SECONDARY TOMATO RAW MATERIALS:
DEVELOPMENT OF AN ANTIOXIDANT DRESSING FOR HEALTHY NUTRITION**

Олена Чернушенко, Ганна Новік, Сергій Хричов, Аліна Савченко

**ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ВТОРИННОЇ ТОМАТНОЇ СИРОВИНИ:
СТВОРЕННЯ АНТИОКСИДАНТНОГО ДРЕСИНГУ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ****ABSTRACT**

In the current context of rising concern for food security, sustainable development and the minimisation of food waste, the effective utilisation of by-products from the agro-industrial sector is of particular importance. The paper provides a detailed characterisation of the functional ingredients present in tomato-processing waste and proposes the development of a functional salad dressing based on tomato and olive oils with high levels of antioxidants and polyunsaturated fatty acids.

Aim of the study. The aim of this work was to develop a functional salad dressing based on tomato and olive oils with high antioxidant and polyunsaturated fatty-acid content, capable of improving the nutritional value of the product and supporting consumer health.

Methodology. Calculations and data processing in Microsoft Excel were employed to assess the composition of ingredients and the antioxidant activity of the product.

Scientific novelty. For the first time, recipes for dressings with the addition of cold-pressed tomato oil, oregano and turmeric are proposed. These ingredients provide enhanced antioxidant activity and broaden the spectrum of bioactive components (lycopene, tocopherols, quercetin, rutin and other flavonoids). The dressing is characterised by a high proportion of unsaturated fatty acids (> 80 %), optimal stability during storage and an elevated ω -6/ ω -3 ratio, which makes it an innovative functional food product.

Conclusions. The paper presents the development of a functional sauce-dressing based on cold-pressed tomato oil, which exhibits marked antioxidant properties and contains no artificial preservatives. The resulting product contains significant amounts of natural antioxidants (lycopene, tocopherols and vitamin C), unsaturated fatty acids (omega-6 and omega-9), as well as vitamins and minerals important for maintaining the cardiovascular, immune and antioxidant systems. It has been established that this sauce-dressing is a promising functional product for inclusion in a rational daily diet.

Keywords: functional food products, health-promoting products, food additives; tomato pomace, secondary raw materials, functional ingredients, tomato oil, waste processing, food industry, eco-friendly food products, dressing, antioxidant capacity

АНОТАЦІЯ

У сучасних умовах зростаючої актуальності проблем продовольчої безпеки, сталого розвитку та мінімізації харчових відходів особливе значення набуває ефективне використання побічних продуктів агропромислового комплексу. У роботі детально охарактеризовано функціональні інгредієнти, що містяться у відходах томатопереробки, та запропоновано розробку функціонального салатного дресингу на основі томатної та оливкової олій із підвищеним вмістом антиоксидантів і поліненасичених жирних кислот.

Мета статті. Метою дослідження було розробити функціональний салатний дресинг на основі томатної та оливкової олій із високим вмістом антиоксидантів та поліненасичених жирних кислот, здатний покращувати харчову цінність продукту та підтримувати здоров'я споживачів.

Методологія. Використано розрахункові методи та обробку даних у Microsoft Excel для оцінки складу компонентів і антиоксидантної активності продукту.

Наукова новизна. Вперше запропоновано рецептури дресингу із додаванням холодно віджатої томатної олії, орегано та куркуми, що забезпечує підвищення антиоксидантної активності та розширення спектру біоактивних компонентів (лікопен, токоферолі, кверцетин, рутин, флавоноїди). Дресинг характеризується високим вмістом ненасичених жирних кислот (>80 %), оптимальною стабільністю під час зберігання та підвищеним вмістом ω -6/ ω -3, що робить його інноваційним продуктом функціонального харчування.

Висновки. У роботі представлено розробку функціонального соус-дресингу на основі томатної олії холодного віджиму, що має виражені антиоксидантні властивості та не містить штучних консервантів.. Отриманий продукт містить значну кількість природних антиоксидантів (лікопін, токофероли, вітамін С), ненасичених жирних кислот (омега-6 та омега-9), а також вітамінів і мінералів, важливих для підтримки серцево-судинної, імунної та антиоксидантної систем організму. Встановлено, що соус-дресинг є перспективним функціональним продуктом для раціонального щоденного харчування.

Ключові слова: функціональні харчові продукти, оздоровчі продукти, харчові добавки, томатні вичавки, вторинна сировина, функціональні інгредієнти, томатна олія, переробка відходів, харчова промисловість, екологічні харчові продукти, дресинг, антиоксидантні властивості

Introduction

The increasing demand for environmentally clean products, conservation of natural resources, and reduction of agro-industrial waste motivate scientific research on the reuse of plant raw materials. Secondary plant raw materials are residues left after the primary processing of agricultural crops (husks, stalks, pomace, oilcake, press cake, etc.). They contain a wide spectrum of valuable compounds: polyphenols, fiber, pectins, vitamins, minerals, essential oils, proteins, and amino acids. These components can be effectively converted into food products and biologically active supplements.

The volume of raw materials in industries processing agricultural products is significantly higher than the output of final products; as a result, a large quantity of secondary raw materials is generated, most of which is scarcely utilized (Gasimova, 2024; Kartushina et al., 2017; Kołodziejczyk et al., 2007; Levkivska et al., 2021; Meghwar et al., 2024; Pavlović et al., 2020; Yuner & Syarifuddin, 2024). Secondary raw materials from tomato processing are a unique source of nutrients – vitamins, antioxidants, polyphenols, tannins, and essential trace elements – that contribute to the normal functioning of the human body (Table 1).

Table 1

Summarizes the chemical composition of tomato seeds, tomato skin, and tomato pomace (Maldonado-Torres et al., 2020)

Component	Tomato seeds (% of dry basis)	Tomato skin (% of dry basis)	Tomato pomace (% of dry basis)
Proteins	29,6	10,8	23,9
Lipids	32,5	2,8	21,8
Phospholipids	1,1	trace	0,8
Minerals	2,95	1,9	2,1
Carbohydrates	34,7	80,1	48,3
Fibers	21,2	42,4	27,6
Carotenoids (mg%)	16,4	27,8	25,1
β-Carotene (mg%)	1,2	1,9	1,8
Tocopherols (mg%)	64,4	–	39,3
α-Tocopherol (mg%)	51,5	–	35,4
Naringin (mg%)	–	4,3	1,3
α-Tomatine (mg%)	2,8	3,8	3,1

Tomato processing occupies a leading position in the canning industry both in Ukraine and abroad. Tomatoes are processed at enterprises to produce products such as purée, juices, ketchup, sauce, paste, and tomato powder. The solid residues remaining after pulp

extraction are peels, seeds, fibrous mass, and discarded tomatoes unsuitable for human consumption.

In the process of converting tomatoes into juice, paste or ketchup, waste is formed in the amount of 3.5–4.0 % of the total mass of raw

materials. These by-products, with an appropriate technological approach, can serve as sources of valuable food ingredients and food additives that have a positive effect on human health.

Technologies for the production of tomato-oil extract and protein–tomato-oil paste from tomato pulp have been developed, which are used to regulate the technological properties of food systems, such as bakery products, cooked sausages, pâtés, mayonnaise and mayonnaise sauces. A method for processing cake, for example, into protein paste, has been found (Kumar et al., 2022). The components obtained from tomato pulp have pronounced emulsifying and stabilizing properties due to the combination of proteins, lipids and dietary fibers. Tomato oil extract and protein–tomato paste effectively regulate the viscosity, texture, stability and dispersibility of products. This makes it possible to reduce the use of synthetic stabilizers and to enrich the formulations with

dietary fibers and natural antioxidants (Nakov et al., 2022).

Tomato seeds are the main by-product in the production of tomato paste and account for approximately 71–72 % of all waste (Kumar et al., 2022). Tomato seeds contain a number of important functional ingredients: essential fatty acids, vitamins (A, D, E and K), phytosterols, and other components that play an important role in human nutrition and health (Kumar et al., 2022). This raw material can be considered a valuable source for obtaining dietary supplements (Table 2). Tomato pulp consists mainly of peel and seeds. It is a lignocellulosic material that is often difficult to utilize (Kaloo et al., 2025).

Tomato seeds are separated from pomace after drying by grinding and sieving into seeds and crushed peel, or by washing pomace with water, using density differences (seeds sink in water, while pulp and peel float). The settled seeds are mechanically pressed to remove moisture and dried in dryers to a moisture content of 11–12 % (Svelander et al., 2010).

Table 2

Nutritional ingredients of tomato seeds (Kaloo et al., 2025)

Component	Functional value
Fats	Source of linoleic (omega-6) and oleic (omega-9) acids; contain phytosterols, tocopherols (vitamin E) with antioxidant properties
Proteins	High content of essential amino acids (lysine, valine, isoleucine); potential alternative to animal protein
Fiber	Represented by insoluble dietary fibers; improves gastrointestinal function
Pectin substances	Natural thickeners and stabilizers in the food industry
Minerals	Calcium, potassium, magnesium, phosphorus, iron
Antioxidants	Carotenoids (lycopene), polyphenols, flavonoids, vitamin E – reduce oxidative processes
Phospholipids	Improve emulsion structure, stabilize dispersed systems

The amount of antioxidants in tomato seeds is significant, although most studies have focused on fruit pulp and peel (Benderska et al., 2021). Main antioxidants in tomato seeds include:

– Lycopene – although most abundant in peel and pulp, small amounts are present in seeds (≈ 0.1 – 0.5 mg/g dry weight). Lycopene is a tetraterpenoid with conjugated double bonds, which gives it the ability to neutralize reactive oxygen species (ROS) and other free radicals (Bacanli et al., 2017; Shafe et al., 2024). It is

superior to β -carotene and α -tocopherol in antioxidant activity. The bioavailability of lycopene increases after heat treatment, especially in the presence of fat, which promotes its absorption in the intestine. Lycopene has a positive effect on the blood lipid profile, reducing total cholesterol and LDL, and improving endothelial function (Kumar et al., 2022). Studies confirm its role in the prevention of atherosclerosis and coronary heart disease. Epidemiological studies indicate an inverse relationship between the level of lycopene

consumption and the risk of developing certain types of cancer, including prostate, lung and stomach cancer (Ni Li et al., 2020). Lycopene is involved in the regulation of mineral metabolism and may contribute to the maintenance of bone density. The nephroprotective properties of lycopene in oxidative damage to kidney tissue have also been described (Silva et al., 2025). The antioxidant activity of lycopene provides photoprotective effects, reduces signs of photoaging of the skin and maintains its elasticity. Some studies indicate a positive effect on hair growth and structure (Shafe et al., 2024).

– Phenolic compounds – seeds contain flavonoids, quercetin, rutin, and other polyphenols (10–40 mg/g dry weight).

– Vitamin E (tocopherols) – fat-soluble antioxidants, present in tomato seed oil (≈ 20 –50 mg/100 g). Tocopherols are natural lipophilic antioxidants with high biological activity that protect cell membranes from lipid peroxidation, stabilize the structure of biomembranes and participate in the regulation of signaling pathways. As functional ingredients, tocopherols are widely used in the creation of food products with increased biological value and long shelf life.

– Phytosterols – have antioxidant and anti-inflammatory effects.

– Oleic and linoleic acids – unsaturated fatty acids that protect cells from oxidative stress.

The oil content in tomato seeds is 24–26 %, in pomace – up to 19–21 % (depending on variety and fruit ripeness) (Kaloo et al., 2025). Tomato seeds contain 0.8–1.0 % phospholipids, 112–150 mg/100 g tocopherols, up to 1 % carotenoids, and 0.8–1.88 % of other unsaponifiable substances. To obtain tomato seed oil, several technological operations are applied, such as drying, grinding, pressing and filtration. Tomato oil can be obtained by different methods (Table 3). Mechanical pressing (cold or hot) or expeller pressing – seeds are compressed by a screw press under high pressure. Cold pressing is often considered the best option for preserving taste and bioactive compounds. Solvent extraction (e.g., hexane) ensures high oil yield (residual oil in cake ≈ 0.5 –0.7 %) or other solvents (acetone, chloroform, ethers) for special purposes. Modern technologies: CO₂ extraction, ultrasound, microwaves. Water extraction – using water as the medium instead of toxic solvents; safe but less efficient (Giuffrè et al., 2017).

Table 3

Main methods of tomato oil extraction

Method	Yield, %	Advantages	Disadvantages
Cold pressing	up to 17	Preservation of bio-components	Lower yield
Soxhlet (solvents)	20-21	Maximum extraction	Time-consuming, possible degradation
Microwave extraction	11-25	Speed, preservation of antioxidants	Technically complex
Ultrasound extraction	19-23	Combined effect	Expensive equipment
Accelerated, under pressure	17-20	High lycopene activity	High cost
Supercritical CO ₂ extraction	17	Solvent-free, product purity	Lower yield, costly equipment
Water extraction	smaller	Eco-friendly approach	Low efficiency without pretreatment

The oil has an intense red-brown color due to natural carotenoids (lycopene, β -carotene), and also contains vitamins E, K, phytosterols, and antioxidants, with a sharp peppery aroma.

Tomato seed oil is rich in bioactive compounds, particularly unsaturated fatty acids, antioxidants, and vitamins. Table 4 below shows the typical chemical composition of tomato oil.

Table 4

Chemical composition of tomato oil (Giuffrè et al., 2017)

Component	Content (% of total oil mass)
Linoleic acid (omega-6)	50-60
Oleic acid (omega-9)	20-30
Palmitic acid	10-15
Stearic acid	1-3
Lycopene	0.005-0.02
Phytosterols	0.5-1.5
Tocopherols (vitamin E)	0.05-0.2
Calcium, magnesium, iron	Trace amounts

The high content of linoleic acid makes the oil a valuable source of omega-6 – essential fats for skin, immunity, and metabolism. Tomato oil is characterized by low saturated fat content (less than 20 % overall) and contains antioxidants (lycopene, tocopherols, phytosterols), giving it stability and functional properties. The cake remaining after pressing or extracting tomato seed oil is the main by-product in tomato oil production. It has been reported (Egorov & Malaki, 2014) that after oil extraction, the cake retains high protein content (40–45 %). On this basis, protein paste can be obtained with a composition: protein $\approx$ 80–85 %, fat $\approx$ 9–10 %, ash $\approx$ 2.3–2.5 %. This paste has a spreadable consistency, light gray color, neutral odor and taste, and is used as an ingredient in the production of various food products and canned goods. The development of food products using tomato oil is a promising direction in functional nutrition, since this oil is rich in linoleic acid, antioxidants (lycopene, tocopherols), as well as vitamins A and E. It has a characteristic bright red color and a mild tomato aroma, providing both functionality and an attractive appearance to food products.

The aim of the work was to create a salad dressing with antioxidant properties, without artificial preservatives, based on tomato oil. Such sauces can become an effective component of dietary and preventive diets aimed at supporting the cardiovascular system, reducing oxidative stress and normalizing metabolic processes.

Materials and methods

Methodology. During the study, computational methods were applied. The results were processed using the MC Excel database.

The following recipe components were used for technology development:

- Certified Organic Cold Pressed Tomato Seed Oil. Biopurus – Certified Organic by Soil Association Certification Limited GB-ORG-05, certificate reference DC25977)
- Olive oil extra virgin – DSTU 5065:2008;
- Lemon juice – DSTU 7159:2010 “Canned foods. Reconstituted juices. General technical specifications”;
- Dijon mustard – DSTU 1052:2005 “Edible mustard. General technical specifications”;
- Acacia honey – DSTU 4497:2005 “Natural honey. Technical specifications”;
- Salt – DSTU 3583:2015 “Edible salt. General technical specifications”;
- Fresh garlic – DSTU 3233-95 “Fresh garlic. Technical specifications”;
- Ground black pepper – DSTU ISO 959-1:2008 “Pepper (*Piper nigrum* L.) whole or ground. Technical specifications”;
- Dried oregano – CXS 342-2021;
- Turmeric (powder) – ISO 5562:1983 “Turmeric whole and ground (powdered). Technical specifications”;
- Drinking water – SanPiN 2.2.4–171–10 and DSTU 7525–2014.

Results and Discussion

During the study, two samples of tomato-based sauce with a high content of antioxidants and linoleic acid were developed. The preparation technology of the dressing involves the following operations, in order:

Preparation of raw materials: Tomato and olive oils are inspected for quality, clarity, and odor. Fresh lemon juice is extracted. Garlic is peeled and crushed. The recipe ingredients are measured according to the formulation (Table 5).

Table 5

Presents the formulation of raw materials per 100 g of finished sauce-dressing product

Ingredient	Control vinaigrette dressing	Sample 1 (g)	Sample 2 (g)	Note
Cold-pressed tomato oil	-	50	30	Source of lycopene (natural antioxidant)
Olive oil (extra virgin)	70	20	40	Omega-9 fatty acids, polyphenols
Fresh lemon juice	15	10	10	Natural preservative, source of vitamin C
Dijon mustard	5	5	5	Natural emulsifier
Acacia honey	3	3	3	Natural sweetener and preservative
Salt	1	1	1	Flavor additive
Fresh garlic	1	1	1	Antimicrobial properties
Ground black pepper	0,5	0,5	0,5	Antioxidant, flavoring
Dried oregano	-	0,5	0,5	Antibacterial, antioxidant
Turmeric powder	-	0,5	0,5	Antioxidant
Purified drinking water	4,5	8,5	8,5	For adjusting consistency
Total (yield)	100	100	100	

Mixing: In a tall container, mix the tomato and olive oils. Add lemon juice, Dijon mustard, and honey – thoroughly whisk or blend with a mixer to form an emulsion. Add spices, crushed garlic, salt, and water. Whip again until a homogeneous consistency is achieved.

Holding: Allow the mixture to infuse in a refrigerator at +4 to +6 °C for at least 12 hours to stabilize the flavor and aroma. Store the dressing in a tightly closed glass or food-grade PET container at a storage temperature of +2 to +6 °C for up to 7 days. Developing new types of sauces using natural ingredients is a promising area in the food industry, focused on creating safe, functional and healthy products. The modifications introduced into the developed dressing formulations (samples 1 and 2) involve the addition of cold-pressed tomato oil, dried oregano and turmeric, which significantly enhance the functional properties of the product. Cold-pressed tomato oil is rich in lycopene (a powerful carotenoid antioxidant) and contains significant quantities of phytosterols and tocopherols. The addition of oregano, which, according to research (Moghrovy et al., 2019), has a high content of flavonoids and exhibits strong radical-scavenging and

metal-chelating activity, enhances the antioxidant component of the formulation. Turmeric, owing to the presence of the active component curcumin, contributes to an overall increase in the antioxidant activity of the product and gives it additional functional value (Jakubczyk et al., 2020). As a result, samples 1 and 2, compared with the control, acquire the characteristics of a functional product with enhanced value, as they contain an expanded spectrum of bioactive components (lycopene, flavonoids, phytosterols, mono- and polyunsaturated fats) that strengthen the antioxidant action.

Samples 1 and 2 demonstrate high stability during storage at +2 – +6 °C for 7 days: thanks to the optimal ratio of oils, water, citric acid and natural emulsifiers (mustard, honey) the product does not stratify and retains a homogeneous consistency. The control has a less balanced structure, which may lead to slight separation of the liquid and fat phases during storage at +2 – +6 °C for 5 days. Thus, samples 1 and 2 ensure prolonged homogeneity and ease of use.

To evaluate the consumer characteristics of the sauce-dressing product samples, organoleptic studies were conducted using a closed

tasting method on a five-point scale. Sample 1 demonstrates clear advantages over the control and sample 2, combining a bright taste and rich

aroma with an attractive orange color, which increases its sensory appeal. The light texture ensures convenience in use.

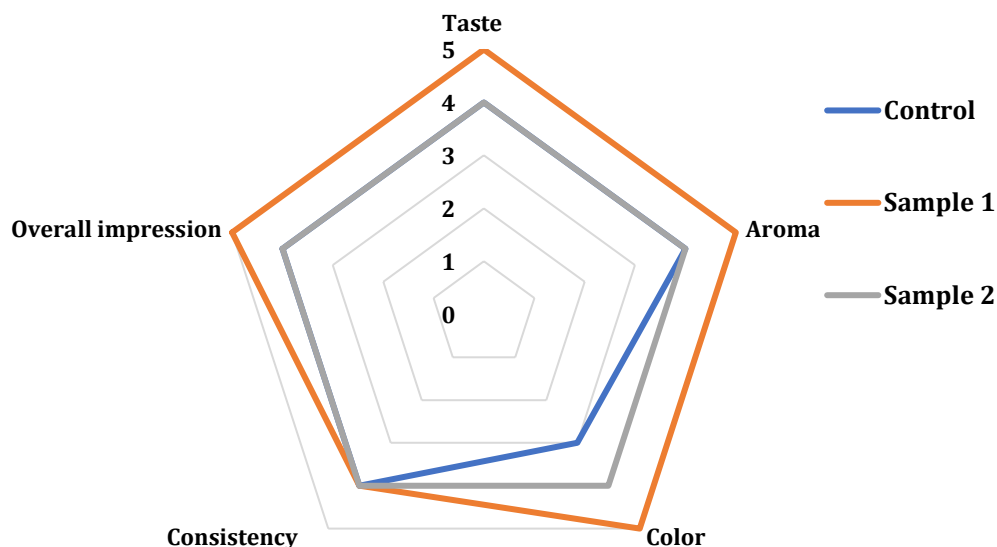


Fig. 1. Organoleptic indicators of experimental samples

In the developed dressing (sample 1) the enhancement of the antioxidant profile due to the introduction of specially selected components is particularly evident. In addition to tocopherols, sample 1 has increased amounts of lycopene, quercetin, rutin and flavonoids, providing a broader spectrum of action on the organism (Table 6). Lycopene from tomato oil is a powerful carotenoid antioxidant capable of effectively neutralizing free radicals, protecting lipids from oxidation and contributing to the

maintenance of cardiovascular health (Imran et al., 2020). In addition to lemon juice and garlic, which are sources of vitamin C and allicin, the addition of spices in the developed dressings – oregano and turmeric – ensures substantial enrichment of the product with flavonoids and polyunsaturated antioxidant compounds. Although the amount of tocopherols in sample 1 is lower than in the control, the advantage of sample 1 in the variety of antioxidants makes it more innovative and functional.

