



Наукові закиски

**Тернопільського національного
педагогічного університету
ім. Володимира Гнатюка.
Серія Біологія**

**Scientific Issues
Ternopil Volodymyr Hnatiuk
National Pedagogical University.
Series Biology**



**86 (1)
2026**

*Друкується за рішенням вченої ради
Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка
від 24.03.2026 р. (протокол № 14)*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:

Н. М. Дробик – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна

Заступники головного редактора:

В. В. Грубінко – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна

О. Б. Столяр – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна

Відповідальний секретар:

Г. М. Голіней – к.с.-г.н., доцент, Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна

Члени редакційної колегії:

О. І. Боднар – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна; **А. І. Герц** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна; **Н. В. Герц** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна; **В. М. Говоруха** – доктор габлітований, проф., Опольський університет, Польща; **Л. Р. Грицак** – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна; **Д. І. Гудков** – д.б.н., проф., Інститут гідробіології НАН України, Україна; **М. М. Данченко** – к.б.н., Центр біології рослин та біорізноманіття, Словачка Республіка; **А. І. Довгалоук** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, Україна; **Р. Дурак** – д.б.н., доцент, Жешувський університет, Польща; **А. М. Заморока** – к.б.н., доцент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Україна; **В. І. Йосченко** – доктор філософії, професор, Університет Фукусіми, Японія; **І. Я. Капрусь** – д.б.н., проф., Державний природознавчий музей НАН України, Україна; **В. З. Курант** – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна; **О. В. Лукаш** – д.б.н., проф., Національний університет «Чернігівський колегіум» ім. Т. Г. Шевченка, Україна; **Л. Манусаджіанас** – доктор філософії, проф., Центр природничих досліджень, Литва; **С. В. Пида** – д.с.-г.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна; **С. В. Поливаний** – к.б.н., доцент, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Україна; **М. З. Прокоп'як** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна; **М. П. Радзейовська** – д.б.н., проф., Ченстоховська політехніка, Польща; **М. О. Твардовська** – к.б.н., Інститут молекулярної біології та генетики НАН України, Україна; **В. О. Хоменчук** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна; **В. І. Шейко** – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Україна.

Коректори: О. С. Вербовецька

Т. І. Белей

Комп'ютерна верстка:

О. Б. Мацюк

Адреса редакції:

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. Максима Кривоноса, 2

м. Тернопіль, 46027

E-mail: journal@chem-bio.com.ua

http://journals.chem-bio.com.ua

Збірник включено до Переліку фахових видань України
(категорія "Б", наказ МОН України від 2.07.2020 року № 886).

Свідоцтво про держреєстрацію: КВ № 15884-4356Р від 27.10.2009.

Українські та латинські назви рослин і тварин наведені за авторським текстом

За зміст, авторську позицію та достовірність наведених у статтях фактів, цитувань відповідальність несуть автори.

© Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

UDC 57(062.552)
H 34

Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University.
Series Biology. 2026. T. 86, № 1. 70 p.

*Published by the decision of the Academic Council
of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
from 24.03.2026 (protocol № 14)*