Table 6

Antioxidant content (per 100 g of sauce dressing)

Antioxidant Compound	Control	Sample 1
Tocopherols	≈ 17,6 мг	≈ 5,0 мг
Lycopene	≈ 0 мг	≈ 20,0 мг
Quercetin	≈ 0,1 мг	≈ 7,0 мг
Rutin	≈ 0,1 мг	≈ 2,0 мг
Total flavonoids	≈ 5-11 мг	≈ 15-25 мг

Table 7

The fatty acid composition of the dressing per 100 g

Fatty Acid Type	Control	Sample 1
Oleic (omega-9)	47 g	25g
Linoleic (omega-6)	4,9 g	29 g
Linolenic (omega-3)	0,6 g	1,2 g

Table 8

The analysis of the dressing's fatty acid profile

Fatty Acid	Control	Sample 1	Comment
Linoleic (C18:2, ω -6)	7,13 %	42,3%	Main polyunsaturated fat; important for growth and regulation of inflammation. At high levels, omega-6/omega-3 balance should be controlled.
Oleic (C18:1, ω -9)	72 %	36,5%	Monounsaturated fat; lowers «bad» cholesterol and supports heart health.
Palmitic (C16:0)	12 %	16,0%	Saturated fat; normal in moderate amounts, but excess may influence cardiovascular risk.
Stearic (C18:0)	3,18 %	3,5%	Saturated fat; less harmful than other saturated fats; can serve as an energy source.
Linolenic (C18:3, ω -3)	0,6 %	1,7%	Omega-3 fat; beneficial for brain and heart; reduces inflammation. Content is low, so it is recommended to balance with other omega-3 sources.
Total MUFA	72 %	36,5%	
Total PUFA	7,73 %	44%	

The dressing Sample 1 and control has a healthy fatty acid profile, with over 80 % of its fatty acids being unsaturated. This is one of the key nutritional indicators of the quality of the product's fat component. An additional advantage of sample 1 compared with the control is the key components of the fatty acid profile:

- A higher proportion of polyunsaturated fatty acids (PUFA) – in sample 1 PUFA are 44 % versus 7.73 % in the control.

- A higher content of linolenic acid (ω -3) – in sample 1 $\approx$ 1.7 % versus $\approx$ 0.6 % in the control.

Linoleic acid (omega-6 42,4%): The dominant fatty acid, constituting the main portion of the composition. Its high concentration is characteristic of tomato oil, which is the base ingredient of the dressing. This acid is essential for immune function, cell growth, and regulation of inflammation (Johnson & Fritsche, 2012).

- Oleic acid (omega-9): Provided primarily by olive oil, it has a well-balanced content. It supports the health of the cardiovascular system, promotes reduction of “bad” cholesterol levels, and reduces the risk of heart disease (Lopez-Huertas, 2010; Sales-Campos et al., 2012).

- Saturated fatty acids (palmitic and stearic): Together they make up about 12.8% of the total fat profile, which is an acceptable level for products based on vegetable oils.

The high content of unsaturated fatty acids (> 80,5%), including omega-6 and omega-9, makes the dressing suitable for daily consum-

ption (Johnson & Fritsche, 2012). Oleic acid (omega-9) has an anti-atherosclerotic effect and positively affects the blood lipid profile. The high content of linoleic acid has a positive effect on the skin, immune system, and metabolic processes (Sales-Campos et al., 2012).

The ratio of omega-6 to omega-3 in the dressing is high (24:1), while 4:1 is considered optimal. The MUFA/SFA ratio is 1,87, which shows the dominance of monounsaturated fats (MUFA – mainly oleic acid from olive oil) over saturated fats. The higher the MUFA/SFA ratio, the healthier the fat profile (>1,5 is considered optimal). The PUFA/SFA ratio of 2,25 indicates a high proportion of polyunsaturated fats (ω 6 + ω 3) compared to saturated fats. PUFAs (especially ω 3) have a cardioprotective effect, reduce the risk of atherosclerosis, and help lower triglycerides. Normative significance: PUFA/SFA > 1 is a sign of a healthy lipid profile (Siqui Luo et al., 2024).

The total proportion of unsaturated fats is 80,5%. This is an excellent indicator, since most of the fats in the recipe are unsaturated.

Below are calculations of functional ingredients per 100 g of sauce dressing according to the recipe in the process chart, using average data from scientific sources (Szabo et al., 2021; Skoczylas et al., 2023; Mazzocchi et al., 2019; Lorente et al., 2014; Czipa et al., 2019).

Table 9

The nutritional composition per 100 g of the sauce-dressing

Parameter	Value
Caloric content	645 kcal
Fats	70,6 g
Carbohydrates	5,5 g
Proteins	0,7 g

The dressing stands out for its high content of key micronutrients, specifically vitamin E, potassium, and magnesium, which play an important role in supporting the cardiovascular system, normalizing blood

pressure, and overall strengthening of the body. Vitamin C, a powerful antioxidant, is preserved in the dressing thanks to the use of natural lemon juice and fresh garlic, which ensure the stability of this sensitive vitamin.

Table 10

The content of vitamins and minerals per 100 g of dressing

Nutrient (Vitamins)	Amount	Nutrient (Minerals)	Amount
Vitamin E	39,6 mg	Potassium (K)	619,9 mg
Vitamin K	8,8 µg	Magnesium (Mg)	119,1 mg
Vitamin C	7,0, mg	Sodium (Na)	387,3 mg
Vitamin B ₁	0,006 mg	Iron (Fe)	6,7 mg
Vitamin B ₂	0,0003 mg	–	–
Vitamin B ₃	0,045 mg	–	–
Vitamin B ₆	0127 mg	–	–

Thanks to the content of vitamins E and C, as well as lycopene – a natural pigment with powerful antioxidant activity – the dressing can be considered a complete source of antioxidants. These compounds help neutralize free radicals, slowing the aging process, reducing the risk of inflammation, and supporting cell health.

Particularly noteworthy is that all micronutrients in the dressing are naturally derived – there are no synthetic additives or artificial enhancers.

Conclusions

The rational use of secondary plant raw materials is an important strategy for ensuring the sustainable development of the agro-industrial sector. Processing by-products – in particular, tomato pomace – not only helps reduce the environmental burden but also yields valuable functional ingredients for the food and pharmaceutical industries.

Tomato pomace is a source of proteins, fats, dietary fibers, vitamins, minerals, antioxidants (lycopene, β-carotene, tocopherols), phytonutrients, and biologically active

compounds (glycosides, flavonoids) that have a broad spectrum of biological activities: antioxidant, anti-inflammatory, antitumor, cardioprotective, hepatoprotective, photoprotective, and more.

Technological processing of tomato raw materials makes it possible to produce food ingredients with emulsifying, stabilizing, and antioxidant properties. In particular, protein-tomato paste and tomato-oil extract are successfully used in bakery, meat, and sauce products as substitutes for synthetic additives. The most valuable by-product is tomato seeds, which are a source of oil rich in linoleic and oleic acids, phospholipids, tocopherols, carotenoids, and phytosterols. Various extraction methods allow the technological process to be adapted to the desired chemical composition and functional purpose of the product.

The functional components of tomato by-products have potential for creating dietary supplements, nutraceuticals, natural preservatives, antioxidants, and even pharmaceuticals. They can improve the quality of food products, increase their nutritional value, and

contribute to the prevention of a wide range of diseases.

Utilizing secondary tomato raw materials in production not only makes economically efficient use of agro-industrial waste but also enables the development of innovative, high-value-added products with pronounced health benefits. This approach aligns with current trends in functional nutrition.

As a result of this research, a salad dressing based on tomato and olive oils was successfully developed. It is characterized by a high content of natural antioxidants (lycopene, tocopherols, vitamin C), unsaturated fatty acids (linoleic and oleic), and a comprehensive vitamin-mineral complex. The proposed product contains no artificial preservatives, and all its functional components are of natural origin.

The developed dressing has an attractive appearance, a bright color, a characteristic aroma, and balanced organoleptic properties. Due to its high content of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids (>80%), the dressing positively affects cardiovascular health, the regulation of inflammatory processes, and metabolic activity.

The nutritional composition of the dressing confirms its functionality: it is a source of vitamins E, K, C, B₆, potassium, magnesium, iron, and bioflavonoids (quercetin, rutin), which contribute to the body's antioxidant defense.

Thus, the created salad dressing can be recommended as part of functional nutrition for daily consumption, especially for individuals seeking to maintain their health, support antioxidant balance, and avoid artificial additives in their diet.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів/ Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Усі процедури, пов'язані з сенсорним тестуванням, проводилися відповідно до етичних норм та були схвалені на засіданні кафедри харчових технологій хімічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол №1 від 27.08.25) / All procedures related to sensory testing were carried out in accordance with ethical standards and were approved at the meeting of the Department of Food Technologies, Faculty of Chemistry, Oles Honchar Dnipro National University (Protocol No. 1 dated August 27, 2025).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Усі учасники сенсорного тестування надали усну інформовану згоду на участь у дослідженні. Дані знеособлені та представлені в узагальненому вигляді без можливості ідентифікації особистості / All participants in the sensory evaluation provided verbal informed consent prior to participation. The data were anonymized and are presented in an aggregated form without the possibility of individual identification.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

Автори використовували інструменти генеративного штучного інтелекту (ChatGPT, OpenAI) лише для покращення мови та граматики статті. Науковий зміст, дизайн дослідження, інтерпретація даних та висновки були повністю розроблені авторами без

генерації змісту за допомогою ШІ. Після використання цього інструменту автори ретельно переглянули та відредагували вміст і несуть повну відповідальність за остаточну опубліковану версію/ The authors used generative AI-based tools (ChatGPT, OpenAI) to improve the language and grammar of the article. The scientific content, study design, data interpretation, and conclusions were entirely developed by the authors without the generation of content by AI. After using this tool, the authors carefully reviewed and edited the content and takes full responsibility for the final published version.

References

- Bacanli, M., Başaran, N., & Başaran, A. A. (2017). Lycopene: is it beneficial to human health as an antioxidant? *Turk J. Pharm Sci*, 14(3), 311-318. <https://doi.org/10.4274/tjps.43043>
- Benderska, O., Bessarab, A., Iegorov, B., Kashkano, M., & Shutyuk, V. (2021). Biological value of by-products of tomato processing. *Food Science and Technology*, 15(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v15i1.1972>
- Czipa, N., Phillips, C. J. C., & Kovács, B. (2019). Composition of acacia honeys following processing, storage and adulteration. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 1245-1255. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03587-y>
- Egorov, B. V., & Malaki, I. S. (2014). Effect of heat treatment on quality of feed additive using tomato pomace. *East European. Journal of Corporate Technologies*, 4(10(70)), 48-53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26229>
- Gasimova, A. A. (2024). Obtaining biologikally active additives from secondary raw material of the wine industry. *Chemistry of plant raw material*, 2, 385-393. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240213470>
- Giuffrè, A. M., Zappia, C., & Capocasale M. (2017). Tomato seed oil: a comparison of extraction systems and solvents on its biodiesel and edible properties. *La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 94(3), 149-160. https://www.researchgate.net/publication/319623801_Tomato_seed_oil_a_comparison_of_extraction_systems_and_solvents_on_its_biodiesel_and_edible_properties
- Imran, M., Ghorat, F., Ul-Haq, I., Ur-Rehman, H., Aslam, F., Heydari, M., Shariati, M. A., Okuskhanova, E., Yessimbekov, Z., Thiruvengadam, M., Hashempur, M. H., & Rebezov, M. (2020). Lycopene as a Natural Antioxidant Used to Prevent Human Health Disorders. *Antioxidants*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/antiox9080706>
- Jakubczyk, K., Drużga, A., Katarzyna, J., & Skonieczna-Żydecka, K. (2020). Antioxidant Potential of Curcumin—A Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Antioxidants*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/antiox9111092>
- Johnson, G.H., & Fritsche, K. (2012). Effect of dietary linoleic acid on markers of inflammation in healthy persons: a systematic review of randomized controlled trials. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112(7), 1029-1041. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.03.029>
- Kaloo, I., Habeeb, F., Akhter, N., Fayaz, I., Dar, B. N., & Makroo H. A. (2025). Tomato waste: chemistry, processing and utilization. In K. Muzaffar, S. A. Sofi, & S. A. Mir (Eds.), *Handbook of vegetable processing waste* (pp. 249-276). <https://doi.org/10.1201/9781003269328>
- Kartushina, Yu. N., Nefedieva, E. E., Sevriukova, G. A., Gracheva, N. V., & Zheltobryukhov, V. F. (2017). Technological desition of extraction of melanin from the waste of production of sunflower-seed oil. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 66. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/66/1/012014>

Kołodziejczyk, K., Markowski, J., Kosmala, M., Król, B., & Płocharski, W. (2007). Apple pomace as a potential source of nutraceutical products. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 57(4(B)), 291-295. <https://journal.pan.olsztyn.pl/pdf-98826-30829?filename=30829.pdf>

Kumar, M., Chandran, D., Tomar, M., Bhuyan, D. J., Grasso, S., Sá, A. G. A., Carciofi, B. A. M., Radha, Dhupal, S., Singh, S., Senapathy, M., Changan, S., Dey, A., Pandiselvam, R., Mahato, D. K., Amarowicz, R., Rajalingam, S., Vishvanathan, M., Saleena, L. A. K., & Mekhemar, M. (2022). Valorization potential of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seed: nutraceutical quality, food properties, safety aspects, and application as a health-promoting ingredient in foods. *Horticulturae*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030265>

Levkivska, T. M., Benderska, O. V., & Matko S. V. (2021). The pumpkin dry filler production technology for confectionery industry. *Herald of LUTE. Technical sciences*, 26, 39-45. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-26-05> (in Ukrainian).

Левківська Т.М., Бендерська О.В., Матко С.В. Технологія виробництва сухого наповнювача з гарбуза для кондитерської промисловості. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2021. №26. С. 39-45. DOI: 10.36477/2522-1221-2021-26-05

Lorente, J., Vegara, S., Martí, N., Ibarz, A., Coll, L., Hernández, J., Valero, M., & Saura, D. (2014). Chemical guide parameters for Spanish lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.) juices. *Food Chemistry*, 162, 186-191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.042>

Lopez-Huertas, E. (2010). Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks: A review of intervention studies. *Pharmacological Research*, 61(3), 200-207. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.10.007>

Maldonado-Torres, R., Morales-Camacho, J. I., López-Valdez, F., Huerta-González, L., & Luna-Suárez, S. (2020). Assessment of techno-functional and nutraceutical potential of tomato (*Solanum lycopersicum*) seed meal. *Molecules*, 25(18). <https://doi.org/10.3390/molecules25184235>

Mazzocchi, A., Leone, L., Agostoni, C., & Pali-Schöll, I. (2019). The secrets of the mediterranean diet. Does [only] olive oil matter? *Nutrients*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/nu11122941>

Meghwar, P., Ghufuran Saeed, S. M., Ullah, A., Nikolakakis, E., Panagopoulou, E., Tsoupras, A., Smaoui, S., & Khaneghah, A. (2024). Nutritional benefits of bioactive compounds from watermelon: A comprehensive review. *Food Bioscience*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104609>

Moghrovy, A., Sahakyan, N., Babayan, A., Chichoyan, N., Petrosyan, M., & Trchounian, A. (2019). Essential Oil and Ethanol Extract of Oregano (*Origanum vulgare* L.) from Armenian Flora as a Natural Source of Terpenes, Flavonoids and other Phytochemicals with Antiradical, Antioxidant, Metal Chelating, Tyrosinase Inhibitory and Antibacterial Activity. *Current Pharmaceutical Design*, 25 (16), 1809-1816. <https://doi.org/10.2174/1381612825666190702095612>

Nakov, G., Brandolini, A., Estivi, L., Bertuglia, K., Ivanova, N., Jukić, M., Komlenić, D. K., Lukinac, J., & Hidalgo, A. (2022). Effect of tomato pomace addition on chemical, technological, nutritional, and sensorial properties of cream crackers. *Antioxidants*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/antiox11112087>

Ni Li, Xiaoting Wu, Wen Zhuang, Lin Xia, Yi Chen, Chuncheng Wu, Zhiyong Rao, Liang Du, Rui Zhao, Mengshi Yi, Qianyi Wan, & Yong Zhou. (2020). Tomato and lycopene and multiple health outcomes: Umbrella review. *Food Chemistry*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128396>

- Pavlović, N. V., Zdravković, M., Mladenović, J., Štrbanović, R., & Zdravković, J. (2020). Analysis of fresh and processed carrots and beets from organic and conventional production for the content of nutrients and antioxidant activity. *Acta Agriculturae Serbica*, 25(50), 171-177. <https://doi.org/10.5937/AASer2050171P>
- Sales-Campos, H., Souza, P.R, Peghini, B.C, da Silva, J.S., & Cardoso, C.R. (2012). An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 13(2). <https://doi.org/10.2174/1389557511313020003>
- Shafe, M.O., Gumede, N. M., Nyakudya, T. T., & Chivandi, E. (2024). Lycopene: a potent antioxidant with multiple health benefits. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 1. <https://doi.org/10.1155/2024/6252426>
- Silva, A. N. A., Nunes, G. P., Aparecido de Paula Domingues, D. V., Alves De Toledo, P. T., Akinsomisoye, O. S., Florencio-Silva, R., & Cerri, P. S. (2025). Effects of lycopene supplementation on bone tissue: a systematic review of clinical and preclinical evidence. *Pharmaceuticals (Basel)*, 18(8). <https://doi.org/10.3390/ph18081172>
- Siqi Luo, Hongmei Hou, Yongjin Wang, Yun Li, Le Zhang, Zhang Hui, Qingzhe Jin, Gangcheng Wu, & Xingguo Wang (2024). Effects of omega-3, omega-6, and total dietary polyunsaturated fatty acid supplementation in patients with atherosclerotic cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis. *Food & Function*, 15(3), 1208-1222. <https://doi.org/10.1039/D3F002522E>
- Skoczylas, J., Jędrszczyk, E., Dziadek, K., Dacewicz, E., & Kopeć, A. (2023). Basic chemical composition, antioxidant activity and selected polyphenolic compounds profile in garlic leaves and bulbs collected at various stages of development. *Molecules*, 28(18). <https://doi.org/10.3390/molecules28186653>
- Svelander, C. A., Tibäck, E.A., Ahrné, L. M., Langton, M., Svanberg, U., & Alminger, M. (2010). Processing of tomato: impact on in vitro bioaccessibility of lycopene and textural properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(10), 1665-1672. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4000>
- Szabo, K., Dulf, F. V., Teleky, B.-E., Eleni, P., Boukouvalas, C., Krokida, M., Kapsalis, N., Rusu, A. V., Socol, C. T., & Vodnar, D. C. (2021). Evaluation of the bioactive compounds found in tomato seed oil and tomato peels influenced by industrial heat treatments. *Foods*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010110>
- Yuneri, D. R., & Syarifuddin, A. (2024). Cocoa bean shell by-products as potential ingredients for functional food and beverage – a review. *BIO Web of Conferences*, 96. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249601006>

Received: 09.10.2025. **Accepted:** 10.11.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Chernushenko E., Novik A., Khrychov S., Savchenko A. Functional potential of secondary tomato raw materials: development of an antioxidant dressing for healthy nutrition. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 193–206. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.18>

Cite this article in APA style as:

Chernushenko, E., Novik, A., Khrychov, S., & Savchenko, A. (2025). Functional potential of secondary tomato raw materials: development of an antioxidant dressing for healthy nutrition. *Biota. Human. Technology*, (3), 193–206. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.18>

Information about the authors:

Chernushenko E. [*in Ukrainian: Чернушенко О.*]¹, PhD (Chemistry), Assoc. Prof., email: Linechern@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6386-7646

Department of food technology, Oles Honchar Dnipro National University
72 Nauky Avenue, Dnipro, 49010, Ukraine

Novik A. [*in Ukrainian: Новік Г.*]², PhD (Technical Sciences), Assoc. Prof., email: anna.novik.82@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4045-4878 *ResearcherID*: G-8283-2019

Department of food technology, Oles Honchar Dnipro National University
72 Nauky Avenue, Dnipro, 49010, Ukraine

Khrychov S. [*in Ukrainian: Хричов С.*]³, Lecturer of Special Disciplines, email: ser.xpu4o8@gmail.com
ORCID: 0009-0007-4864-7769

Educational and Scientific Institute of Humanities and Social Sciences, Dnipro University of Technology
19 Dmytro Yavornytsky Ave., Dnipro, 49005, Ukraine

Department of food technology, Dnipro Technological and Economic Vocational College
33 Aviatsiyna St., Dnipro, 49017, Ukraine

Savchenko A. [*in Ukrainian: Савченко А.*]⁴, Assistant, email: savkalka3@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2649-8412 *ResearcherID*: ADT-972-2022

Department of food technology, Oles Honchar Dnipro National University
72 Nauky Avenue, Dnipro, 49010, Ukraine

¹ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

³ Data collection.

⁴ Statistical analysis, manuscript preparation.



Copyright (c) 2025 Bogdan Symonik, Yurii Polievoda

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Богдан Симонік, Юрій Полевода
ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У М'ЯСОПЕРЕРОБЦІ
НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ



Bogdan Symonik, Yurii Polievoda
OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES
IN MEAT PROCESSING BASED ON MATHEMATICAL MODELS

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Метою дослідження є розробка комплексних математичних моделей для формалізації та оптимізації виробничих процесів на м'ясопереробних підприємствах.

Методологія. Методологія базується на комплексному підході, що включає лінійне та нелінійне програмування для планування виробництва з використанням матричних форм, імітаційне моделювання потоків на основі дискретно-подійних систем та черг, теорію масового обслуговування для логістики з відповідними формулами та апроксимаціями, а також моделювання структурно-механічних властивостей м'ясних продуктів.

Наукова новизна. Наукова новизна дослідження полягає в інтеграції різноманітних математичних інструментів для моделювання специфічних процесів м'ясопереробки, що дозволяє не лише виявляти обмеження, але й пропонувати адаптивні стратегії оптимізації в умовах невизначеності. Запропонований підхід враховує нелінійні ефекти перевантаження обладнання та варіативність часу обслуговування, що раніше недостатньо висвітлювалося в літературі з харчової промисловості. Новизна також у практичному застосуванні теорії масового обслуговування для оцінки черг у холодильних камерах та конвеєрних лініях для балансування потоків і маршрутизації автоматичних транспортних систем, що забезпечує кращі результати порівняно з традиційними методами.

Висновки. Результати демонструють, що виробничі процеси м'ясопереробки є багаторівневою системою з ключовими етапами, такими як зберігання сировини, технологічна обробка та пакування, де вузькі місця включають обмежені потужності холодильного обладнання, низьку продуктивність механічної обробки та неефективну логістику. Математичні моделі формалізують ці процеси: лінійне програмування оптимізує ресурсне планування, імітаційне моделювання оцінює черги, теорія масового обслуговування надає кількісні характеристики для формування логістичних процесів. Практичні приклади показують скорочення часу очікування та балансування потоків до високого рівня пропускної здатності, що сприяє підвищенню ефективності виробництва.

Ключові слова: м'ясопереробка, моделювання, теорія масового обслуговування, структурно-механічні властивості

ABSTRACT

Purpose of the work. The aim of the study is to develop comprehensive mathematical models for the formalization and optimization of production processes in meat processing enterprises.

Methodology. The methodology is based on an integrated approach that includes linear and nonlinear programming for production planning using matrix forms, simulation modeling of material and product flows based on discrete-event systems and queuing models, the theory of mass service for logistics with corresponding analytical formulas and approximations, as well as modeling of structural-mechanical properties of meat products.

Scientific novelty. The scientific novelty of the research lies in the integration of diverse mathematical tools for modeling specific meat-processing operations, which makes it possible not only to identify production constraints but also to propose adaptive optimization strategies under uncertainty. The proposed framework takes into account nonlinear effects of equipment overload and variability of service time, which have been insufficiently studied in food industry research. The novelty also lies in the practical implementation of queuing theory for evaluating congestion in cold storage systems and conveyor lines, as well as the application of routing and flow-balancing algorithms for automated transport systems, which demonstrate higher performance compared to conventional methods.

Conclusions. The results show that production processes in the meat-processing industry constitute a multilevel system with key stages such as raw material storage, technological processing, and packaging, where bottlenecks include limited refrigeration capacity, low mechanical processing productivity, and inefficient internal logistics. Mathematical models formalize these processes: linear programming optimizes resource allocation, simulation modeling assesses queues, and queuing theory provides quantitative parameters for logistics system design. Practical examples demonstrate reductions in waiting time and improved flow balance, which enhance throughput and overall production efficiency.

Keywords: meat processing, modeling, queuing theory, structural–mechanical properties

Вступ

М'ясопереробні підприємства функціонують в умовах жорсткої конкуренції, зростання вимог до якості продукції та підвищених стандартів безпечності харчових продуктів, що формує системну необхідність постійного вдосконалення виробничих процесів, та забезпечення ефективності технологічних операцій Avanesova et al. (2021).

Водночас сучасні умови функціонування м'ясопереробних підприємств визначаються комплексом викликів, пов'язаних із зростанням цін на енергоресурси, нестабільністю сировинних ринків, посиленням регуляторних вимог до безпечності харчових продуктів та необхідністю адаптації до воєнних ризиків, що об'єктивно загострюють проблему раціонального використання ресурсів і підвищення ефективності технологічних процесів. У таких умовах математичне моделювання виробничих систем стає ключовим інструментом підтримки управлінських рішень щодо їх довгострокової стійкості.

Актуальність дослідження зумовлюється тим, що м'ясопереробна галузь є однією з найбільш енергоємних і трудомістких у харчовій промисловості, де значні витрати пов'язані зі зберіганням, транспортуванням, механічною та тепловою обробкою сировини, а також з пакуванням готової продукції, що потребує точного аналізу й систематизації факторів, які впливають на ефективність виробництва. Використання математичного моделювання уможливорює виявлення «вузьких місць» технологічного ланцюга, обґрунтування оптимальних режимів роботи обладнання та розробку сценаріїв енергозбереження, що робить дослідження особливо значущим як з наукової, так і з практичної точки зору.

Аналіз наукових публікацій свідчить про зростаючу увагу до проблем оптимізації виробничих процесів у м'ясопереробній галузі, що відображається як у вітчизняних, так і в міжнародних дослідженнях. Зокрема,

Lespukh & Ivasiv (2024) застосували методи бенчмаркінгу для оцінки передових технологій харчової промисловості, показавши їх потенціал у підвищенні ефективності, однак залишили поза увагою питання математичного моделювання інтегрованих систем управління. Bal-Prylypko et al. (2022) дослідили тенденції розвитку м'ясопереробної промисловості України й запропонували оптимізацію рецептури ковбасних виробів, проте обмежилися прикладними аспектами без глибокої формалізації процесів.

Дослідники Arteaga-Cabrera et al. (2025) та Smorochynskyi et al. (2018) детально описали технологію виробництва напівфабрикатів, але не розглянули варіативність параметрів виробничих ліній, що потребує моделювання для прогнозування відмов обладнання. Так вже Sebko et al. (2024) запропонували трипараметровий метод контролю деталей, довівши його ефективність, хоча питання інтеграції цього підходу у великі виробничі системи залишаються відкритими. Вчені Sychov & Sychova (2023) зосередилися на моделюванні міцності обладнання, однак не врахували взаємозалежності між надійністю машин та загальною продуктивністю лінії.

У міжнародному контексті, Gilligan et al. (2023) показали ефективність Six Sigma у підвищенні виходу продукції на ірландському підприємстві, але метод потребує адаптації для умов із високою варіативністю сировини. Hernández-Murillo & Galán-Méndez (2024) наголосили на важливості якості та безпеки харчових продуктів, однак мало торкнулися інструментів математичної оптимізації. А також ще Kang Kang et al. (2024) оцінили значення досліджень у сфері культивованого м'яса, але залишили невирішеними питання масштабування технологій. Sun et al. (2025) розглянули інноваційні технології індустріалізації м'яса, хоча відсутня кількісна оцінка їх ефективності. Нарешті, Hernández-Murillo & Galán-Méndez (2024) та Vlk et al. (2025) застосували

оптимізаційні моделі для поєднання закупівлі та виробництва, проте їхній підхід потребує адаптації до специфіки українських підприємств. Таким чином, огляд підтверджує високий рівень напруженості, але виявляє недостатню увагу до комплексних математичних моделей, що інтегрують якість, безпеку, надійність і ефективність у єдину систему оптимізації.

Матеріали та методи дослідження

Розробити комплекс математичних моделей, які формалізують і оптимізують виробничі процеси м'ясопереробних підприємств, з урахуванням багаторівневої структури технологічних операцій.

Результати дослідження та обговорення

Методологія включає комплексний підхід: лінійне та нелінійне програмування для планування виробництва з використанням матричних форм:

$$\max c^T x \text{ при } Ax \leq b \quad (1)$$

де:

– x – вектор змінних (обсяги виробництва).

– c – вектор коефіцієнтів цільової функції (економічний ефект/прибуток).

– $c^T x$ – цільова функція (загальний результат, що максимізується).

– Ax – фактичні витрати ресурсів при виробничому плані x .

– b – вектор доступних ресурсів (обмеження системи).

Використано імітаційне моделювання потоків на основі дискретно-подійних систем та черг M/M/1 і M/M/c з параметрами λ (інтенсивність надходження) та μ – швидкість обробки одного елемента потоку, тобто інтенсивність обслуговування; теорію масового обслуговування (ТМО) для логістики з формулами Поллака-Хінчина та апроксимаціями Аллена-Куна; моделювання реологічних властивостей, що описують співвідношення між напруженням $\sigma(t)$ та деформацією $\varepsilon(t)$. Аналіз «вузьких місць» виробничих процесів здійснювався шляхом сценарного моделювання з варіюванням параметрів для оцінки ефективності.

Результати дослідження та обговорення

Особливості виробничих процесів в м'ясопереробці

Виробничі процеси м'ясопереробних підприємств визначаються як складна багаторівнева система, яка включає взаємопов'язані етапи від прийому та зберігання сировини до обробки та пакування готової продукції, при цьому кожний з етапів має власну специфіку і водночас безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту.

Першим етапом є зберігання сировини, яке передбачає забезпечення суворого дотримання температурних режимів, вологості, санітарних вимог і логістичних параметрів, оскільки м'ясна сировина є біологічно нестабільним матеріалом з високим ризиком швидкого псування, що потребує використання холодильних камер, автоматизованих систем моніторингу стану продукту та впровадження інформаційних технологій для обліку і контролю товарних запасів (Dissanayake et al., 2024).

Наступним етапом є технологічна обробка, яка охоплює первинну обробку (розділення туш, жилювання, видалення непридатних частин), вторинну обробку (подрібнення, соління, маринування, теплову обробку) та спеціалізовані процеси (копчення, сушіння, ферментацію), що потребує сучасного технологічного обладнання, яке забезпечує стандартизацію процесів, стабільність якості та мінімізацію втрат сировини (рис. 1).

Доцільно провести дослідження виробничих процесів є виявлення так званих «вузьких місць», тобто ділянок виробничого циклу, які обмежують загальну продуктивність підприємства, спричиняють накопичення запасів незавершеного виробництва, зростання витрат чи втрати якості продукції. До таких проблемних ділянок у м'ясопереробній промисловості маємо віднести обмежені потужності холодильного обладнання, яке не завжди здатне забезпечити одночасне зберігання великих обсягів сировини та готової продукції, особливо в пікові сезони, що призводить до необхідності додаткових витрат на оренду зовнішніх холодильних площ чи передчасну реалізацію продукції за зниженими цінами (Makedon et al., 2025; Vasilev et al., 2019).



Рис. 1. Технологічна схема виробничого процесу м'ясопереробного підприємства із зазначенням основного обладнання (розроблено, побудовано авторами)

Іншим поширеним «вузьким місцем» є механічна та теплова обробка м'яса, де наявність застарілого обладнання або його низька продуктивність не дозволяють досягти необхідного рівня автоматизації та точності технологічних операцій, що, у свою чергу, збільшує частку ручної праці, підвищує ризик виробничих дефектів і знижує загальну швидкість виконання операцій (Sukhenko et al., 2017).

Також до обмежувальних факторів належать логістичні процеси усередині підприємства, де недостатня оптимізація внутрішніх транспортних потоків, нераціональне планування розташування обладнання чи відсутність інтегрованих систем управління стають причиною зайвих переміщень сировини та готової продукції, зростання витрат часу і, як наслідок, до зниження ефективності виробничого циклу (Makedon, 2010).

Математичні моделі для оптимізації процесів

1. Використання лінійного та нелінійного програмування для планування виробництва

Виробниче планування на м'ясопереробному підприємстві доречно формалізувати через впровадження лінійного програмування, де невідомими є обсяги продукції, що повинні пройти певні стадії технологічного ланцюга, а обмеженнями виступають ресурсні та технічні умови, які відображають як обмеження на обсяг сировини, так і часові межі роботи обладнання (Irlik, 2025). Загальну постановку задачі у матричній формі сформуємо наступним чином:

$$\max f(x) = c^T x \text{ за умов } Ax \leq b, x \geq 0, x \in R^n \quad (2)$$

де:

– $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – вектор обсягів продукції (наприклад, x_1 – ковбаса варена, x_2 – фарш, x_3 – консерви);

A – матриця технологічних коефіцієнтів, що описує споживання ресурсів;

b – вектор доступних ресурсів;

c – вектор вагових коефіцієнтів, що відображають рівень використання обладнання чи технологічну складність.

Виходимо з гіпотези, що ключові виробничі ресурси розподіляються пропорційно до технологічної трудомісткості продуктів. За такого припущення матриця ресурсних обмежень для трьох основних

продуктів може бути подана у вигляді (3). Нехай для трьох основних продуктів матриця ресурсних обмежень має вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,7 & 0,9 \\ 12 & 7 & 15 \\ 2 & 3 & 4 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 60 \\ 800 \\ 150 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Перше рівняння означає, що для виробництва одиниці x_1, x_2, x_3 потрібні відповідно 0,5, 0,7, 0,9 т сировини; друге рівняння описує машино-години, третє – місткість камер охолодження.

У випадках, коли залежності не є лінійними (наприклад, зростання енергоспоживання при перевантаженні обладнання чи нелінійні втрати сировини при надмірному завантаженні лінії), модель набуватиме іншого вигляду нелінійного програмування:

$$\max_{x \in R^n} f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n \beta_i \sqrt{x_i} \quad (4)$$

за умов:

$$g_i(x) = \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} x_i^{j,j} \leq \beta_j, j = 1, \dots, m, \quad (5)$$

де:

– $j \neq 1$ – вводить нелінійність у залежності;

α_i – моделює додаткове зростання часу при підвищенні обсягу;

β_j – описує ефект втрат при малій продуктивності.

Практичний приклад. Нехай час роботи обладнання нелінійно залежить від обсягів продукції:

$$T(x_1, x_2) = 8x_1 + 4x_2 + 0,02x_1^2 + 0,01x_2^2, \quad (6)$$

і обмеженням є $T(x_1, x_2) \leq 400$. Якщо для перевірки взяти $x_1 = 20, x_2 = 30$, то тоді:

$$T(20, 30) = 8 \cdot 20 + 4 \cdot 30 + 0,02 \cdot 20^2 + 0,01 \cdot 30^2 = 160 + 120 + 8 + 9 = 297 \leq 400,$$

тобто план допустимий. Якщо ж $x_1 = 40, x_2 = 40$, тоді отримаємо:

$$T(40, 40) = 320 + 160 + 32 + 16 = 528 > 400,$$

що свідчить про недопустимість перевантаження. Таким чином, констатуємо, що

нелінійні моделі здатні спланувати роботу обладнання і визначати граничні межі його функціональних складових.

2. Імітаційне моделювання потоків сировини та продукції

Оскільки м'ясопереробні підприємства характеризуються складними потоками матеріалів, що включають доставку сировини, її поділ на партії, проходження кількох технологічних стадій (забій, жилювання, термічна обробка, пакування) та складування готової продукції, важливою задачею є застосування імітаційного моделювання, яке дозволяє відтворювати роботу системи у вигляді часових процесів і аналізувати ефективність функціонування виробничого ланцюга (Suychinov et al., 2024).

Класична постановка базується на дискретному форматі моделювання, де стан системи змінюється у моменти надходження нової партії чи завершення операції. Формально, нехай надходження сировини доцільно описати за допомогою пуассонівського потоку з інтенсивністю λ , а час обробки партії на певній ділянці це випадкова величина з експоненційним розподілом з параметром μ . Тоді система з одним каналом обслуговування може бути описана як: $M/M/1$ черга, для якої середня довжина черги L_q і середній час очікування W_q визначаються:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (7)$$

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho}, \quad (8)$$

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}. \quad (9)$$

Приклад практичного використання. Якщо надходження туш худоби відбувається з інтенсивністю $\lambda=10$ партій/год., а середня швидкість обробки однієї партії на лінії $\mu=12$ партій/год, тоді:

$$\rho = \frac{10}{12} = 0,833,$$

$$L_q = \frac{0,833^2}{1 - 0,833} = 4,18,$$

$$W_q = \frac{0,833}{12 \times 0,167} = 0,416 \text{ год.}$$

Це означає, що в середньому у черзі знаходитиметься близько 4 партій, а середній час очікування перед обробкою становитиме близько 25 хвилин.

Для більш складних систем, що включають кілька ліній і паралельні канали, використовується модель $M/M/c$, де c – кількість каналів. Ймовірність того, що всі канали зайняті, визначимо за допомогою формули Ерланга (Kumar et al., 2021):

$$P = \frac{\left(\frac{\lambda / \mu}{c!}\right)^c}{\sum_{k=0}^{c-1} \left(\frac{\lambda / k}{k!}\right)^k + \left(\frac{\lambda / \mu}{c!(1 - \rho / c)}\right)^c} \quad (10)$$

Припустимо, на етапі пакування діють три паралельні машини ($c=3$), інтенсивність надходження партій $\lambda=20$, а середня швидкість пакування однієї машини $\mu=8$. Тоді навантаження буде визначено як:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} = \frac{20}{3 \times 8} = 0.833,$$

а ймовірність зайнятості всіх трьох машин можна визначити підстановкою у наведену формулу. Подібний формат розрахунків створює умови для оцінювання того виробничого завдання, чи потрібно додатково вводити четвертий канал або збільшувати швидкість пакування.

3. Застосування теорії масового обслуговування для оптимізації логістичних процесів

Теорія масового обслуговування (ТМО) розвинулася як універсальний інструмент дослідження стохастичних процесів у системах, де існують потоки заявок і обмежені ресурси для їхнього обслуговування, і в логістичних процесах виробництва її застосування дозволяє описати такі ситуації, як черги сировини перед змішувачами, накопичення готових виробів перед пакувальними апаратами або формування черг транспортних засобів перед вантажно-розвантажувальними пунктами, що потребує не лише якісної інтерпретації, але й точного математичного опису (Aziz et al., 2019). У загаль-

ному вигляді система $M/G/1$ (пуассонівський потік, довільний закон розподілу часу обслуговування, один канал) описується співвідношенням Поллака-Хінчина для середньої кількості заявок у черзі:

$$L_q = \frac{\lambda^2 \times \sigma_s^2 + \rho^2}{2(1-\rho)}, \quad (11)$$

де:

- λ – інтенсивність вхідного потоку;
- σ_s^2 – дисперсія часу обслуговування;
- $\rho = \lambda E[S]$ – коефіцієнт завантаження.

Задане співвідношення демонструє, що навіть за тієї ж самої середньої швидкості обслуговування варіативність часу виконання операцій значно впливає на середню довжину черги, і отже, на логістичну стабільність.

У більш складних системах $M/G/c$ слід використовувати апроксимацію Аллена-Куна для середнього часу очікування в черзі:

$$W_q \approx \frac{c_s^2 + 1}{2} \times \frac{P}{c\mu - \lambda}, \quad (12)$$

де:

- c_s^2 – коефіцієнт варіації часу обслуговування, а P визначається через розширену формулу Ерланга.

Практичний приклад: логістика холодильних камер

Нехай маємо три холодильні камери ($c=3$) для охолодження напівфабрикатів, що надходять із загальною інтенсивністю $\lambda=15$ партій/год., середній час охолодження $E[S]=0,15$ год., дисперсія $\sigma_s^2=0,01$. Тоді швидкість обслуговування однією камерою:

$$\mu \frac{1}{E[S]} = \frac{1}{0,15} \approx 6,67.$$

Завантаження системи:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} = \frac{15}{3 \times 6,67} \approx 0,75.$$

Коефіцієнт варіації:

$$c_s^2 = \frac{0,01}{0,15^2} \approx 0,444.$$

Далі, обчислюємо ймовірність зайнятості всіх каналів P . Для цього спершу знаходимо інтенсивність трафіку:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{15}{6,67} \approx 2,25.$$

Обчислимо суму:

$$S = \sum_{k=0}^{c-1} \frac{a^k}{k!} = 5,7813.$$

Компонент із найвищим ступенем:

$$\frac{a^k}{k!} = \frac{11,3906}{6} = 1,8984.$$

Множник:

$$\frac{c}{c-a} = \frac{3}{3-2,25} = 4.$$

Отже, чисельник набуватиме вигляду:

$$N = 1,8984 \times 4 = 7,5936,$$

$$D = S + N = 5,7813 + 7,5936 = 13,3749.$$

Ймовірність зайнятості всіх камер буде наступна:

$$P = \frac{7,5936}{13,3749} \approx 0,568.$$

Середній час очікування в черзі складе:

$$W_q \approx 0,722 \times \frac{0,568}{5,01} \approx 0,082 \text{ год } (\approx 4,9 \text{ хв}).$$

Таким чином, моделювання на засадах інструмента ТМО надає можливості отримувати чисельні характеристики черг перед холодильними камерами, що є критичним для планування внутрішніх потоків у виробництві.

Ключовим елементом є формалізація критеріїв оптимізації, які відображають реальні потреби м'ясопереробного підприємства та забезпечують об'єктивну оцінку ефективності виробничих рішень. Основними критеріями виступають: максимізація прибутку як інтегрального показника економічного результату; мінімізація сукупних виробничих витрат, що включають енергоспоживання, сировину та трудові ресурси; скорочення тривалості виробничого циклу, що визначає оперативність технологічних процесів; а також підвищення рівня сервісу, який характеризується стабільністю виконання замовлень і скороченням часу очікування в системі.