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

N. M. Drobyk – Dr. Sci. in Biol., Prof., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

Deputy editors

V. V. Hrubinko – Dr. Sci. in Biol., Prof., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

O. B. Stoliar – Dr. Sci. in Biol., Prof., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

Responsible secretary

H. M. Holinei – PhD. in Agr., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

Editorial board

O. I. Bodnar – Dr. Sci. in Biol., Prof., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine; **A. I. Herts** – PhD. in Biol., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine; **N. V. Herts** – PhD. in Biol., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine; **V. Hovorukha** – Dr. Sci., Prof., University of Opole, Poland; **L. R. Hrytsak** – Dr. Sci. in Biol., Prof., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine; **D. I. Gudkov** – Dr. Sci. in Biol., Prof., Institute of Hydrobiology of NASU, Ukraine; **M. Danchenko** – PhD. in Biol., Institute of Plant Genetics and Biotechnology, Slovakia; **A. I. Dovgalyuk** – PhD. in Biol., I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ukraine; **R. Durak** – Dr. Sci. in Biol., University of Rzeszów, Poland; **A. M. Zamoroka** – PhD. in Biol., Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ukraine; **V. Yoschenko** – PhD. in Biol., Prof., Fukushima University, Japan; **I. J. Kaprus** – Dr. Sci. in Biol., Prof., National Museum of Natural History of NAS of Ukraine, Ukraine; **V. O. Khomenchuk** – PhD. in Biol., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine; **V. Z. Kurant** – Dr. Sci. in Biol., Prof., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine; **O. V. Lukash** – Dr. Sci. in Biol., Prof., National Taras Shevchenko University “Chernihiv Collegium”, Ukraine; **L. Manusadžianas** – PhD., Prof., State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Lithuania; **S. V. Polyvanyi** – PhD. in Biol., Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Ukraine; **S. V. Pyda** – Dr. Sci. in Agr., Prof., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine; **M. Z. Prokopiak** – PhD. in Biol., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine; **M. Radziejowska** – Dr. Sci. in Biol., Prof., Czestochowa University of Technology, Poland; **M. O. Twardovska** – PhD. in Biol., Institute of Molecular Biology and Genetics, NAS of Ukraine, Ukraine; **V. I. Sheiko** – Dr. Sci. in Biol., Prof., Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine.

Proofreader:

O. S. Verbovetska

T. I. Belei

Computer editing:

O. B. Matsiuk

Editorial office address:

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University

2 M. Kryvonosa Str. Ternopil,

46027 Ukraine

E-mail: journal@chem-bio.com.ua

http://journals.chem-bio.com.ua

The journal is included in the list of Research Works of Ukraine
(category B, order of ministry of education and science of Ukraine, July 2, 2020 № 886).

Certificate KB № 15884-4356P, October 27, 2009.

Ukrainian and Latin plant and animal terms are cited according to the author's version

Responsibility for the information and views set out in these publications lies entirely with the authors.

© Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University

ЗМІСТ

БОТАНІКА

Л. Р. ГРИЦАК, В. Г. КИЯК, В. М. БІЛОНОГА
БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ
ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕТАПОПУЛЯЦІЙ *GENTIANA ASCAULIS* L.
В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ 6

Н. М. ПРОКОПІВ
АДВЕНТИВНІ ДЕРЕВНІ РОСЛИНИ УРБАНОФЛОРИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА..... 16

БІОХІМІЯ

V. KHOMA, K. YUNKO, V. MARTYNIUK, L. GNATYSHYNA, E. BEREZHENKO,
B. GYLYTE, R. KARITONAS, L. MANUSADŽIANAS, O. STOLIAR
EFFECT OF CO-EXPOSURE TO GADOLINIUM, YTTRIUM AND CA-CHANNEL
BLOCKER NIFEDIPINE ON BIVALVE MOLLUSCS. MODEL EXAMPLE OF
MULTIPLE ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS INTERACTION 23

M. NEMERKO, K. YUNKO, O. STOLIAR
THE EFFECT OF ZINC AND RARE EARTH ELEMENTS ON METALLOTHIONEIN
OF BIVALVE MOLLUSC RECONSTITUTED *IN VITRO* 31

ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ ТА ТВАРИН

Д. П. КАРНАУШЕНКО
ВПЛИВ ПСИХОСОЦІАЛЬНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ
СЕРЕДОВИЩА НА ПОКАЗНИКИ ЛЕЙКОЦИТАРНОЇ ФОРМУЛИ
В ЗДОРОВОЇ ГРУПИ НАСЕЛЕННЯ 40

В. В. СТРЕЛЬЦОВА, О. С. ВОЛОШИН, В. Г. ОМЕЛЬЯНЕНКО
ВПЛИВ ІМУНОСТИМУЛЯЦІЇ НА СПРИЙНЯТТЯ ТА ОБРОБКУ
ПОДРАЗНИКІВ, АДРЕСОВАНИХ І ТА ІІ СИГНАЛЬНИМ СИСТЕМАМ,
НА ФОНІ НАБУТОЇ КОРОТКОЗОРОСТІ ВИСОКОГО СТУПЕНЯ..... 47

В. І. ШЕЙКО, Д. А. КАЗНАЧЕСЬ
МІКРОКРИСТАЛІЗАЦІЯ СЛИНИ НА ФОНІ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ
ТА ВРОДЖЕНОЇ ПАТОЛОГІЇ ОРГАНУ ЗОРУ (ТОТАЛЬНА АБО
ЧАСТКОВА СЛІПОТА) 55