4. Моделювання структурно-механічних властивостей м'ясних продуктів

Структурно-механічні властивості м'ясних продуктів становлять інтегральний результат взаємодії фізико-хімічних, біомеханічних і технологічних процесів, які відбуваються у багатофазній білково-жировій системі в ході її обробки. У межах математичного підходу до оптимізації виробничих процесів м'ясопереробки вони розглядаються як змінні стану, що описують реакцію матеріалу на дію зовнішніх силових полів: стискання, зсуву, розтягнення або термічних

навантажень. В основі формування цих властивостей лежить мікроструктура м'язової тканини, що складається із саркомерів, актоміозинових комплексів, сполучнотканинних структур та колагенових волокон, які в сукупності визначають пружність, деформованість і релаксаційну здатність продукту.

Для відтворення цієї поведінки у математичній формі використовуються реологічні моделі, що описують співвідношення між напруженням $\sigma(t)$ та деформацією $\varepsilon(t)$. Найпростішою моделлю є узагальнене рівняння Кельвіна–Фойгта (рис. 2).

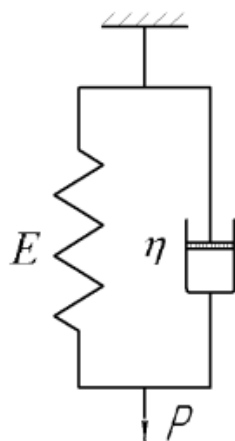


Рис. 2. Узагальнена реологічна схема Кельвіна–Фойгта для моделювання текстурних властивостей м'ясних систем

Математичний вираз моделі наступний:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) + \eta \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (13)$$

де:

$\sigma(t)$ – напруження у м'ясному продукті в момент часу t ;

$\varepsilon(t)$ – відносна деформація продукту в момент часу t ;

t – час дії навантаження;

E – модуль пружності;

η – коефіцієнт внутрішнього тертя, що визначає в'язкопружну реакцію продукту.

Сама модель описує короткочасні пружні процеси під час стискання ковбасного батону або формування фаршу.

Для процесів тривалої дії використовується модель Максвелла, яка відтворює явища релаксації напружень і втрат структури при зберіганні:

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} \frac{1}{E} \frac{d\sigma(t)}{dt} + \frac{\sigma(t)}{\eta} \quad (14)$$

де:

$\sigma(t)$ – напруження у продукті в момент часу t

$\varepsilon(t)$ – відносна деформація;

t – час спостереження;

E – ефективний модуль пружності в моделі Максвелла;

η – коефіцієнт в'язкості (в'язкий параметр), що характеризує швидкість релаксації напружень.

Наведене рівняння демонструє, що при постійному навантаженні деформація збільшується з часом, що є характерним для варених і емульгованих м'ясних продуктів (Shcherban et al., 2023).

Для більш складних систем, де структура змінюється під впливом температури, вологості чи ензимної активності, застосовують нелінійне рівняння стану м'ясної системи, яке інтегрує механічну та термічну компоненти:

$$\sigma(t) = E_0(1 + \alpha T(t))\varepsilon(t) + \eta_0(1 + \beta w(t)) \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (15)$$

де:

$\sigma(t)$ – напруження в м'ясній системі в момент часу t ;

$\varepsilon(t)$ – деформація (загальна або відносна вага, як прийнято в роботі);

$T(t)$ – температура продукту;

$w(t)$ – вологість продукту;

α, β – коефіцієнти, що визначають чутливість матеріалу до теплових і гідродинамічних (масообмінних) факторів;

t – час перебігу процесу.

Такі рівняння дозволяють формалізувати механічну поведінку м'ясних систем на різних етапах виробництва – від подрібнення й перемішування до термообробки й охолодження. З їх допомогою можна моделювати втрати маси, прогнозувати текстуру, визначати оптимальний час пресування або температуру коагуляції білків.

На практиці побудова моделей деформаційного стану продукту під час нагріву чи охолодження забезпечує мінімізацію енергетичних витрат і запобігає структурній дестабілізації фаршу.

У проведеному дослідженні проблемою, що потребує вирішення, виступає недостатня узгодженість між виробничими ресурсами та фактичними технологічними навантаженнями, що призводить до утворення «вузьких місць» і втрати ефективності м'ясопереробних процесів. Запропонований шлях вирішення полягає у розробці математичних моделей оптимізації та реологічного моделювання, які дозволяють комплексно оцінити поведінку сировини та обладнання за різних режимів роботи. Отримані результати є оригінальними, оскільки вперше для цього типу підприємств поєднано лінійно-

програмні алгоритми, моделі черг та нелінійні рівняння стану.

Висновки

Дослідження засвідчило, що технологічні процеси на м'ясопереробних підприємствах характеризуються багатоступінчатою організацією, де кожна операція – від збереження вихідної сировини до упакування фінальної продукції має вирішальне значення для гарантування якості та безпечності готових виробів. Використання математичних моделей дало змогу виявити принципи функціонування взаємопов'язаних технологічних елементів, ідентифікувати основні обмеження та взаємозалежності, що створюють проблемні зони виробництва, а також довело доцільність впровадження формалізованих підходів у галузі управління харчовим виробництвом.

Результати математичного моделювання продемонстрували, що застосування методів лінійної та нелінійної оптимізації разом із симуляційними технологіями створює можливості для структурованого планування та ефективного управління ресурсами в процесах м'ясопереробки, гарантуючи знаходження оптимальних рішень в умовах суворих технологічних та економічних обмежень. Лінійні алгоритми успішно описують прямо пропорційні зв'язки між споживанням матеріалів, енергетичними витратами та обсягами продукції, у той час як нелінійні моделі враховують явища перевантаження устаткування та нелінійний характер технологічних втрат. Такий підхід створює фундамент для розробки інформаційних систем підтримки управлінських рішень, адаптованих до специфіки реального виробництва.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до автора / Dataset available on request from the author.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Інформована згода не вимагалася, оскільки дослідження не передбачало залучення людей як учасників, не включало персональних даних, не проводило інтерв'ю, опитувань чи

експериментів, а також не використовувало інформацію, що дозволяє ідентифікувати особу. Усі використані матеріали не підпадають під вимоги отримання інформованої згоди відповідно до етичних стандартів / Informed consent was not required because the study did not involve human participants, did not include personal data, did not conduct interviews, surveys or experiments, and did not use personally identifiable information. All materials used are exempt from the requirement for informed consent in accordance with ethical standards.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Arteaga-Cabrera, E., Ramírez-Márquez, C., Sánchez-Ramírez, E., Segovia-Hernández, J. G., Osorio-Mora, O., & Gómez-Salazar, J. A. (2025). Advancing Optimization Strategies in the Food Industry: From Traditional Approaches to Multi-Objective and Technology-Integrated Solutions. *Applied Sciences*, 15(7), 3846. <https://doi.org/10.3390/app15073846>.
- Avanesova, N., Tahajuddin, S., Hetman, O., Serhiienko, Y., & Makedon, V. (2021). Strategic management in the system model of the corporate enterprise organizational development. *Economics and Finance*, 1(9), 18–30. <https://doi.org/10.51586/2311-3413.2021.9.1.18.30>.
- Aziz, M. M. A., Rahman, A. M. A., & Sapuan, S. M. (Eds.). (2019). *Production Planning, Modeling and Control of Food Industry Processes*. Springer. URL: <https://www.springer.com/gp/book/9783030013723>.
- Bal-Prylypko, L., Nikolaenko, M., Cherednichenko, O., & Stepasyuk, L. (2022). Trends in the development of the meat processing industry of Ukraine and practical approaches to optimizing sausage product recipes. *Food Resources*, 29(5), 10–19. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202205010>.
- Dissanayake, K., Rifky, M., Nurmukhamedov, K., Makhmayorov, J., Abdullayev, B., & Murodjon, S. (2024). A comparative analysis of traditional meat processing methods. *E3S Web of Conferences*, 494, Article 04023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449404023>.
- Irlik, Y. A. (2025). Mathematical modeling of transient processes in a living control system of a distillation apparatus. *Refrigeration Engineering and Technology*, 61(1), 45–54. <https://doi.org/10.15673/ret.v61i1.3112> (in Ukrainian)
- Ірлик Ю. А. Математичне моделювання перехідних процесів живучої системи керування ректифікаційною установкою. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2025. Т. 61, № 1. С. 45–54. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i1.3112>.
- Gilligan, R., Moran, R., & McDermott, O. (2023). Six Sigma application in an Irish meat processing plant to improve process yields. *The TQM Journal*, 35(9), 210–230. <https://doi.org/10.1108/TQM-02-2023-0040>.
- Hernández-Murillo, L. K., & Galán-Méndez, F. (2024). Meat Processing: A Focus on Quality, Food Safety, and Sustainable Development. *Journal of Bio Innovation*, 13(6), 911–932. <https://doi.org/10.46344/JBINO.2024.v13i06.02>.

Kang, K.-M., Lee, D. B., & Kim, H.-Y. (2024). Industrial research and development on the production process and quality of cultured meat hold significant value: a review. *Food Science of Animal Resources*, 44(3), 499–514. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e20>.

Kumar, M., Vatsa, S., Madhumita, M., & Prabhakar, P. K. (2021). Mathematical Modeling of Food Processing Operations: A Basic Understanding and Overview. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(2), 472–492. <https://doi.org/10.46592/turkager.2021.v02i02.019>.

Lespukh, Y. V., & Ivasiv, V. V. (2024). Benchmarking of advanced technologies for food industry production. *Food Resources*, 12(23), 279–289. <https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-30> (in Ukrainian).

Леспух Ю. В., Івасів В. В. Бенчмаркінг передових технологій виробництва продукції харчової промисловості. Продовольчі ресурси. 2024. № 12(23). С. 279-289. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-30>.

Makedon, V. V. (2010). *International strategic alliances of companies: a monograph*. DUEP (in Ukrainian)

Македон В.В. Міжнародні стратегічні альянси компаній: монографія. ISBN 978-966-434-089-9. Дніпропетровськ: ДУЕП, 2010. 304 с.

Makedon, V., Myachin, V., Alosyna, T., Cherniavska, I., & Karavan, N. (2025). Improving the readiness of enterprises to develop sustainable innovation strategies through fuzzy logic models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania)*, 34(5), 165–179. https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025_05/2025_05_09.pdf.

Sebko, V., Zdorenko, V., Zashchepkina, N., & Barylko, S. (2024). Triparametric method for control of equipment parts in processing and food production. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, (4), 355–361. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-43> (in Ukrainian)

Сєбко В., Здоренко В., Защепкіна Н., Барилко С. Трипараметровий метод контролю деталей обладнання переробних і харчових виробництв. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2024. № 4. С. 355-361. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-43>.

Shcherban, V. Yu., Kolysko, O. Z., Shcherban, Y. Y., Melnyk, H. V., Kolysko, M. I., & Kyrychenko, A. M. (2023). *Mathematical modeling of systems and technological processes*. Fastbind Ukraine (in Ukrainian)

Щербань В.Ю. Математичне моделювання систем і технологічних процесів / В.Ю. Щербань, О.З. Колиско, Ю.Ю. Щербань, Г.В. Мельник, М.І. Колиско, А.М. Кириченко. К.: ТОВ "Фастбінд Україна", 2023. 938 с.

Smorochynskyi, O. M., Petrova, O. V., Strikha, L. O., & Vashchenko, O. I. (2018). Technology of production of meat semi-finished products on a specialized line. *Tavriiskyi Scientific Bulletin*, 100(2), 188–195. https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/100_2018/part_2/29.pdf (in Ukrainian)

Сморочинський О. М., Петрова О. В., Стріха Л. О., Ващенко О. І. Технологія виробництва м'ясних напівфабрикатів на спеціалізованій лінії. Таврійський науковий вісник. 2018. № 100 (Т. 2). С. 188–195. URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/100_2018/part_2/29.pdf

Sukhenko, V. Y., Sukhenko, Y. G., Sarana, V. V., & Mushtruk, M. M. (Eds.). (2017). *Modeling of technological processes and equipment of agro-industrial processing enterprises: Monograph*. CP "KOMPRINT". (in Ukrainian)

Моделювання технологічних процесів і обладнання переробних підприємств АПК: Монографія / В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко, В.В. Сарана, М.М. Муштрук / за ред. д.т.н. Сухенка В.Ю. К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2017. 520 с.

Sun, Q., Yuan, Y., Xu, B., Gao, S., Zhai, X., Xu, F., & Shi, J. (2025). Innovative Technologies Reshaping Meat Industrialization: Challenges and Opportunities in the Intelligent Era. *Foods*, 14(13), 2230. <https://doi.org/10.3390/foods14132230>

Suychinov, A., Akimova, D., Kakimov, A., Zharykbassov, Y., Baikadamova, A., Okuskhanova, E., Bakiyeva, A., & Ibragimov, N. (2024). Revolutionizing meat processing: a nexus of technological

advancements, sustainability, and cultured meat evolution. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 331–346. <https://doi.org/10.5219/1957>

Sychov, A. I., & Sychova, T. O. (2023). Mathematical modeling of equipment strength in processing and food production. *Technical Progress in Agro-Industrial Complex: Materials of All-Ukrainian Scientific-Practical Conference*, May 9-10, 2023, Kharkiv: DBTU, p. 248. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/38139> (in Ukrainian)

Сичов А. І., Сичова Т. О. Математичне моделювання міцності обладнання переробних і харчових виробництв. Технічний прогрес в АПВ: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 9-10 травня 2023 р. Харків: ДБТУ, 2023. С. 248. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/38139>

Vasilev, D., Stajkovic, S., Karabasil, N., Dimitrijevic, M., & Teodorovic, V. (2019). Perspectives in meat processing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 333, 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012024>

Vlk, M., Šucha, P., Rudy, J., & Idzikowski, R. (2025). Purchase and production optimization in a meat processing plant. *International Transactions in Operational Research*, 33(2), 1016-1051. <https://doi.org/10.1111/itor.70081>

Received: 23.10.2025. Accepted: 21.11.2025 Published: 16.12.2025

Ви можете цитувати цю статтю так:

Симонік Б., Полевода Ю. Оптимізація виробничих процесів у м'ясопереробці на основі математичних моделей. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 207–218. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.19>

Cite this article in APA style as:

Symonik, B., & Polievoda, Y. (2025). Optymizatsiya vyrobnychkykh protsesiv u m'yasopererobtsi na osnovi matematychnykh modelei [Optimization of production processes in meat processing based on mathematical models]. *Biota. Human. Technology*, (3), 207–218. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.19> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Symonik B. [*in Ukrainian: Симонік Б.*]¹, PhD Student, e-mail: symonikbohdan@ukr.net

ORCID: 0009-0004-4864-9711

Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies, Vinnytsia National Agrarian University
3 Sonyachna Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine

Polievoda Y. [*in Ukrainian: Полевода Ю.*]², PhD (Technical Sciences), Assoc. Prof., e-mail: vinyura36@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2485-0611

Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies, Vinnytsia National Agrarian University
3 Sonyachna Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine

¹ Study design, data collection.

² Statistical analysis, manuscript preparation.



CHEMICAL TECHNOLOGIES

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ





Copyright (c) 2025 Serhii Levchenko, Antonina Kustovska, Vitalii Chumak, Olena Matvyeyeva, Ihor Trofimov, Yevhenii Hetmanskyi
Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**Сергій Левченко, Антоніна Кустовська, Віталій Чумак, Олена Матвєєва,
Ігор Трофімов, Євгеній Гетманський**

СИНТЕЗ ТА ОЧИЩЕННЯ ПОЛІМІКСИН В СУЛЬФАТУ: ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ



**Serhii Levchenko, Antonina Kustovska, Vitalii Chumak, Olena Matvyeyeva,
Ihor Trofimov, Yevhenii Hetmanskyi**

SYNTHESIS AND PURIFICATION OF POLYMYXIN B SULFATE: TECHNOLOGICAL ASPECTS AND MODERN APPROACHES

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Метою дослідження є узагальнення сучасних підходів до синтезу та очищення поліміксину В сульфату з урахуванням біотехнологічних, хроматографічних і мембранних методів, а також визначення оптимальних технологічних рішень для підвищення виходу, ізомерної чистоти та фармацевтичної стабільності препарату. Особливу увагу приділено аналізу процесів нерибосомального біосинтезу, параметрів ферментації та багатоетапній системі очищення поліміксину.

Методологія. У роботі використано методи аналізу, синтезу та систематизації наукових джерел, що описують промислові процеси виробництва поліпептидних антибіотиків. Опрацьовано патентні та нормативні матеріали щодо біосинтезу, очищення й контролю якості поліміксину В. Проведено порівняння адсорбційних, іоннообмінних, гель-фільтраційних і високоефективних рідинно-хроматографічних технологій очищення, а також проаналізовано можливості інтеграції мембранних процесів (ультра- та нанофільтрації) для підвищення чистоти продукту та видалення ендотоксинів.

Наукова новизна. Робота узагальнює сучасні підходи до генетичної оптимізації штамів *Paenibacillus polymyxa*, впливу fed-batch режимів ферментації та використання прекурсорів на підвищення активних ізомерів В1 і В2. Запропоновано каскадну схему очищення, що поєднує мембранні, сорбційні та RP-HPLC етапи, забезпечуючи досягнення фармакопейної чистоти.

Висновки. Ефективне виробництво поліміксину В сульфату вимагає поєднання біотехнологічних і фізико-хімічних методів. Генетичне вдосконалення штамів *P. polymyxa*, оптимізація параметрів ферментації та застосування мембранних технологій сприяють підвищенню виходу й чистоти продукту. Подальші дослідження, спрямовані на зниження токсичності та вдосконалення процесів очищення, відкривають перспективи створення нових безпечних терапевтичних форм антибіотика.

Ключові слова: поліміксин В сульфат, *Paenibacillus polymyxa*, біосинтез, очищення, іонообмінна хроматографія, ендотоксини

ABSTRACT

Purpose of the work. The purpose of the study is to summarize modern approaches to the synthesis and purification of polymyxin B sulfate, taking into account biotechnological, chromatographic, and membrane methods, as well as to determine the optimal technological solutions for increasing the yield, isomeric purity, and pharmaceutical stability of the drug. Particular attention is paid to the analysis of non-ribosomal biosynthesis processes, fermentation parameters, and a multi-stage polymyxin purification system.

Methodology. The work uses methods of analysis, synthesis, and systematization of scientific sources describing industrial processes for the production of polypeptide antibiotics. Patent and regulatory materials on the biosynthesis, purification, and quality control of polymyxin B were studied. A comparison of adsorption, ion exchange, gel filtration, and high-efficiency liquid chromatography purification technologies was carried out, and the possibilities of integrating membrane processes (ultra- and nanofiltration) to improve product purity and remove endotoxins were analyzed.

Scientific novelty. The work summarizes modern approaches to genetic optimization of *Paenibacillus polymyxa* strains, the influence of fed-batch fermentation modes, and the use of precursors to increase the active isomers B1 and B2. A cascade purification scheme is proposed, combining membrane, sorption, and RP-HPLC stages, ensuring the achievement of pharmacopoeial purity.

Conclusions. Effective production of polymyxin B sulfate requires a combination of biotechnological and physicochemical methods. Genetic improvement of *P. polymyxa* strains, optimization of fermentation parameters, and the use of membrane technologies contribute to increased product yield and purity. Further research aimed at reducing toxicity and improving purification processes opens up prospects for the creation of new safe therapeutic forms of the antibiotic.

Key words: polymyxin B sulfate, *Paenibacillus polymyxa*, biosynthesis, purification, ion-exchange chromatography

Вступ

Антибіотикорезистентність визнана Всесвітньою організацією охорони здоров'я однією з головних загроз глобальній безпеці здоров'я (WHO, 2014). Поширення мультирезистентних грамнегативних патогенів, таких як *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, знижує ефективність лікування інфекцій, особливо у відділеннях інтенсивної терапії (Alshammari et al., 2025; Tamma et al., 2019; Tacconelli et al., 2018). У цих умовах значно зростає інтерес до поліміксинів, зокрема поліміксину В, який знову повернувся у клінічну практику як «антибіотик останньої лінії» (Landman et al., 2008; Yu et al., 2015).

Поліміксин В є циклічним катіонним ліпопептидом, що продукується ґрунтовими бактеріями *Paenibacillus polymyxa* шляхом нерибосомного синтезу пептидів. Механізм його дії полягає у зв'язуванні з ліпополісахаридами зовнішньої мембрани грамнегативних бактерій, що призводить до порушення мембранної цілісності та загибелі клітини. Попри високу активність, застосування препарату пов'язане з ризиком нефро- та нейротоксичності, що зумовлює необхідність особливо ретельного контролю чистоти продукту (Nation et al., 2015).

Виробництво поліміксину В сульфату – це складний біотехнологічний процес, який включає стадії мікробіологічного синтезу та багатоступеневого очищення. Біосинтез здійснюється у ферментерах об'ємом від лабораторних 10–20 л до промислових понад 10 000 л з використанням живильних середовищ, оптимізованих за карбоновим і нітрогеновмісним складом. Параметри ферментації – рН, температура, аерація, швидкість перемішування – визначають не лише вихід цільового продукту, а й співвідношення різних компонентів суміші поліміксинів (Process for production and purification of polymyxin B sulfate, 2010). Для підвищення продуктивності застосовують стратегії прекурсорної підгодовлі амінокислотами, зокрема L-діамінобутиратом і L-лейцином (Hui-Zhong et al., 2024).