ОГЛЯДИ

С. Р. БУРИН, О. В. СОРОКА, М. З. ПРОКОП'ЯК, Н. М. ДРОБИК
БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ ВИДІВ РОДУ *ASTER* L..... 62

CONTENTS

BOTANY

- L. R. HRYTSAK, V. H. KYIAK, V. M. BILONOHA
BIOLOGICAL FEATURES OF THE FORMATION AND FUNCTIONING
OF METAPOPOPULATIONS OF GENTIANA ACAULIS L.
IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS 6
- N. M. PROKOPIV
ADVENTIVE WOODY PLANTS OF IVANO-FRANKIVSK URBAN FLORA 16

BIOCHEMISTRY

- V. KHOMA, K. YUNKO, V. MARTYNIUK, L. GNATYSHYNA, E. BEREZHENKO,
B. GYLYTE, R. KARITONAS, L. MANUSADŽIANAS, O. STOLIAR
EFFECT OF CO-EXPOSURE TO GADOLINIUM, YTTRIUM AND CA-CHANNEL
BLOCKER NIFEDIPINE ON BIVALVE MOLLUSCS. MODEL EXAMPLE
OF MULTIPLE ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS INTERACTION 23
- M. NEMERKO, K. YUNKO, O. STOLIAR
THE EFFECT OF ZINC AND RARE EARTH ELEMENTS ON METALLOTHIONEIN
OF BIVALVE MOLLUSC RECONSTITUTED *IN VITRO* 31

PHYSIOLOGY OF HUMANS AND ANIMALS

- D. P. KARNAUSHENKO
THE INFLUENCE OF PSYCHOSOCIAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS ON
LEUKOCYTE FORMULA INDICATORS IN A HEALTHY POPULATION GROUP 40
- V. V. STRELTSOVA, O. S. VOLOSHYN, V. H. OMELIANENKO
NEURODYNAMIC FUNCTION AND SIGNAL SYSTEM PROCESSING
IN INDIVIDUALS WITH HIGH-DEGREE ACQUIRED MYOPIA
UNDER IMMUNOSTIMULATION 47
- V. SHEIKO, D. KAZNACHEIEV
MICROCRYSTALLIZATION OF SALIVA AGAINST THE BACKGROUND
OF PHYSICAL ACTIVITY AND CONGENITAL VISUAL IMPAIRMENTS
(TOTAL OR PARTIAL BLINDNESS) 55

REVIEWS

- S. R. BURYN, O. V. SOROKA, M. Z. PROKOPIAK, N. M. DROBYK
BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS OF *ASTER* L. SPECIES..... 62

БОТАНІКА

УДК 581.5:582.675.1(477.8)

doi: 10.25128/2078-2357.26.1.1

¹Л. Р. ГРИЦАК , ²В. Г. КИЯК , ²В. М. БЛОНОГА 

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

²Інститут екології Карпат НАН України
вул. Козельницька, 4, Львів, 79026

E-mail: hrytsak1972@gmail.com

БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕТАПОПУЛЯЦІЙ *GENTIANA* *ACAULIS* L. В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ

У статті висвітлено біологічні особливості формування та функціонування метапопуляцій *Gentiana acaulis* L. в Українських Карпатах, з акцентом на закономірності їх просторово-часової організації та механізми підтримання життєздатності в умовах природної та антропогенної динаміки середовища. Проаналізовано просторову структуру, вікову організацію, віталітетні характеристики та особливості самопідтримання часткових популяцій виду в різних ектопах Чорногірського масиву та Свидовця, що дозволило виявити суттєві відмінності між локальними популяційними системами залежно від екологічних умов.

Показано, що структура метапопуляцій *G. acaulis* є мозаїчною та динамічною і значною мірою визначається поєднанням абіотичних факторів (висота над рівнем моря, зволоження, освітлення, ґрунтові умови) та рівнем антропогенного впливу. Встановлено, що за сприятливих екологічних умов у стабільних ценозах провідну роль у відновленні популяцій відіграє генеративне розмноження, яке забезпечує високу генетичну різноманітність та просторове розширення популяцій. Натомість у стресових або порушених умовах (рекреаційне навантаження, витоптування, заростання чагарниками, зміна режиму природокористування) зростає частка вегетативного відновлення як більш стійкого, але менш ефективного з точки зору генетичного оновлення механізму.