Після ферментації поліміксин В перебуває у бульйоні разом з білками, полісахаридами, клітинним детритом та вторинними метаболітами. Технологічна схема зазвичай включає комплексне очищення. Особливу увагу приділяють видаленню ендотоксинів, що визначає безпечність препарату при парентеральному застосуванні.

Таким чином, дослідження технологічних аспектів синтезу та очищення поліміксину В сульфату має як теоретичне, так і прикладне значення. Воно сприяє оптимізації виробництва, підвищенню виходу та якості продукту, зменшенню впливу на довкілля та забезпеченню стабільного постачання критично важливого антибіотика.

Матеріали та методи дослідження

У роботі використано методи системного та порівняльного аналізу для узагальнення сучасних технологічних підходів до біосинтезу та очищення поліміксину В сульфату, описаних у фаховій літературі та нормативно-технічних документах.

Основними матеріалами дослідження стали наукові статті з рецензованих міжнародних журналів, що висвітлюють біотехнологічні аспекти синтезу поліміксину, які були знайдені з використанням пошукової системи Google Scholar; патентні описи технологічних процесів біосинтезу та хімічної модифікації поліпептидних антибіотиків; технічні регламенти та методичні рекомендації з очищення біотехнологічних продуктів та рекомендації з контролю якості лікарських засобів; огляди щодо метаболічної інженерії *Paenibacillus polymyxa* та оптимізації живильних середовищ для підвищення виходу цільового продукту.

Результати дослідження та обговорення

Поліміксин В має структуру, яка складається з 10 амінокислот з ліпідною хвостовою ділянкою, яка надає амфіпатичні властивості. Результатом його синтезу є суміш структурних компонентів в якій найбільшу частку складають поліміксини В1 і В2. На рис. 1. наведена структура поліміксину В1 (Vaara, 2019).

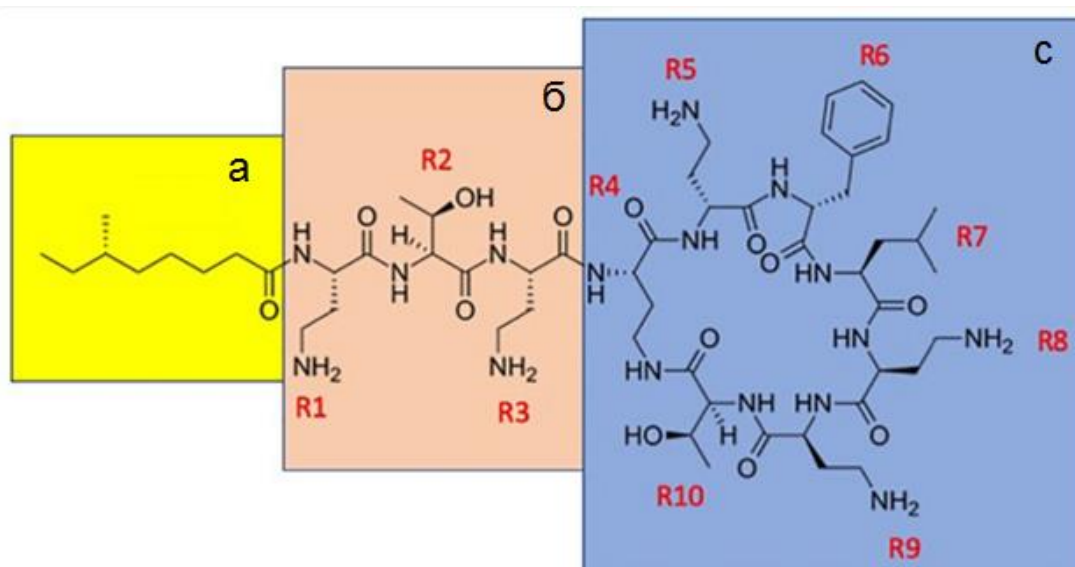


Рис. 1. Структура поліміксину В1. Жирний ацильний хвіст виділено (а), лінійна частина (б), а циклічна гептапептидна частина (с)

Різниця поліміксинів В1 та В2 полягає в довжині жирнокислотного ланцюга (поліміксин В1 має на одну групу CH_2 більше). Оскільки поліміксин В є сумішшю близьких ізомерів (В1, В2 та ін.), технологія отримання передбачає не тільки високий вихід

біосинтезу, але й багатоступінчасте, селективне очищення для досягнення фармакопейної якості (Ravindra Krishnarao et al., 2025). Стадії одержання поліміксину В наведені на рисунку 2.

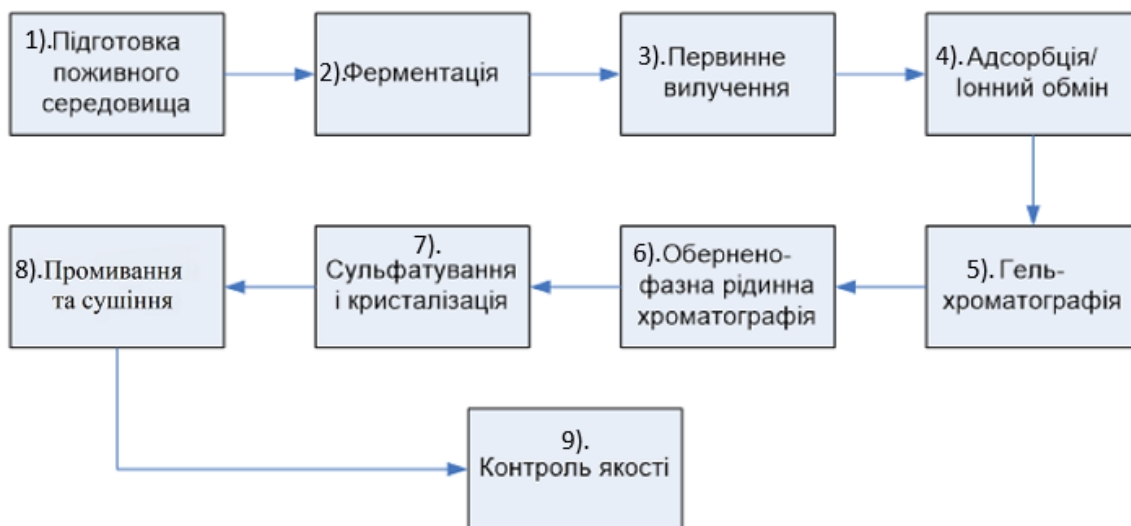


Рис. 2. Стадії синтезу поліміксину В

На першій стадії відбувається підготовка поживного середовища. Поживне середовище синтезу поліміксину В містить джерела карбону (глюкоза, крохмаль), нітрогену (соеве борошно, амонійні солі), мінеральні компоненти (фосфати, сульфати Mg і Fe). Оптимальний баланс компонентів

впливає на активність ферментації та рівень синтезу антибіотика (US20090197305A1, 2009; EP2027280A1, 2009). На другій стадії відбувається біологічний синтез (ферментація). Біологічний синтез поліміксинів каталізують комплекси нерибосомальних пептидсинтетаз (NRPS). NRPS-механізм забезпечує модуль-

ний відбір амінокислот, їх активацію та послідовний синтез пептидного ланцюга з подальшою циклізацією. На рисунку 3 наведена загальна схема біосинтезу поліміксинів. Поліміксини синтезуються за допомогою нерибосомальних пептидсинтетаз у грампозитивних бактерій, зокрема

Paenibacillus polymyxa. Подібно до інших нерибосомальних систем, утворення поліміксинів відбувається за участі багатомодульних синтетаз, де кожен модуль містить набір ферментативних доменів, що послідовно діють на зростаючий пептидний ланцюг.

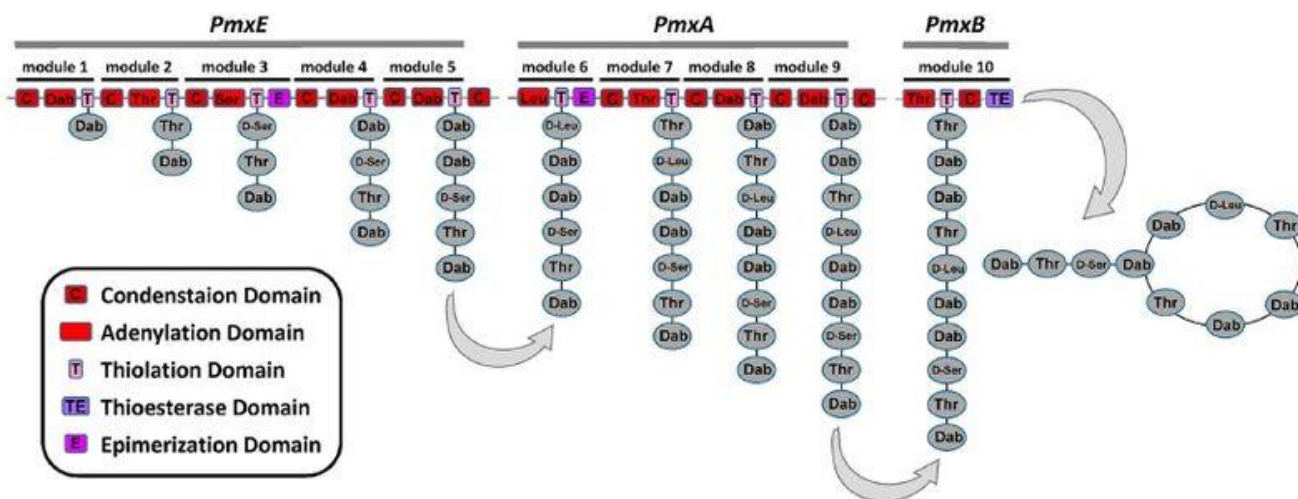


Рис. 3. Біосинтез поліміксину, який полягає у створенні поліпептидного ланцюга з подальшою циклізацією

Ці домени забезпечують приєднання амінокислотних залишків, подовження ланцюга, а також утворення пептидного зв'язку шляхом реакцій конденсації. На завершальному етапі до структури приєднується тїоестеразний домен, розташований на С-кінці останнього модуля, який каталізує циклізацію молекули та її вивільнення з ферментного комплексу.

Фундаментальні принципи NRPS і структурно-функціональні зв'язки поліміксинів описані в нещодавніх оглядах (Slingerland & Martin, 2024). Для синтезу промислово використовують штами *P. Polymyxa* або родинні продуценти; оптимізація штаму (відбір/селекція, генетичне інжиніринг) підвищує частку бажаних ізомерів і загальний вихід. Генетична оптимізація поліміксинів базується на методі CRISPR-Cas9 редагування геному який полягає у видаленні окремих генів або великих ділянок, вставки. Особливо модифікація генної структури, що відповідає за синтез екзополісахаридів. Інший метод оптимізації це мутації в генах поліміксинового кластеру (*pmxC*, *pmxD*, *pmxE*) у *P. polymyxa* PKB1, який полягає у редагуванні геному, що дозволило отримати нові варіанти поліміксину В. Це допомогло з'ясувати роль окремих генів у

біосинтезі та створити потенційно менш токсичні або активніші форми антибіотика.

Глибока аеробна ферментація відбувається у реакторах зі стандартними умовами контролю: температура 28–32 °C, pH близько 6.0–7.0 (регулюється буферними системами), інтенсивна аерація і перемішування проводяться для підтримки концентрації розчиненого кисню на необхідному рівні. Ферментація проводиться протягом 48–72 години; за лабораторними й пілотними даними виходи у діапазоні ~1.8–3.0 г/л за оптимальних умов. Оптимізація включає також контроль співвідношення C:N, режимів підживлення (*fed-batch*) та застосування предкурсорної збагачення амінокислотами або ліпідами для підвищення частки певних ізомерів. Для оптимізації процесу синтезу поліміксину В використовується режим ферментації *fed-batch* сутність якого полягає у поступовому додаванні поживних речовин в процесі ферментації. Цей режим є одним із найефективніших режимів для виробництва поліміксину В у промислових умовах. *Fed-batch* ферментація забезпечує вищий вихід поліміксину В та запобігає репресії синтезу антибіотика, однак потребує точного контролю подачі субстратів і є технологічно

складнішою у реалізації (Hui-Zhong et al., 2024; Chen et al., 2024).

Після завершення ферментації критичною є ефективна первинна сепарація клітин та кускових домішок (стадія 3). Вона включає відстоювання, центрифугування високої пропускної здатності або мікрофільтрація/ультрафільтрація в залежності від режиму виробництва. Оскільки поліміксин виявляється в культуральному бульйоні переважно у розчиненому стані й частково асоціює з колоїдним матеріалом, попередня фільтрація та/або нормалізація складу (рН, електролітів) підвищують ефективність наступних етапів очищення. Високопродуктивні лінії часто використовують поєднання мікрофільтрації для відділення клітин і реконцентрації через зворотний осмос/нанофільтрацію для зниження об'єму.

Концепція багатоступінчастого очищення включає стадії 4-7 (рис. 2). Через амфіфільність молекули, близькість ізомерів і наявність пептидних домішок, очищення поліміксину В передбачає інтегровану каскадну схему, що умовно поділяється на: сорбційно-адсорбційні та іоннообмінні стадії (стадія 4); фракціонування за розміром (гелево-проникна хроматографія/Sephadex) (стадія 5); високороздільна хроматографія (обернена фаза, C18) для остаточного розділення й ізомерного очищення (стадія 6); кристалізація у формі сульфату й ліофілізація (стадія 7). Кожна стадія має свою роль у видаленні різних класів домішок (білки, полісахариди, органічні кислоти, малі солі, ендотоксини) (Saraswat et al., 2013; Cytiva, 2020; Cytiva, 2021).

На стадії 4 іонообмінні колонки (катионіти/аніоніти) застосовують для вилучення поліміксину на основі його іонних властивостей (катионний характер при $\text{pH} < \text{pI}$ – ізоелектричної точки). Адсорбція на макропористих полістирольних смолах (XAD-тип) є універсальним кроком для попереднього видалення гідрофобних домішок і концентрації ліганду перед десорбцією етанолом або слабкими кислотами. Іонний характер поліміксину дозволяє ефективно елювати його при зміні рН або іонної сили; методи іонної хроматографії детально описані у роботах (University of North Carolina at Chapel Hill, Sondek Laboratory, 2018).

На стадії 5 Sephadex-гелі/гель-фільтраційні техніки (GF) використовують для упорядкування за розміром: видалення низькомолекулярних солей, розділення середніх пептидів і відокремлення основної фракції поліміксину від високомолекулярних забруднень. Це додатковий етап для розділення біомолекул, що добре поєднується з попередньою адсорбцією (Cytiva, 2020; Cytiva, 2021).

Фінальна стадія розділення ізомерів та отримання фармакопейної чистоти (стадія 6) реалізується на колонках C18 із водно-органічними градієнтами (ацетонітрил/вода або метанол/вода) з додаванням трифторетанової або метанової кислоти для оптимізації піків. Цей крок надає можливість повністю розділити B1/B2 та інші споріднені компоненти; Цей метод також використовується для аналітичної стандартизації та визначення біологічної активності фракцій (Cytiva, 2021).

Для стабілізації та приведення продукту у фармацевтичну форму проводять сульфатування (утворення поліміксину В сульфату) (стадія 7). Поліміксин переводять у сульфатну сіль (рН 5–7), після чого здійснюють кристалізацію та осадження. Це забезпечує стабільність та дозованість препарату (US20190256557A1, 2019; CN103130876B, 2014).

Після відокремлення кристалів виконують промивання холодними розчинниками (етанол/вода) і висушування – зазвичай ліофілізацію або вакуумне сушіння при температурі $\leq 40^\circ\text{C}$, щоб уникнути термічної деградації (стадія 8). Готовий сульфатний кристал характеризується високою водорозчинністю та зручністю дозування (US20190256557A1, 2019).

Контроль кінцевої субстанції (стадія 9) включає кількісне визначення загальної біологічної активності, співвідношення ізомерів (B1/B2), вміст домішок (максимум допустимі значення, зазвичай $\leq 15\text{--}17\%$ сумарно), залишкові розчинники, мікробіологічні показники та рівні ендотоксинів. Методики аналітичного контролю – HPLC (RP), мас-спектрометрія (LC-MS), UV-спектроскопія ($\lambda \approx 215\text{--}220\text{ nm}$ для пептидного скелета), біоактивність у тестах інгібування росту – відповідають фармакопейним стандартам і вимогам регламенту ДФУ, гармонізована з Ph. Eur. (HPLC (RP)) – розділ

2.2.29 – розділ «Рідинна хроматографія»; мас-спектрометрія (LC-MS) – 2.2.43 – розділ «мас-спектрометрія»; UV-спектроскопія – 2.2.25 – розділ «Спектрофотометрія в УФ і видимій області»; біоактивність – 2.7.2 – розділ «Мікробіологічне визначення активності антибіотиків»). Видалення ендотоксинів – окреме завдання, що вирішується комбінацією хроматографічних методів і специфічних адсорбентів (Sandle, 2022; Aslan et al., 2022).

Аналіз технології виробництва поліміксину дозволив виявити технічні виклики у виробництві та визначити шляхи оптимізації. Наявна технологія дозволяє одержати продукт неоднорідного складу. Суміш ізомерів вимагає глибокого розділення з використанням каскадної схеми, що підвищує собівартість. Рішенням проблеми може стати селекція або молекулярний інжиніринг штамів для підвищення частки бажаного ізомеру; напівсинтетичні підходи для перетворення суміші в більш однорідні (Chen et al., 2024). Процес синтезу супроводжується втратами частини продукту на ділянках обладнанні і використаних сорбентах – поліміксин адсорбується на полімерних і металевих поверхнях. Зменшення втрат продукту можливо за рахунок використання матеріалів (тугоплавкі покриття, PTFE) і оптимізацією часу контакту. Суттєвою проблемою є видалення ендотоксинів, що є критичним для парентеральних продуктів. При цьому комбіновані підходи (іонообмін, афініт-сорбенти, спеціалізовані колонки) показують найкращий результат. Ефективною може бути інтеграція мембранних процесів – застосування мікро/ультра/нанофільтрації у ланцюжку дозволяє зменшити залучення хроматографії та відповідні втрати продукту, а також підвищити пропускну здатність одержаного продукту (CN103130876B, 2014).

Поліміксин В має високі бактерицидні властивості, але його застосування обмежене нефро- і нейротоксичністю; це спонукає до необхідного контролю дози, моніторингу токсичності та пошуку безпечніших аналогів. Після парентерального введення він швидко розподіляється у позаклітинній рідині, істотну роль відіграє ниркова екскреція; період напіввиведення в людини зазвичай 6–12 годин, але значно

варіює за станом нирок. Детальні огляди та клінічні дослідження підтверджують фактори ризику нефротоксичності та шляхи її мінімізації (Özkarakaş et al., 2023; Chang et al., 2022; Xia et al., 2023; Wu et al., 2022).

Через токсичність оригінальних поліміксинів інтенсивно розробляють нові молекули: PMBN (деацильований нонапептид), синтетичні аналоги та «поліміксиноподібні» сполуки (SPR206, QPX9003 та ін.), що демонструють зменшену нефро- і нейротоксичність при збереженні ад'ювантної здатності або прямої активності. Ці нові сполуки також вимагають адаптованих методів очищення через відмінний профіль фізико-хімічних властивостей (Aslan et al., 2022).

Висновки

Виробництво поліміксину В сульфату є складним, багатоступінчастим біотехнологічним процесом, що поєднує високо-специфічну стадію мікробіологічного синтезу (ферментації) з ретельно спроектованою схемою очищення.

На етапі ферментації ключовим є забезпечення максимальної продуктивності та селективності синтезу, що досягається завдяки генетичному вдосконаленню штамів *Paenibacillus polymyxa*, оптимізації карбоно-нітрогенового балансу живильного середовища та використанню прекурсорної підживлення для зсуву ізомерного складу в бік терапевтично більш активних компонентів.

Головними технологічними викликами залишаються неоднорідність продукту внаслідок утворення суміші близьких ізомерів; наявність домішок білкової, вуглеводної та ліпідної природи; значні втрати цільового продукту під час кожної стадії очищення; необхідність повного видалення ендотоксинів для забезпечення безпечності при парентеральному застосуванні.

Ефективні шляхи подолання цих проблем включають селекцію та генетичну оптимізацію виробничих штамів для зменшення утворення небажаних ізомерів; застосування мембранних технологій (ультра- та нанофільтрація) як попередніх або допоміжних стадій; впровадження нових селективних сорбентів з підвищеною ємністю та стабільністю; розробку оптимізованих хроматографічних режимів для зменшення

кількості циклів та підвищення виходу одержаного продукту.

Перспективи розвитку галузі виходять за межі лише вдосконалення класичних технологій. Наразі активні дослідження спрямовані на створення менш токсичних аналогів поліміксину В (наприклад, за рахунок модифікації бічних ланцюгів або

заміни амінокислот), що потенційно дозволить знизити нефротоксичність і нейротоксичність препарату. Такі зміни можуть істотно вплинути на вимоги до технологічних процесів, зокрема спростити окремі стадії очищення, зменшити кількість ізомерних фракцій та поліпшити показники безпечності кінцевого лікарського засобу.

Фінансування / Funding

Зовнішнього фінансування немає / There is no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Усі дані представлені безпосередньо у статті. Для отримання додаткової інформації звертайтеся до авторів / All data are presented directly in the article. For more information, please contact the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

Під час підготовки цього рукопису автори використовували ChatGPT для пошуку літературних джерел з даної тематики, які перевірялись через пошукову систему Google Scholar. Після застосування цього інструменту автори ретельно переглянули та відредагували вміст за необхідності і несуть повну відповідальність за остаточну опубліковану версію / During the preparation of this manuscript, the authors used ChatGPT to search for literature sources on the subject, which were checked through the Google Scholar search engine. After using this tool, the authors carefully reviewed and edited the content as necessary and bear full responsibility for the final published version.

References

- Alshammari, A.D., Salem, A.M., Almarshedy, S.M., Rakha, E., & Saleem, M. (2025). Multidrug-resistant gram-negative bacteria in ICU patients of a tertiary care hospital in Saudi Arabia: Distribution of carbapenemase genes in clinical and rectal swab samples. *Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacol.*, 398, 14175–14188. <https://doi.org/10.1007/s00210-025-04194-9>
- Aslan, A. T., Akova, M., & Paterson, D. L. (2022). Next-generation polymyxin class of antibiotics: A ray of hope illuminating a dark road. *Antibiotics (Basel)*, 11(12), 1711. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11121711>
- Chang, K., Wang, H., Zhao, J., Yang, X., Wu, B., Sun, W., Huang, M., Cheng, Z., Chen, H., Song, Y., Chen, P., Chen, X., Gan, X., Ma, W., Xing, L., Wang, Y., & Cao, B. (2022). Risk factors for polymyxin B-associated acute kidney injury: A multicenter study. *International Journal of Infectious Diseases*, 117, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2022.01.055>

Chen, N., Cai, P., Zhang, D., Zhang, J., Zhong, Z., & Li, Y. X. (2024). Metabolic engineering of "last-line antibiotic" colistin in *Paenibacillus polymyxa*. *Metabolic Engineering*, 85, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2024.07.005>

CN103130876B. (2014). *Preparing method of high-purity polymyxin B*. <https://patents.google.com/patent/CN103130876B/en>

Cytiva. (2020). *Sephadex ion exchange resins*. Marlborough, MA: Cytiva. <https://cdn.cytivalifesciences.com/api/public/content/digi-11385-original>

Cytiva. (2021). *Protein and peptide purification*. Marlborough, MA: Cytiva. <https://cdn.cytivalifesciences.com.cn/api/public/content/digi-11852-pdf>

EP2027280A1. (2009). *Process for the preparation of polymyxin B employing (Paeni)bacillus polymyxa*. <https://patents.google.com/patent/EP2027280A1/en>

Hui-Zhong, S., Si-Yu, W., Qiu-Man, X., Shang, W., Li, Q., Cheng, J.-S., & Yuan, Y.-J. (2024). Enhancement of polymyxin B1 production by an artificial microbial consortium of *Paenibacillus polymyxa* and recombinant *Corynebacterium glutamicum* producing precursor amino acids. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 9(1), 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2024.01.015>

Landman, D., Georgescu, C., Martin, D. A., & Quale, J. (2008). Polymyxins revisited. *Clinical Microbiology Reviews*, 21(3), 449–465. <https://doi.org/10.1128/CMR.00006-08>

Nation, R. L., Li, J., Cars, O., Couet, W., Dudley, M. N., Kaye, K. S., Mouton, J. W., Tam, V. H., Theuretzbacher, U., Tsuji, B. T., & Zavascki, A. P. (2015). Framework for optimisation of the clinical use of colistin and polymyxin B: The Prato polymyxin consensus. *The Lancet Infectious Diseases*, 15(2), 225–234. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(14\)70850-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70850-3)

Özkarakaş, H., Özdemir, Y., Tosun, S., Zeki T. Tekgül, Mehmet U. Bilgin, Ozkan Özmuk, Bülent Çalık. (2023). Risks of polymyxin B nephrotoxicity and its precursors in the intensive care unit: A retrospective cohort study. *Cureus*, 15(8), e44301. <https://doi.org/10.7759/cureus.44301>

Process for production and purification of polymyxin B sulfate. (2010, May 27). *WO 2010/058427A2*. <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2010058427>

Ravindra Krishnarao, B., Chaturvedi, A., & Karunasagar, K. M. (2025). Separation, purification and isolation of polymyxin B sulphate. *Biotechnology Journals*, 7(2). <https://www.biotechnologyjournals.com/assets/archives/2025/vol7issue2/7021.pdf>

Sandle, T. (2022). Development and qualification factors for endotoxin removal from proteins using chromatographic columns. *American Pharmaceutical Review*. <https://www.americanpharmaceuticalreview.com/Featured-Articles/589105-Development-and-Qualification-Factors-for-Endotoxin-Removal-from-Proteins-Using-Chromatographic-Columns/>

Saraswat, M., Musante, L., Ravidá, A., Shortt, B., Byrne, B., & Holthofer, H. (2013). Preparative purification of recombinant proteins: Current status and future trends. *BioMed Research International*, 2013, 312709. <https://doi.org/10.1155/2013/312709>

Slingerland, C. J., & Martin, N. I. (2024). Recent advances in the development of polymyxin antibiotics: 2010–2023. *ACS Infectious Diseases*, 10(4), 1056–1079. <https://doi.org/10.1021/acsinfecdis.3c00630>

Tacconelli, E., Carrara, E., Savoldi, A., Harbarth, S., Mendelson, M., & Monnet, D.L. (2018). Discovery, research, and development of new antibiotics: The WHO priority list of antibiotic-resistant bacteria

and tuberculosis. *The Lancet Infectious Diseases*, 18(3), 318–327. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30753-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30753-3)

Tamma, P. D., Cosgrove, S. E., & Maragakis, L. L. (2019). Combination therapy for treatment of infections with gram-negative bacteria. *Frontiers in Medicine*, 6, Article 74. <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00074>

University of North Carolina at Chapel Hill, Sondek Laboratory. (2018). Ion exchange chromatography & chromatofocusing [PDF]. Chapel Hill, NC. <https://www.med.unc.edu/pharm/sondeklab/wp-content/uploads/sites/868/2018/10/Ion-exchange.pdf>

US20090197305A1. (2009). *Method for producing polymyxin B by fermentation*. <https://patents.google.com/patent/US20090197305A1/en>

US20190256557A1. (2019). *Polymyxin B sulfate crystal and preparation method thereof*. <https://patents.google.com/patent/US20190256557A1/en>

Vaara, M. (2019). Polymyxins and their potential next generation as therapeutic antibiotics. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1689. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01689>

WHO. (2014). *Antimicrobial resistance: Global report on surveillance*. Geneva: World Health Organization.

Wu, X.-L., Long, W.-M., Lu, Q., Teng, X.-Q., Qi, T.-T., Qu, Q., He, G.-F., & Qu, J. (2022). Polymyxin B-associated nephrotoxicity and its predictors: A retrospective study in carbapenem-resistant gram-negative bacterial infections. *Frontiers in Pharmacology: Renal Pharmacology*, 13, 672543. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.672543>

Xia, G. L., Xu, X., You, X. B., Wang, X., Feng, D. D., Lei, S., & Jiang, R. L. (2023). Efficacy and nephrotoxicity of polymyxin B in elderly patients with carbapenem-resistant organism infection. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 22, 101. <https://doi.org/10.1186/s12941-023-00647-2>

Yu, Z., Qin, W., Lin, J., Fang, S., & Qiu, J. (2015). Antibacterial mechanisms of polymyxin and bacterial resistance. *BioMed Research International*, 2015, 679109. <https://doi.org/10.1155/2015/679109>

Received: 12.09.2025. **Accepted:** 23.10.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Левченко С., Кустовська А., Чумак В., Матвєєва О., Трофімов І., Гетманський Є. Синтез та очищення поліміксин В сульфату: технологічні аспекти та сучасні підходи *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 220–229. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.20>

Cite this article in APA style as:

Levchenko, S., Kustovska, A., Chumak, V., Matvyeyeva, O., Trofimov, I., & Hetmanskyi, Y. Syntez ta ochyshchennia polimiksyn B sul'fatu: tekhnolohichni aspekty ta suchasni pidkhody [Synthesis and purification of polymyxin B sulfate: technological aspects and modern approaches]. *Biota. Human. Technology*, (3), 220–229. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.20> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Levchenko S. [*in Ukrainian: Левченко С.*] ¹, PhD (Technical Sciences), Associate Professor, email: serhii.levchenko@npp.kai.edu.ua

ORCID: 0009-0007-0406-6372

Department of Chemistry and Chemical Technology, State University "Kyiv Aviation Institute"

1, Liubomyra Huzara Avenue, Kyiv, 03058, Ukraine

Kustovska A. [*in Ukrainian: Кустовська А.*] ², PhD (Chemistry), Associate Professor, email: antonina.kustovska@npp.kai.edu.ua

ORCID: 0000-0002-6836-3305

Department of Chemistry and Chemical Technology, State University "Kyiv Aviation Institute"

1, Liubomyra Huzara Avenue, Kyiv, 03058, Ukraine

Chumak V. [*in Ukrainian: Чумак В.*] ³, D.Sc. (Chemistry), Professor, email: vitalii.chumak@npp.kai.edu.ua

ORCID: 0000-0002-1574-2862

Department of Chemistry and Chemical Technology, State University "Kyiv Aviation Institute"

1, Liubomyra Huzara Avenue, Kyiv, 03058, Ukraine

Matvyeyeva O. [*in Ukrainian: Матвеева О.*] ⁴, PhD (Technical Sciences), Professor, email: olena.matvyeyeva@npp.kai.edu.ua

ORCID: 0000-0001-7450-0479

Department of Chemistry and Chemical Technology, State University "Kyiv Aviation Institute"

1, Liubomyra Huzara Avenue, Kyiv, 03058, Ukraine

Trofimov I. [*in Ukrainian: Трофімов І.*] ⁵, PhD (Technical Sciences), Associate Professor,

email: ihor.trofimov@npp.kai.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5539-1166

Department of Chemistry and Chemical Technology, State University "Kyiv Aviation Institute"

1, Liubomyra Huzara Avenue, Kyiv, 03058, Ukraine

Hetmanskyi Y. [*in Ukrainian: Гетманський Є.*] ⁶, 4th-year Student of Specialty 161 "Chemical Technologies of Pharmaceutical Production and Medical Devices", email: 7976746@stud.kai.edu.ua

ORCID: 0009-0008-0270-3937

Department of Chemistry and Chemical Technology, State University "Kyiv Aviation Institute"

1, Liubomyra Huzara Avenue, Kyiv, 03058, Ukraine

¹ Formulated the research concept, supervised the project, and provided methodological support.

² Carried out the experimental work and contributed to the analysis of results.

³ Provided scientific guidance, critical revision of the manuscript, and overall supervision.

⁴ Contributed to data interpretation, visualization, and improvement of the manuscript text.

⁵ Participated in designing the experiments, processing experimental data, and preparing tables and figures.

⁶ Performed part of the experimental research and participated in drafting the manuscript.



RESEARCH INTEGRITY

ДОБРОЧЕСНІСТЬ У ДОСЛІДЖЕННЯХ



UDC 001.89:[57+502/504]:174.7

DOI: 10.58407/bht.3.25.21



Copyright (c) 2025 Oleksandr Lukash, Halina Tkaczenko, Anita Szikura, Olha Mekhed, Natalia Kurhaluk

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Олександр Лукаш, Галина Ткаченко, Аніта Сікура,
Ольга Мехед, Наталія Кургалюк
**ПРОБЛЕМА ДОБРОЧЕСНОСТІ
СУЧАСНИХ БІОМЕДИЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**



Oleksandr Lukash, Halina Tkaczenko, Anita Szikura,
Olha Mekhed, Natalia Kurhaluk
**THE PROBLEM OF INTEGRITY
OF MODERN BIOMEDICAL AND ENVIRONMENTAL RESEARCH**

АНОТАЦІЯ

У контексті необхідності дотримання Європейського кодексу поведінки щодо доброчесності досліджень, що слугує європейській дослідницькій спільноті основою для саморегулювання в усіх наукових та академічних дисциплінах і для всіх дослідницьких установ, здійснено огляд проблеми доброчесності у сучасних біомедичних та екологічних дослідженнях.

Мета роботи. Метою роботи є висвітлення принципів та практик для сприяння доброчесності у сучасних біомедичних та екологічних дослідженнях.

Методологія. Застосовані аналіз та критична оцінка сучасних опублікованих робіт з проблеми академічної доброчесності, огляд рівня вивченості наукової проблеми. Для цього використовують загальні методи наукового пізнання, такі як аналіз, синтез, індукція, дедукція, порівняння. Критична оцінка передбачала оцінку обґрунтованості висновків у публікаціях, що аналізувалися, їх новизни.

Наукова новизна. Проаналізовано провідні принципи доброчесності досліджень, зокрема біомедичних та екологічних, що є основою надійного наукового результату. Практики для сприяння доброчесності у дослідженнях передбачають використання чітких методів дослідження, ефективної статистики, реєстрацію проміжних результатів, а також захист людей, які беруть участь у дослідженнях та гуманне ставлення до тварин. Наголошено на проблемах академічної доброчесності, пов'язаних із застосуванням штучного інтелекту у дослідницькому просторі та науковому рецензуванні.

Висновки. Доброчесність у наукових дослідженнях, зокрема біомедичних та екологічних, передбачає інтелектуальну чесність дослідника та застосування практик, спрямованих у першу чергу на використання чітких методів дослідження, відповідне застосування статистичних моделей, контроль упередженості, що забезпечує обґрунтованість висновків. Для зміцнення доброчесності досліджень важлива роль належить турботі про якість дослідницького середовища. Зважаючи на те, що штучний інтелект вже створює значні проблеми для освітнього простору, виникає проблема заміни дослідницької автентичності та підтримки академічної доброчесності у процесі рецензування наукових публікацій. Розробка механізмів, які будуть запобігати цьому, потребує подальших пошуків.

Ключові слова: академічна доброчесність, біологія, екологія, наукові дослідження, принципи

ABSTRACT

In the context of the need to comply with the European Code of Conduct for Research Integrity, which serves the European research community as a basis for self-regulation in all scientific and academic disciplines and for all research institutions, a review of the problem of integrity in modern biomedical and environmental research was conducted.

Purpose of the work. The purpose of the paper is to highlight principles and practices for promoting integrity in modern biomedical and environmental research.

Methodology. The analysis and critical assessment of modern published works on the problem of academic integrity, a review of the level of study of the scientific problem were applied. For this, general methods of scientific knowledge are used, such as analysis, synthesis, induction, deduction, comparison. The critical assessment involved an assessment of the validity of the conclusions in the analyzed publications, their novelty.

Scientific novelty. The guiding principles of research integrity, particularly biomedical and environmental, are analyzed, which are the basis of a reliable scientific result. Practices to promote research integrity include the use of sound research methods, effective statistics, recording of interim results, as well as the protection of human participants in research and the humane treatment of animals. The issues of academic integrity related to the use of artificial intelligence in the research space and scientific peer review are emphasized.

Conclusions. Integrity in scientific research, including biomedical and environmental research, involves the intellectual honesty of the researcher and the application of practices aimed primarily at the use of rigorous research methods, the appropriate application of statistical models, and the control of bias, which ensures the validity of conclusions. To strengthen research integrity, concern for the quality of the research environment plays an important role. Given that AI is already creating significant challenges for the educational space, the problem of replacing research authenticity and maintaining academic integrity in the peer review process of scientific publications arises. Developing mechanisms that will prevent this requires further research.

Key words: academic integrity, biology, ecology, scientific research, principles

Вступ

Фальсифікація даних та зміна даних у дослідженні підриває довіру громадськості до науки та вчених і унеможлиблює для самих вчених покладатися на чужі висновки – основу сучасного наукового методу (Winthrop University, n.d). Недоброчесні дії в дослідженнях стосуються навмисного порушення принципів доброчесності досліджень, що має значний та далекосяжний вплив на достовірність та репутацію науки (Li & Mol, 2022). Для багатьох сучасних наукових галузей заявлені результати досліджень часто можуть бути просто точними показниками переважаючої упередженості, що може мати наслідки для проведення та інтерпретації досліджень (Ioannidis, 2005). Armond et al. (2024) наголошує, що протягом останніх двох десятиліть сплеск занепокоєння щодо доброчесності досліджень, включаючи шахрайські дослідження, проблеми відтворюваності та сумнівні практики, порушив критичні питання щодо надійності наукових результатів.

У 2017 р. вийшов у світ Європейський кодекс поведінки щодо доброчесності досліджень, що слугує європейській дослідницькій спільноті основою для саморегулювання в усіх наукових та академічних дисциплінах і для всіх дослідницьких установ. У 2023 року Європейський кодекс поведінки щодо доброчесності було оновлено (ALLEA, 2023), щоб забезпечити його відповідність меті та актуальність для всіх дисциплін, нових галузей досліджень та нових дослідницьких практик. Європейська комісія визнає Європейський кодекс поведінки основним стандартом підтримки доброчесності досліджень у дослідницьких проектах.

У публікаціях останніх років особлива увага приділяється проблемі додержання доброчесності у біомедичних дослідженнях (Gurrin & Mol, 2022; Paryzhak & Vari, 2024; Armond et al., 2024). У біомедичних науках будь-які порушення доброчесності досліджень можуть потенційно призвести до ефекту доміно, що впливає на догляд за пацієнтами, медичні втручання та ширше впровадження політики охорони здоров'я, потенційно призводить до скептицизму та вагань у прийнятті рекомендацій громадської охорони здоров'я (Armond et al., 2024). Проблема доброчесності у екологічних дослідженнях висвітлена через призму освітнього процесу (Sugiharto et al., 2023) та обґрунтування вибору та використання ефективних статистичних практик для екологів, які прагнуть покращити використання статистичних методів (Porovich et al., 2023).

Метою роботи є висвітлення принципів та практик для сприяння доброчесності у сучасних біомедичних та екологічних дослідженнях.

Матеріали та методи дослідження

Застосовані аналіз та критична оцінка сучасних опублікованих робіт з проблеми академічної доброчесності, огляд рівня вивченості наукової проблеми. Для цього використовують загальні методи наукового пізнання, такі як аналіз, синтез, індукція, дедукція, порівняння. Критична оцінка передбачала оцінку обґрунтованості висновків у публікаціях, що аналізувалися, їх новизни.

Результати дослідження та обговорення

У аналізі, представленому Комітетом з оцінки доброчесності в дослідницькому середовищі Національної дослідницької ради та Інституту медицини США (NRC & IMC, 2002), зазначається, що для окремого науковця доброчесність уособлює, перш за все, відданість інтелектуальній чесності та особистій відповідальності за свої дії, а також низку практик, що характеризують відповідальну дослідницьку діяльність. Ці практики включають: інтелектуальну чесність у пропонуванні, проведенні та звітуванні про дослідження; точність представлення внесків до дослідницьких пропозицій та звітів; справедливість у

експертній оцінці; колегіальність у науковій взаємодії, включаючи комунікації та спільне використання ресурсів; прозорість щодо конфліктів інтересів або потенційних конфліктів інтересів; захист людей, які беруть участь у дослідженнях; гуманний догляд за тваринами під час проведення досліджень; та дотримання взаємних обов'язків між дослідниками та їхніми дослідницькими групами.

Доброчесність досліджень базується на принципах, що забезпечують надійність та ретельність досліджень. Основні принципи дослідницької доброчесності включають ретельність (надійність), чесність, прозорість, повагу та підзвітність – rigor (reliability), honesty, transparency, respect, and accountability (рис. 1).

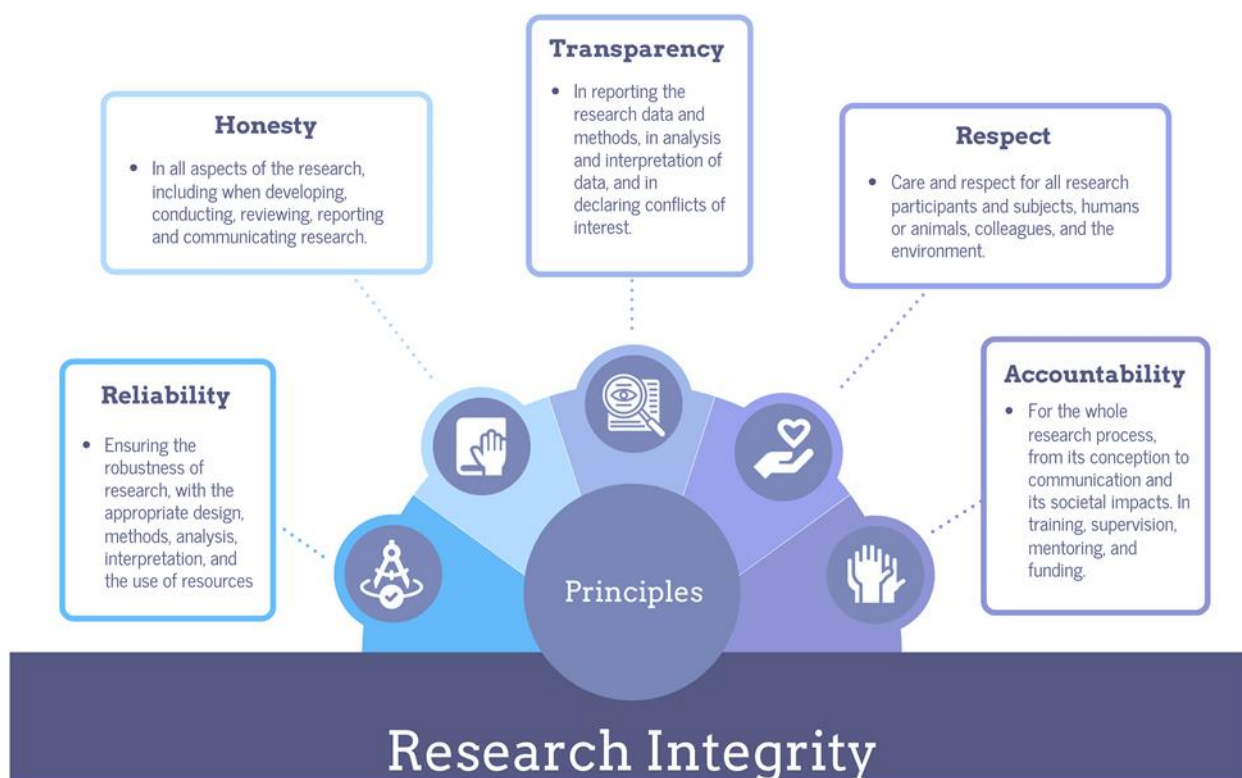


Рис 1. Графічне представлення принципів доброчесності досліджень (Armond et al., 2024)

Існує кілька практик для сприяння доброчесності. Надійна методологія та прозора, чесна та неупереджена звітність є основою надійного наукового результату, а заходи щодо покращення відтворюваності та доброчесності досліджень часто перетинаються (Armond et al., 2024). Відповідальне проведення досліджень служить практичною основою, яка перетворює загальні принципи дослідницької доброчесності та етики на практичні рекомендації, сприяючи етичній поведінці та прийняттю рішень у

повсякденній діяльності дослідників (Steneck, 2006). Ciubotariu & Bosch (2022) зазначають один важливий компонент доброчесності досліджень, який часто ігнорується під час обговорення пропозицій щодо покращення якості досліджень та сприяння надійним дослідженням; той, що охоплює весь спектр від лабораторного столу до поширення наукової роботи: відповідальна наукова комунікація.