Виявлено суттєву трансформацію вікових спектрів та віталітетної структури субпопуляцій під впливом антропогенних і сукцесійних змін. Зокрема, спостерігається зменшення частки генеративних особин, порушення процесів насінневого поновлення, а також тенденція до «старіння» популяцій, що проявляється у переважанні віргінільних і сенільних станів. Такі зміни супроводжуються зниженням загальної життєздатності популяцій і їх здатності до просторової експансії.

Доведено, що метапопуляції *G. acaulis* характеризуються високою екологічною пластичністю, гетерогенністю онтогенетичних станів та комбінованим типом самопідтримання, який поєднує генеративні й вегетативні стратегії. Саме така стратегічна гнучкість забезпечує довготривале існування виду в умовах мінливої високогірної екосистеми.



©2026 Л. Р. Грицак та співавт. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

Отримані результати поглиблюють уявлення про механізми стійкості рідкісних високогірних видів рослин та можуть бути використані як наукова основа для розробки ефективних заходів їх охорони, моніторингу та збереження в Українських Карпатах.

Ключові слова: *Gentiana acaulis* L., метапопуляція, Українські Карпати, просторова організація метапопуляцій, вікова структура, віталітет, генеративне розмноження, вегетативне розмноження, самопідтримання популяції.

Gentiana acaulis L. (Gentianaceae) – тирлич безстеблій (родина Тирличеві), поширений у альпійському та субальпійському поясах гірських систем Центральної і Південної Європи. В Україні перебуває на північно-східній межі ареалу у гірських масивах Чорногора, Свидовця, Мармарошу, Чивчин, зрідка у Горганах і Бескидах здебільшого на висоті 1500–2000 м н. р. м. на задернованих лучних ділянках та кам'янистих осипах [5]. Поодинокі популяції виявлені також на нижчих рівнях, зокрема оселище на г. Чорна Ріпа розташоване на висоті 1050 м н. р. м. *G. acaulis* входить до складу асоціацій *Cystopteridetum fragilis*, *Rumicetum scutati-Rhodioletum roseae* (кл. *Asplenietea trichomanis*) [7]. Декоративна рослина, використовується у народній медицині. Перебуває під охороною у багатьох країнах, занесена до Червоної книги України [9].

G. acaulis – багаторічна трав'яна рослина з розвиненою мережею висхідних і горизонтальних кореневищ та мичкуватою кореневою системою, гемікриптофіт. Листки у прикореневій розетці, сидячі довгасто-еліптичні, цілокраї, звужені до основи, з тупою верхівкою, голі. Стебла поодинокі прямостоячі, 5–10 см, при плодах до 15 см заввишки, несуть єдину пару дрібних листків, зрослих при основі. Квітки великі поодинокі зі зрослолистою п'ятизубчастою чашечкою та лійкоподібно-дзвоникуватим віночком; трубочка 3–5 см завдовжки з коротким відгином, темно-синя. Плід – коробочка. Цвіте у травні-липні, плодоносить у липні-серпні. Розмноження переважно вегетативне, зрідка насіннєве. Популяції займають незначні площі (менше 0,1 га), переважно фрагментовані.

Під час попередніх досліджень у лабораторних умовах [6] й у природньому середовищі високогір'я Українських Карпат [3] було з'ясовано деякі еколого-біологічні особливості *G. acaulis*. Встановлено, що внаслідок демутаційних і кліматогенних сукцесій популяції виду зазнають значних негативних змін, а одна з дослідних субпопуляцій відмерла внаслідок експансії на її оселище угруповання *Alnus viridis* (Chaix) DC. [4]. Це зумовило розгортання більш детальних досліджень у метапопуляціях *G. acaulis*.

Метою дослідження було встановлення біологічних особливостей та просторової організації метапопуляцій *G. acaulis* в Українських Карпатах, та з'ясування особливостей їх функціонування у заповідних і антропогенно-змінених умовах.