Zwart & Ter Meulen (2019), спираючись на власні результати, а також враховуючи

результати інших проектів, зробили висновок, що зусилля щодо сприяння доброчесності досліджень повинні базуватися на двох основних рекомендаціях: 1) сприяння доброчесності досліджень має бути процесом «знизу вгору», що базується на практиці та роботі з доброчесності у повсякденних дослідницьких умовах; 2) пріоритетність зміцнення доброчесності досліджень не шляхом індивідуалізації (тобто спостереження, виявлення, викриття та покарання за індивідуальні відхилення), а шляхом інституціоналізації (тобто сприяння турботі та турботі про якість дослідницької екосистеми).

Практики для сприяння доброчесності у біомедичних дослідженнях включають (Resnik & Shamoo, 2011; Armond et al., 2024): 1) використання чітких методів дослідження, статистики та управління даними; 2) реєстрацію проміжних результатів досліджень та дотримання протоколу; 3) контроль упередженості та розкриття конфліктів інтересів; 4) використання інструкцій та контрольних списків щодо звітності; 5) відкритий доступ до даних, коду та матеріалів; 6) визначення авторства з відповідальністю та підзвітністю; 7) публікацію препринтів; 8) винагороду за відповідальну та відтворювану практику. Тобто надійна методологія та прозора, чесна та неупереджена звітність є основою надійного наукового результату.

Доброчесність у екологічних дослідженнях може бути забезпечена шляхом дотримання чотирьох керівних принципів для ефективної статистичної дослідницької практики (Porovich et al., 2023): 1) визначити цілеспрямоване дослідницьке питання, а потім спланувати вибірку та аналіз для відповіді на нього; 2) розробити модель, яка враховує розподіл та залежність ваших даних; 3) наголосити на розмірах ефекту, щоб замінити статистичну значущість екологічною релевантністю; 4) достатня детальність повідомлення про її методи та результати. Ці принципи забезпечують основу для експериментального дизайну та звітності, що захищає від недобросовісної практики.

Важливою проблемою є застосування штучного інтелекту у біомедичних та екологічних дослідженнях. Так, суб'єкти дослідницької діяльності можуть знизити ризик

академічної неправомірної поведінки, використовуючи складні алгоритми для виявлення плагиату, шахрайства та маніпуляцій з даними. В аспекті застосування штучного інтелекту актуальною проблемою є рецензування наукових публікацій у періодичних виданнях. Paryzhak & Vari (2024) наголошують, що виявити фабрикавання та фальсифікацію не так просто, не зважаючи на швидкий розвиток штучного інтелекту. Проте штучний інтелект не слід використовувати для заміни рецензентів-людей, оскільки наразі недостатньо доказів на підтримку застосування штучного інтелекту в рецензуванні (Paryzhak & Vari, 2024). До того ж, на сьогодні проблема штучного інтелекту та додержання доброчесності вже привертає увагу з позицій широкого поширення ШІ у освітньому просторі. У статті Chávez et al., 2023) проведено систематичний огляд літератури про вплив штучного інтелекту на академічну доброчесність, висвітлено як можливості, так і проблеми, які штучний інтелект створює в освітньому середовищі. У сучасному швидкозмінному освітньому ландшафті штучний інтелект створює значні проблеми для здатності освітньої екосистеми підтримувати академічну доброчесність (Balalle & Pannilage, 2025). Є опасіння, що ця проблема у широкому масштабі охопить простір біомедичних та екологічних досліджень.

Висновки

Доброчесність у наукових дослідженнях, зокрема біомедичних та екологічних, передбачає інтелектуальну чесність дослідника та застосування практик, спрямованих у першу чергу на використання чітких методів дослідження, відповідне застосуванні статистичних моделей, контроль упередженості, що забезпечує обґрунтованість висновків. Для зміцнення доброчесності досліджень важлива роль належить турботі про якість дослідницького середовища.

Зважаючи на те, що штучний інтелект вже створює значні проблеми для освітнього простору, виникає проблема заміни дослідницької автентичності та підтримки академічної доброчесності у процесі рецензування наукових публікацій. Розробка механізмів, які будуть запобігати цьому, потребує подальших пошуків.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- ALLEA (2023). *The European Code of Conduct for Research Integrity – Revised Edition 2023*. All European Academies. https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/guidance/european-code-of-conduct-for-research-integrity_horizon_en.pdf
- Armond, A. C. V., Cobey, K. D., & Moher, D. (2024). *Research Integrity definitions and challenges*. *Journal of Clinical Epidemiology*, 171, 111367. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2024.111367>
- Balalle, H. & Pannilage, S. (2025). Reassessing academic integrity in the age of AI: a systematic literature review on AI and academic integrity. *Social Sciences & Humanities Open*, 11, 101299. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101299>.
- Chávez A. L. C. T., Cordero C. R. Z., Orellana L. M. G., Tapia R. D. C., Aguila O. E. P., Pérez L. A. C., Ramírez A. A. V., Carranza C. P. M., Velasquez W. L. V., & Gonzáles J. L. A. (2023). Impact of artificial intelligence in promoting academic integrity in education: A systematic review. *Journal of Namibian Studies: History Politics Culture*, 33, 71–85. <https://doi.org/10.59670/jns.v33i.415>
- Ciubotariu, I. I., & Bosch, G. (2022). Improving research integrity: a framework for responsible science communication. *BMC Res Notes*, 15, 177. <https://doi.org/10.1186/s13104-022-06065-5>
- Ioannidis, J. P. (2005). Why most published research findings are false. *PLoS Medicine*, 2(8), e124. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020124>
- Li, W., Gurrin, L. C., & Mol, B. W. (2022). Violation of research integrity principles occurs more often than we think. *Reproductive Biomedicine online*, 44(2), 207–209. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2021.11.022>

NRC & IMC (2002). *Integrity in scientific research: creating an environment that promotes responsible conduct*. National Research Council (US) and Institute of Medicine (US) Committee on Assessing Integrity in Research Environments. National Academies Press (US). <https://doi.org/10.17226/10430>

Paryzhak, S. & Vari, S. G. (2024). Scientific integrity in biomedical research is a global problem. *Ukrainian Biochemical Journal*, 96(2), 12–18. <https://doi.org/10.15407/ubj96.02.012>

Popovich, G., Mason, T. J., Drobniak, S. M., Marquez, T. A., Potts, J., Ju, R., Altwegg, R., Burns, K. K. I., McCarthy, M. A., Johnston, A., Nakagawa, S., McMillan, L., Devarajan, K., Taggart, P. L., Wunderlich, A., Meir, M. M., Martinez-Lanfranco, J. A., Lagisz, M., & Pottier, P. (2024). Four principles for improving statistical ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 15, 266–281. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14270>

Resnik, D. B., & Shamoo, A. E. (2011). The singapore statement on research integrity. *Accountability in Research*, 18(2), 71–75. <https://doi.org/10.1080/08989621.2011.557296>

Sugiharto, D. Y. P., Kholiq, A., Nusantara, B. A., Sutoyo, A., & Arum, L. N. (2023). The effect of guidance and counselling services based on an ecological approach to academic integrity. *Social Work and Education*, 10 (1), 27–34. <https://doi.org/10.25128/2520-6230.23.1.3>

Steneck N. H. (2006). Fostering integrity in research: definitions, current knowledge, and future directions. *Science and Engineering Ethics*, 12(1), 53–74. <https://doi.org/10.1007/pl00022268>

Winthrop University (n.d.). Biology. *Policy on Academic Integrity*. <https://www.winthrop.edu/cas/biology/policy-on-academic-integrity.aspx>

Zwart, H., & Ter Meulen, R. (2019). Addressing research integrity challenges: from penalising individual perpetrators to fostering research ecosystem quality care. *Life Sciences, Society and Policy*, 15(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40504-019-0093-6>

Received: 04.09.2025. **Accepted:** 01.10.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Лукаш О., Ткаченко Г., Сікура А., Мехед О., Кургалюк Н. Проблема доброчесності сучасних біомедичних та екологічних досліджень. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 231–237. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.21>

Cite this article in APA style as:

Lukash, O., Tkaczenko, H., Szikura, A., Mekhed, O., & Kurhaluk, N. (2025). Problema dobrochesnosti suchasnykh biomedychnykh ta ekolohichnykh doslidzhen [The problem of integrity of modern biomedical and environmental research]. *Biota. Human. Technology*, (3), 231–237. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.21> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Lukash O. [*in Ukrainian: Лукаш О.*]¹, Dr.Sc. (Biology), Prof., email: lukash2011@ukr.net

ORCID: 0000-0003-2702-6430 Scopus-Author ID: 57202369398

Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"

53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tkaczenko H. [*in Ukrainian: Ткаченко Г.*]², Dr.Sc. (Biology), Prof., email: halina.tkaczenko@upsl.edu.pl

ORCID: 0000-0003-3951-9005 Scopus-Author ID: 16032082200

Department of Zoology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk

22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

Szikura A. [*in Ukrainian: Сікура А.*]³, PhD (Biology), Prof., email: szikura.anita@kmf.org.ua

ORCID: 0000-0002-6474-4821

Department of Biology and Chemistry, Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education

6 Education Kossuth Square, 90202, Berehove, Transcarpathia, Ukraine

Mekhed O. [*in Ukrainian: Мехед О.*]⁴, PhD (Biology), D.Sc. (Pedagogy), Prof., email: mekhedolga@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9485-9139 Scopus Author ID: 6506181994

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"

53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Kurhaluk N. [*in Ukrainian: Кургалюк Н.*]⁵, D.Sc. (Biology), Prof., email: natalia.kurhaluk@upsl.edu.pl

ORCID: 0000-0002-4669-1092 Scopus-Author ID: 55520986600

Department of Animal Physiology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk

22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

¹ Study design, manuscript preparation.

² Manuscript preparation, data collection.

³ Manuscript preparation, data collection.

⁴ Manuscript preparation, data collection.

⁵ Manuscript preparation, data collection.



INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ





INSTRUCTIONS FOR AUTHORS



The article is presented in the original language (Ukrainian, Polish, English). The deadline for submitting articles is determined by the person responsible for the issue. On average, the period of publication of articles from the moment of receipt is 4 months, unless unforeseen circumstances arise.

The article must necessarily contain the following elements: statement of the problem in general form and its connection with important scientific or practical tasks; analysis of the main researches and publications on the raised problem; formulation of the purpose of the article; coverage of the theoretical-methodological and/or experimental research procedure with an indication of research methods; presentation of the main research material with justification of the obtained scientific results; research conclusions and prospects for further scientific research.

The text of the article must be carefully checked and edited by the author. An article that is not designed according to the requirements, with semantic, grammatical or stylistic errors, will not be accepted for publication. **When designing an article, be sure to use [the article template](#).**

Using the article template (BHT styles):

1. Open the article template in Microsoft Word.

All the necessary formatting styles are already built into the document and begin with the BNT mark (for example, *BHT-Heading 1 row*, *BHT-Authors 1 row*, *BHT-Article text*, etc.).

2. Enable the styles panel:

• On the “Home” tab, click the arrow in the lower right corner of the “Styles” block - a list of available styles will open.

• If necessary, select “Manage Styles” or “Show All Styles” to see the full list.

3. Apply appropriate styles to each text element:

• BHT-Title – for the title of the article

• BHT-Authors – for the list of authors

• BHT-Abstract, BHT Keywords – for the relevant sections

• BHT-Article sections – for sections and subsections

• BHT-Article text – for the main text of the article

• BHT-Figure / table caption – for captions

• BHT-References English or Ukrainian – for the list of references

• etc.

4. Do not manually change the font size, indents or spacing – all parameters are already set in the template through styles.

WARNING! It is not allowed to use data that was presented in protected dissertation studies, as well as previously published articles.

The approximate length of the article is 10–16 pages of A4 format.

Structure of the article:

1. UDC index, with a paragraph indent, in the upper left corner of the first page.
2. The next line is the name and surname of the author(s) in English. Authorship should be based on the following criteria:

- **Significant contribution** to the conception, design, data collection, or analysis and interpretation of the results of the study.
- **Participation in writing the manuscript** or critical revision of its intellectual content.
- **Approval of the final version** for publication.

Individuals who do not meet these criteria may be listed in the Acknowledgements section.

3. The next line is the title of the article in English, Ukrainian and Polish (if the article is written in Polish) or in English and Ukrainian (if the article is written in Ukrainian), in capital letters, without paragraph indent, centered. The title should be short (no more than 8 words) and reflect the content of the article.

4. The next line is the abstract in English, Polish (if the article is written in Polish) and Ukrainian (with the word **“ABSTRACT”** in the appropriate language, in the center; the text of the abstract is paragraph indented, aligned with the width of the text, single line spacing). The length is **at least 1800, but no more than 2200 characters with spaces**. The abstract should contain the following structural elements highlighted in bold text: **purpose of the work, methodology, scientific novelty, conclusions**.

5. The next line is key words (the phrase “Key words” in bold, paragraph indented, aligned to the width of the text, single line spacing). No more than five keywords.

6. Through the line – the main text of the article according to the structural elements: **statement of the problem, research results, conclusions**.

7. The text of the article should include references to all references. The editorial board strongly recommends that authors avoid using outdated and undigitized references. To do this, we recommend that authors **conduct comprehensive and up-to-date searches** in global bibliographic databases such as Scopus, Web of Science, PubMed, and others, depending on the topic of the research.

References are given in round brackets with the name(s) of the author(s) in chronological order, for example:

one author – Lukash, 2019;

two authors – Tkachuk & Zelena, 2020;

three authors and more – Kurmakova et al., 2021.

Publications without authors are cited in accordance with [APA style](#).

8. The following information is provided after the main text of the article:

Funding: Provide one of two statements: no external funding or details of a grant received. Make sure you spell the names of funding institutions correctly by checking them on an official resource. Mistakes can make it difficult to obtain funding in the future.

Ethical approval: This section is required to document the ethical approval of the study. For work with humans, indicate compliance with the Declaration of Helsinki and approval by an ethics committee. For animal studies, provide information about protocol approval. If ethical approval is not required, justify this or indicate “Not applicable”.

Informed Consent Statement: This section is required for studies involving human subjects. Confirm that consent was obtained from participants or explain its absence. This is especially important in cases where participants are identifiable – written consent for publication is required.

Data access: Describe where the data from your study can be found. Provide links to data archives. Even if no new data were created or there are access restrictions, this should be noted. For more information, see the following guidelines:

Data availability status	Recommended Data Availability Statement
Open access in repository	All primary data from the study are freely available in [repository] at [identifier].
Restricted access upon request	Due to [reason for restriction], data can be obtained by contacting the corresponding author.
Data from third-party organizations	Access is restricted by proprietary rights. Data provided by [organization] and available under [access terms] with their permission.
Temporary restriction for commercialization	After the commercialization period, data will be available in [repository] at [identifier].
Special access conditions	Due to [specific reason, e.g., data is part of an ongoing study or due to technical/time constraints], direct access to the data is restricted. For access, please contact [contact].
Open source data	Data used are available in [repository], [identifier]. Data sources: [list of public resources].
No new data	The study did not generate new data, it is based on theoretical analysis.
Data in the publication	All data are presented directly in the article and appendices. For additional information, please contact the authors.
Data on request	The authors will provide the original data of the study upon request of interested parties.

Acknowledgements: A place to acknowledge assistance that is not included in the author’s contribution or funding – administrative support, technical assistance, materials provided, etc.

Conflict of interest: Authors should disclose any financial or personal relationships that may affect the objectivity of their research. This includes:

Funding: grants, sponsorships, or other forms of financial support.

Employment/employment: work for organizations that may have an interest in the publication.

Financial interests: ownership of stocks, patents, or receipt of royalties.

Non-financial interests: personal or professional relationships that may influence the research.

Clearly state whether or not there are conflicts of interest. Describe any influence of sponsors on the conduct of the research and the publication of the results. If there is no such influence, state

this separately by stating “The authors declare no conflict of interest.” Disclosure of conflicts of interest is intended to provide transparency and allows readers to independently assess the possible influence.

The use of generative AI: The use of generative AI and AI-assisted technologies in scientific writing must be transparently declared. Authors should include a statement at the end of the manuscript at the time of initial submission. This statement will appear in the final published work, placed in a designated section (**Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process**) before the references list. An example of the required statement is as follows:

During the preparation of this manuscript, the author(s) utilized [NAME OF TOOL / SERVICE] to [PURPOSE OF USE]. Following the application of this tool/service, the author(s) thoroughly reviewed and edited the content as necessary and take full responsibility for the final published version.

Or

This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

9. The article continues with a list of references. It should contain only those sources to which reference is made in the text. The word “**References**” is written aligned. References are presented in alphabetical order using the Latin alphabet. References that are originally written in languages using the Latin script are presented in the original language, formatted according to [APA style](#) indicating the language of publication in round brackets. References, which are written in the original language with Cyrillic writing, are presented in two paragraphs as follows: first, the translation into English (not transliteration!), formatted according to [APA style](#), and in the second paragraph – in the original language according to [DSTU 8302:2015. Bibliographic reference. General provisions and rules of compilation](#).

For example:

Tkachuk, N. V., & Zelena, L. B. (2022). Biosafety in the formation of professional competences of bachelors from the courses “Microbiology and virology with the basics of immunology” and “Genetics”. *Environmental sciences*, 2(41), 41-145. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24> (in Ukrainian)

Ткачук Н. В., Зелена Л. Б. Біобезпека при формуванні фахових компетенцій бакалаврів з курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика». *Екологічні науки*. 2022. №2(41). С. 141-145. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24>

10. Tables, diagrams, figures, diagrams must be author's, not copied from other publications and numbered. They are placed without a paragraph in the center of the page directly after a link to them in the text of the article or on the next page. The word “Table” and its number are written on top aligned to the right, and the name of the table is aligned in the center on the line below. Illustrations (figures, block diagrams, graphs) must be made in one of the graphic editors. Figures can be submitted in color. Flow charts and figures (must be grouped) are additionally provided as separate files in electronic form. Illustrations are signed from the bottom aligned with the center.

11. Formulas and letter designations of quantities are typed in the MathType-Equation editor and presented in text or a separate line without paragraph indent, aligned with the center, numbered with Arabic numerals in round brackets on the right side of the page.

12. The following signs are used in the text of the article: quotation marks (" "), apostrophe ('), a dash (–) instead of a hyphen (-). A colon (:) is placed without a space.

13. Words, phrases and sentences in the Latin language in the article are highlighted in italics, regardless of the language of the article.

Examples:

... the plant extract was carried out *in vitro* by the Kirby-Bauer disc...

... are important *in vivo* biomarkers for biomonitoring...

Taxa (all) and syntaxa of vegetation are given only in Latin and highlighted in italics. The author(s) of the taxon or syntaxon should be indicated in normal font at the first mention in each structural part of the article (title, abstracts and keywords in any language, the actual text (body) of the article), as well as captions to tables and figures.

If species belonging to one genus are mentioned in the article, and between these mentions there are no mentions of species of other genera, then after the first writing of the full species name, the name of the species should be given further in the text, shortening the name of the genus to the first letter with a dot. This rule applies within any structural part of the article, as well as captions to tables and figures.

An example of writing the Latin names of taxa and syn taxa in one article:

PLATANUS L. GENUS IN TRANSCARPATHIA

РІД *PLATANUS* L. НА ЗАКАРПАТТІ

Abstract

... the coexistence of other *Platanus* L. species... *Picea abies* (L.) Karst.

... the study of the genus *Platanus* in the ... as *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. is a...

... the genus *Platanus* in Transcarpathia will.... *Picea abies*...

The spruce forest communities of the Dnieper part of Eastern Polesie belong to the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 and *Querco-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 associations of the *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 alliance of the *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 order of the *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 class.

The natural spruce forest of the *Querco-Piceetum* association...

Key words: introduced plants, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L., Transcarpathia

Анотація

... міжвидових гібридів роду *Platanus* L. ...is *Picea abies* (L.) Karst.

... гібриди роду *Platanus* ... *Picea abies*...

... належить до виду *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. і має статусу...

Угрупування ялинових лісів придніпровської частини Східного Полісся належать до асоціацій *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 та *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 з союзу *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 порядку *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939.

Природний ялинник асоціації *Quercu-Piceetum*...

Ключові слова: Закарпаття, рослини-інтродуценти, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L.

Formulation of the problem

In ... two primary progenitors: *Platanus orientalis* L. and *P. occidentalis* L. Additionally, there are several natural hybrid species, including the *P. acerifolia* (Aiton) Willd., *P. cuneate* Willd., *P. digitata* Gord., *P. hispanica* Münchh. and others.

Results and discussion

P. occidentalis also known simply as “sycamore”, ..., *Ficus sycómorus* L., which is ... and even the *Acer pseudoplatanus* L....

...*Platanus orientalis* along with...

Fig. 1: *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd (photo by Ivan Dzurenko)

...*P. occidentalis* is notably affected by the fungus *Gloeosporium nervisequum* (Fuckel) Sacc....

... *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association...

Table. Structure of the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association

...*Eu-Piceetum* is formed in an ecotone area ...

... both *Platanus occidentalis* and *P. acerifolia* grew...

... phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 and *Robinietaea* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 classes are formed...

Conclusions

... Among these species is *P. acerifolia*.

..., phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* class is...

14. After References, information about each author is provided **in English:**

▪First line – **Surname, Name [in Ukrainian: Прізвище Ім'я]** ¹[\[i\]](#), position, scientific degree and academic title (if available), e-mail.

▪The next line is the mandatory ORCID of the author (the profile must be filled and open for public viewing).

▪The next line is the author's ResearcherID (if available), the author's Scopus-AuthorID (if available).

▪The next line is an indication of the organization in which the author works.

▪The next line is a mandatory indication of the full address of the organization where the author works, indicating the index and country.

15. At the end of the page, the date it was sent to the editorial office of the journal is indicated.

The article is accompanied by a list of 2-3 potential reviewers (PhD and/or Doctors of Sciences who carry out research in a specialty that corresponds to the topic of the material submitted for publication, and are authors (co-authors) of a total of at least three publications in scientific publications included in category “A” and/or category “B” of the List of scientific specialized publications of Ukraine, and /or in foreign publications indexed in the Web of Science Core Collection and/or Scopus databases for the relevant specialty, published within the last five years) with an indication of their place of work, scientific interests, ORCID and Google Scholar, e-mail.

Submission, publication and access to published articles are free.

The text of the article and additional materials should be sent by e-mail to the address lukash2011@ukr.net or bht.journal.nuchc@gmail (indicate the author’s last name in the letter).

EDITORS OF THE JORNAL ARE NOT RESPONSIBLE FOR THE CONTENT OF THE ARTICLES AND MAY NOT SHARE THE OPINION OF THE AUTHOR!

Appeals and complaints

In case of disagreement with the editorial decision, authors have the right to file an appeal. To do this, a written justification must be sent to the editor-in-chief. The appeal will be considered by the editorial board, and the decision based on the results of the review is final.

Corrections and withdrawal of articles

If significant errors or ethical violations are found in a published article, the journal may:

▪**Publish a correction** (erratum) in the case of minor errors that do not affect the main results.

▪**Withdraw the article** in the case of serious violations, such as plagiarism or falsification of data.

The withdrawal procedure involves publishing an appropriate notice and marking the article as withdrawn in all versions.

Research reporting standards

Authors must adhere to internationally recognized reporting standards, such as CONSORT ([Consolidated Standarts of Reporting Trials](#)) for randomized trials, PRISMA ([Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses](#)) for systematic reviews, and others, depending on the type of study. This will ensure transparency and reproducibility of results.

[i]¹ Indicate the contribution of the corresponding (1 – first, 2 – second, etc.) author to the publication choosing from the list: 1) study design, 2) data collection, 3) statistical analysis, 4) manuscript preparation, 5) funds collection.

КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ

Стаття подається мовою оригіналу (українською, польською, англійською). Терміни подачі статей визначається відповідальним за випуск. В середньому термін публікації статей з моменту надходження становить 4 місяці, якщо не виникнуть непередбачені обставини.

Стаття обов'язково повинна містити такі елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями; аналіз основних досліджень і публікацій з порушеної проблеми; формулювання мети статті; висвітлення процедури теоретико-методологічного та/або експериментального дослідження із зазначенням методів дослідження; виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з дослідження і перспективи подальших наукових розвідок.

Текст статті має бути ретельно перевірений і відредагований автором. Стаття, не оформлена згідно з вимогами, зі смисловими, граматичними чи стилістичними помилками, до друку не приймається. **При оформленні статті обов'язково використовуйте [шаблон статті](#).** Використання шаблону статті (стилі ВНТ):

1. Відкрийте шаблон статті у Microsoft Word.

Усі потрібні стилі форматування вже вбудовані в документ і починаються з позначки ВНТ (наприклад, *ВНТ-Заголовок 1 ряд*, *ВНТ-Автори 1 ряд*, *ВНТ-Текст статті* тощо).

2. Увімкніть панель стилів:

- На вкладці «Основне» (Home) натисніть стрілочку у правому нижньому куті блоку «Стилі» – відкриється список доступних стилів.
- За потреби виберіть «Керування стилями» або «Показати всі стилі», щоб бачити повний перелік.

3. Застосовуйте відповідні стилі до кожного елемента тексту:

- ВНТ-Заголовок – для назви статті
- ВНТ-Автори – для списку авторів
- ВНТ-Анотація, ВНТ Ключові слова – для відповідних розділів
- ВНТ-Розділи статті – для розділів і підрозділів
- ВНТ-Текст статті – для основного тексту статті
- ВНТ-Підпис рисунка / таблиці – для підписів
- ВНТ-Список літератури англ. чи укр. – для списку літератури
- тощо

4. Не змінюйте вручну розмір шрифту, відступи чи інтервали - усі параметри вже задані в шаблоні через стилі.

УВАГА! Не допускається використання даних, які було представлено у захищених дисертаційних дослідженнях, а також опублікованих раніше статтях.

Орієнтовний обсяг статті – 10–16 сторінок формату А4.

Структура статті:

1. Індекс УДК, з абзацним відступом, у верхньому лівому куті першої сторінки.

2. Наступний рядок – ім'я та прізвище автора (авторів) англійською мовою. Авторство повинно ґрунтуватися на таких критеріях:

- **Значний внесок** у концепцію, дизайн, збір даних або аналіз та інтерпретацію результатів дослідження.
- **Участь у написанні рукопису** або критичний перегляд його інтелектуального змісту.
- **Затвердження остаточної версії** для публікації.

Особи, які не відповідають цим критеріям, можуть бути перелічені в розділі «Подяки».

3. Наступний рядок – назва статті англійською, українською та польською (якщо стаття написана польською мовою) або англійською та українською (якщо стаття написана українською мовою), великими буквами, без абзацного відступу, вирівняно центром. Назва має бути короткою (не більше 8 слів) і відображати зміст статті.

4. Наступний рядок – анотація англійською, польською (якщо стаття написана польською) та українською мовами (із зазначенням слова «**АНОТАЦІЯ**» відповідною мовою, по центру; текст анотації з абзацним відступом, вирівняно шириною тексту, інтервал між рядками одинарний). Обсяг – **не менше 1800, але не більше 2200 символів з пробілами**. Анотація повинна містити виділені жирним текстом наступні структурні елементи: **мета роботи, методологія, наукова новизна, висновки**.

5. Наступний рядок – ключові слова (словосполучення «Ключові слова» напівжирним шрифтом, абзацний відступ, вирівняно шириною тексту, інтервал між рядками одинарний). Не більше п'яти ключових слів.

6. Через рядок – основний текст статті відповідно до структурних елементів: **постановка проблеми, результати дослідження, висновки**.

7. У тексті статті мають бути посилання на всі джерела у списку літератури. Редакція наполегливо рекомендує авторам уникати використання застарілих та неоцифрованих посилань. Для цього рекомендуємо авторам **проводити комплексні та актуальні пошуки** в глобальних бібліографічних базах даних, таких як Scopus, Web of Science, PubMed та інші, залежно від тематики дослідження.

Посилання на літературні джерела подаються у круглих дужках з вказанням прізвищ(а) автора(ів) у хронологічному порядку, наприклад:

один автор – Lukash, 2019;

два автори – Tkachuk & Zelena, 2020;

три автори та більше – Kurmakova et al., 2021.

Посилання на видання без авторів здійснюється відповідно до правил [APA стилю](#).

8. Після основного тексту статті подається наступна інформація:

Фінансування: Вкажіть одне з двох тверджень: відсутність зовнішнього фінансування або деталі про отриманий грант. Переконайтеся у правильності написання назв фінансових установ, перевіrivши їх на офіційному ресурсі. Помилки можуть ускладнити отримання фінансування в майбутньому.

Етичне схвалення: Цей розділ потрібен для документування етичного схвалення дослідження. Для робіт з людьми вкажіть відповідність Гельсінській декларації та схвалення етичного комітету. Для досліджень на тваринах надайте інформацію про схвалення протоколу. Якщо етичне схвалення не потрібне, обґрунтуйте це або вкажіть «Не застосовується».

Інформована згода: Обов'язковий розділ для досліджень за участю людей. Підтвердіть отримання згоди від учасників або поясніть її відсутність. Особливо важливо для випадків, коли учасників можна ідентифікувати – потрібна письмова згода на публікацію.

Доступ до даних: Опишіть, де можна знайти дані вашого дослідження. Надайте посилання на архіви даних. Навіть якщо нові дані не створювались або є обмеження доступу, потрібно це зазначити. Детальніше дивіться у наступних вказівках:

Статус доступності даних	Рекомендована заява про доступність даних
Відкритий доступ у репозиторії	Усі первинні дані дослідження знаходяться у вільному доступі в [репозиторій] за посиланням [ідентифікатор].
Обмежений доступ за запитом	Через [причина обмеження] дані можна отримати, звернувшись до відповідального автора.
Дані від сторонніх організацій	Доступ обмежений правами власності. Дані надані [організація] і доступні [умови доступу] за їхнім дозволом.
Тимчасове обмеження для комерціалізації	Після завершення періоду комерціалізації дані стануть доступними в [репозиторій] за посиланням [ідентифікатор].
Особливі умови доступу	Через [конкретна причина, наприклад, дані є частиною поточного дослідження або через технічні/часові обмеження] прямий доступ до даних обмежений. Для отримання доступу звертайтеся до [контакт].
Дані з відкритих джерел	Використані дані доступні в [репозиторій], [ідентифікатор]. Джерела даних: [список публічних ресурсів].
Відсутність нових даних	Дослідження не створювало нових даних, базується на теоретичному аналізі.
Дані у складі публікації	Усі дані представлені безпосередньо в статті та додатках. За додатковою інформацією звертайтеся до авторів.
Дані за запитом	Первинні дані дослідження автори нададуть на запит зацікавлених осіб.

Подяки: Місце для визнання допомоги, що не входить до авторського внеску чи фінансування – адміністративна підтримка, технічна допомога, надані матеріали тощо.

Конфлікт інтересів: автори повинні розкривати будь-які фінансові чи особисті зв'язки, які можуть вплинути на об'єктивність їхнього дослідження. Це включає:

- **Фінансування:** гранти, спонсорство або інші форми фінансової підтримки.
- **Зайнятість/працевлаштування:** робота в організаціях, які можуть мати інтерес у публікації.
- **Фінансові інтереси:** володіння акціями, патентами або отримання гонорарів.
- **Нефінансові інтереси:** особисті або професійні відносини, які можуть вплинути на дослідження.

Чітко заявіть про наявність або відсутність конфліктів інтересів. Опишіть будь-який вплив спонсорів на проведення дослідження та публікацію результатів. За відсутності такого впливу, вкажіть це окремо, зазначивши «Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів». Розкриття конфлікту інтересів спрямоване на забезпечення прозорості та дозволяє читачам самостійно оцінити можливий вплив.

Використання генеративного ШІ: Використання генеративного штучного інтелекту та технологій за допомогою штучного інтелекту в наукових роботах має бути прозоро декларовано. Автори повинні включити заяву в кінці рукопису під час першого подання. Це твердження з'явиться в остаточній опублікованій роботі, розміщеній у спеціальному розділі (**Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання**) перед списком літератури. Приклад необхідної заяви виглядає наступним чином:

Під час підготовки цього рукопису автор (автори) використовував (використовували) [НАЗВА ІНСТРУМЕНТА/СЕРВІСУ] для [МЕТИ ВИКОРИСТАННЯ]. Після використання цього інструменту/сервісу автор(и) ретельно переглянули та відредагували вміст за потреби та несуть повну відповідальність за остаточну опубліковану версію.

Або

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних.

9. Далі подається список літератури. У ньому мають бути лише ті джерела, на які зроблено посилання у тексті. Слово «**References**» пишеться вирівняно. Список посилань на джерела інформації подається у алфавітній послідовності за латиницею. Джерела, які в оригіналі написані мовами, де використовується латинський шрифт, подаються мовою оригіналу, оформленому за [АРА стилем](#). Джерела, які написані у оригіналу мовою з кириличним написанням, подаються двома абзацами таким чином: спочатку переклад англійською мовою (не транслітерація!), оформлений за [АРА стилем](#) із зазначенням мови видання у круглих дужках, а у другому абзаці – мовою оригіналу за [ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання](#).

Наприклад:

Tkachuk, N. V., & Zelena, L. B. (2022). Biosafety in the formation of professional competences of bachelors from the courses "Microbiology and virology with the basics of immunology" and "Genetics". *Environmental sciences*, 2(41), 41-145. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24> (in Ukrainian)

Ткачук Н.В., Зелена Л.Б. Біобезпека при формуванні фахових компетенцій бакалаврів з курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика». *Екологічні науки*. 2022. №2(41). С.141-145. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24>

10. Таблиці, схеми, рисунки, діаграми повинні бути авторськими, а не скопійованими з інших видань та пронумеровані. Розміщуються без абзацу в центрі сторінки безпосередньо після посилання на них у тексті статті або на наступній сторінці. Слово «Таблиця» та її номер пишуться зверху вирівняно справа, а рядком нижче вирівняно центром – назва таблиці. Ілюстрації (рисунки, блок-схеми, графіки) повинні бути виконані в одному з графічних редакторів. Рисунки можна подавати кольоровими. Блок-схеми та рисунки (повинні бути згруповані) додатково подаються окремими файлами в електронному вигляді. Ілюстрації підписуються знизу вирівняно центром.

11. Формули та буквені позначення величин набираються у редакторі MathType-Equation і подаються в тексті або окремому рядку без абзацного відступу вирівняно центром, нумеруються арабськими цифрами в круглих дужках з правого боку сторінки.

12. У тексті статті вживаються такі знаки: лапки – (« »), апостроф – ('), через пробіл тире (–), а не дефіс (-). Двокрапка (:) ставиться без пробілу.

13. Слова, словосполучення та речення латинською мовою у статті виділяють курсивом, незалежно від мови написання статті.

Приклади:

... the plant extract was carried out *in vitro* by the Kirby-Bauer disc...

... є важливими біомаркерами *in vivo* для біомоніторингу...

Таксони (усі) та синтаксони рослинності наводять лише латинською мовою і виділяють курсивом. Звичайним шрифтом слід наводити автора(-ів) таксону чи синтаксону за першого згадування у кожній структурній частині статті (назві, анотаціях та ключових словах будь-якою мовою, власне тексті (тілі) статті), а також підписах до таблиць та рисунків.

Якщо у статті згадуються види, які належать до одного роду, і між цими згадуваннями немає згадувань видів інших родів, то після першого написання повної видової назви далі у тексті назву виду слід подавати, скорочуючи назву роду до першої літери з крапкою. Це правило застосовується у межах будь-якої структурної частини статті, а також підписів до таблиць та рисунків.

Приклад написання латинських назв таксонів і син таксонів у одній статті:

PLATANUS L. GENUS IN TRANSCARPATIA

РІД *PLATANUS* L. НА ЗАКАРПАТТІ

Abstract

... the coexistence of other *Platanus* L. species... *Picea abies* (L.) Karst.

... the study of the genus *Platanus* in the ... as *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. is a...

... the genus *Platanus* in Transcarpathia will.... *Picea abies*...

The spruce forest communities of the Dnieper part of Eastern Polesie belong to the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 and *Querco-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 associations of the *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 alliance of the *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 order of the *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 class.

The natural spruce forest of the *Querco-Piceetum* association...

Key words: introduced plants, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L., Transcarpathia

Анотація

... міжвидових гібридів роду *Platanus* L. ...is *Picea abies* (L.) Karst.

... гібриди роду *Platanus* ... *Picea abies*...

... належить до виду *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. і має статусу...

Угрупування ялинових лісів придніпровської частини Східного Полісся належать до асоціацій *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 та *Querco-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 з союзу *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 порядку *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939.

Природний ялиник асоціації *Querco-Piceetum*...

Ключові слова: Закарпаття, рослини-інтродуценти, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L.

Formulation of the problem

In ... two primary progenitors: *Platanus orientalis* L. and *P. occidentalis* L. Additionally, there are several natural hybrid species, including the *P. acerifolia* (Aiton) Willd., *P. cuneata* Willd., *P. digitata* Gord., *P. hispanica* Münchh. and others.

Results and discussion

P. occidentalis also known simply as “sycamore”, ..., *Ficus sycómorus* L., which is ... and even the *Acer pseudoplatanus* L....

...*Platanus orientalis* along with...

Fig. 1: *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd (photo by Ivan Dzurenko)

...*P. occidentalis* is notably affected by the fungus *Gloeosporium nervisequum* (Fuckel) Sacc....

... *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association...

Table. Structure of the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association

...*Eu-Piceetum* is formed in an ecotone area ...

... both *Platanus occidentalis* and *P. acerifolia* grew...

... phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 and *Robinietae* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 classes are formed...

Conclusions

... Among these species is *P. acerifolia*.

..., phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* class is...

14. Після списку літературних джерел надається інформація про кожного автора **англійською мовою**:

- Перший рядок – **Surname, Name [in Ukrainian: Прізвище Ім'я]** ¹[i], посада, науковий ступінь та вчене звання (за наявності), e-mail.
- Наступний рядок – обов'язкове зазначення *ORCID* автора (профіль повинен бути заповнений та відкритий для перегляду громадськості).
- Наступний рядок – зазначення *ResearcherID* автора (за наявності), зазначення *Scopus–AuthorID* автора (за наявності).
- Наступний рядок – зазначення організації, в якій працює автор.
- Наступний рядок – обов'язкове зазначення повної адреси організації, у якій працює автор, з указанням індексу та країни.

15. У кінці сторінки вказується дата її надсилання у редакцію журналу

До статті додається список 2-3 потенційних рецензентів (кандидатів наук та/або докторів наук, які здійснюють дослідження за спеціальністю, що відповідає тематиці поданого для публікації матеріалу, і є авторами (співавторами) загальною кількістю не менше трьох публікацій у наукових виданнях, включених до категорії «А» та/або категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України, та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus за відповідною спеціальністю, оприлюднених упродовж останніх п'яти років) із зазначенням їх місця роботи, наукових інтересів, ORCID та Google Scholar, e-mail.

Подання матеріалів, публікація та доступ до опублікованих статей безкоштовно.

Текст статті і додаткові матеріали надсилати електронною поштою на адресу lukash2011@ukr.net або bht.journal.nuchc@gmail.com (у листі вказати прізвище автора).

РЕДАКЦІЯ ЖУРНАЛУ НЕ НЕСЕ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ЗМІСТ СТАТЕЙ ТА МОЖЕ НЕ ПОДІЛЯТИ ДУМКУ АВТОРА!

Апеляції та оскарження

У разі незгоди з редакційним рішенням автори мають право подати апеляцію. Для цього необхідно надіслати письмове обґрунтування головному редактору. Апеляція буде розглянута редакційною колегією, і рішення за результатами розгляду є остаточним.

Виправлення та відкликання статей

Якщо в опублікованій статті виявлено суттєві помилки або порушення етики, журнал може:

- **Опублікувати виправлення (erratum)** у разі незначних помилок, які не впливають на основні результати.
- **Відкликати статтю** у випадку серйозних порушень, таких як плагіат або фальсифікація даних.

Процедура відкликання передбачає публікацію відповідного повідомлення та позначення статті як відкликаної у всіх версіях.

Стандарти звітності про дослідження

Автори повинні дотримуватися міжнародно визнаних стандартів звітності, таких як CONSORT ([Consolidated Standards of Reporting Trials](#)) для рандомізованих досліджень, PRISMA ([Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses](#)) для систематичних оглядів та інших, залежно від типу дослідження. Це забезпечить прозорість та відтворюваність результатів.

[\[i\]](#)¹ Вказати внесок відповідного (1 – першого, 2 – другого тощо) автора у публікацію, обравши з переліку: 1) study design, 2) data collection, 3) statistical analysis, 4) manuscript preparation, 5) funds collection.

SCIENTIFIC EDITION



BHT : Biota. Human. Technology / Національний університет
«Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка; гол. ред.
О.В. Лукаш. 2025. №3. 254 с.

Designer – N. Tkachuk

Photo of the title page – created by WordClouds.com

Editing – O. Lukash, I. Kurmakova, O. Syza, H. Tkaczenko, N. Tkachuk, O. Klimova

Administrator of site – N. Tkachuk

Designer cover – N. Tkachuk

Passed for printing
26.11.2025 Format A4

Editorial and Publishing Department of T.H. Shevchenko National University
“Chernihiv Colehium”, 53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013,
Ukraine

Phone: +38(046)265-1799

nuchk.tipograf@gmail.com