Метапопуляцію ми розглядаємо як систему часткових популяцій (субпопуляцій) одного виду, генетичні та функціональні зв'язки між якими є значною мірою обмеженими [11]. Важливою ознакою метапопуляції є автономність динаміки часткових популяцій. Асинхронність субпопуляцій забезпечує вищу стійкість усієї метапопуляції до зміни середовища, порівняно з популяцією з такою ж чисельністю особин і ареалом, але в якій відсутня метапопуляційна організація [11]. Тому з'ясування структури, динаміки і функціонування метапопуляцій є актуальним з огляду на необхідність розробки ефективних способів збереження рідкісних видів та «конструювання» умов, необхідних для підтримання високого рівня їхньої життєздатності.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили упродовж 2000–2025 рр. на гірських хребтах Чорногора і Мармароські Альпи Українських Карпат. Застосовано традиційні методи онтогенетично-популяційних досліджень [2].

На популяційному рівні вивчали чисельність і щільність, просторову і вікову структури, генеративне і вегетативне розмноження. На основі цих ознак оцінювали життєвість особин і субпопуляцій [2]. Динаміку індивідуальних і групових параметрів досліджували, враховуючи чинники середовища існування. Серед абіотичних чинників обліковували висоту оселищ над рівнем моря, експозицію і крутизну схилів, вітровий і сніговий режими, глибину ґрунту, мікрорельєф. З біотичних чинників оцінювали проєктивне покриття компонентів фітоценозів.

Застосовано неушкоджуючі методи досліджень. Морфометричні проміри виконано під час фази цвітіння. Наукові назви рослин подано згідно з *Plants of the World Online* [13].

Результати досліджень та їх обговорення

За результатами дослідження семи оселищ *G. acaulis*, шість з яких розташовані на Чорногірському масиві (г. Шпиці, г. Ребра, г. Туркул, г. Гутин Томнатик, г. Брескул, г. Говерла) та одне на Мармароському (г. Петрос) встановлено, що найбільшою за розмірами є площа субпопуляції на г. Туркул (табл. 1). Площа інших – не перевищує 0,3 га. Аналіз даних показує, що цей вид здебільшого тяжіє до південних і південно-східних схилів.

Експозиція впливає на гіпсометричний рівень локалізації часткових популяцій. Так, на тепліших південних і південно-східних схилах Чорногори, яка належить до найхолодніших гірських масивів Українських Карпат [1], вид поширений на висотах у межах 1850–1950 м н. р. м., а на прохолодніших північно-східних схилах – на нижчих гіпсометричних рівнях. Це підтверджують й дані літературних джерел [12].

G. acaulis входить до складу як альпійських, так і субальпійських ценозів. Результати аналізу видової структури фітоценозів показали (табл. 2), що у склад половини досліджених локалітетів *G. acaulis* на Чорногорі входить *Juniperus communis* var. *saxatilis* Pall., ступінь рясності якого коливається від 10 % до 30 %.

Таблиця 1

Характеристика оселищ деяких часткових популяцій *Gentiana acaulis* L.

Гірський хребет, оселище	Параметри					Режим використання; фітоценотичні умови
	Висота, н. р. м.	Експ. схилу	Кут нахил, град.	Площа, га	Щільність ос. / м ²	
Чорногора, г. Говерла	1940	S	> 45°	0,3	3,0	заповідання, рекреація; нещільне задерніння, заростання чагарниковою рослинністю
Чорногора, г. Брескул	1850	S	20–40°	0,1	7,5	заповідання, рекреація; нещільне задерніння
Чорногора, г. Туркул	1850–1900	S	> 45°	2,0	10,5	заповідання, рекреація; нещільне задерніння, заростання чагарниковою рослинністю
Чорногора, г. Шпиці	1750–1800	E	> 45°	Деякі групи по 10–15 особин		заповідання; нещільне задерніння
Чорногора, г. Ребра	1850	S	> 45°	0,05	8,0	заповідання, рекреація; задерніння
Чорногора, г. Гутин Томнатик	1850–1950	SE	20–40° (>45°)	Деякі групи по 10–15 особин		заповідання, помірний випас; задерніння
Мармароські Альпи, г. Петрос	1770–1775	SE	20–40°	0,1	11,6	інтенсивний випас; нещільне задерніння

На г. Туркул оселище колонізується й *Pinus mugo* Turra. В усіх, без винятку, досліджених оселищах значною є й частка чагарничкової рослинності, представленої *Rhododendron kotschyi* Simonk., *Vaccinium myrtillus* L., а на г. Туркул й *Vaccinium uliginosum* L.

З потеплінням істотне збільшення проективного покриття чагарників у альпійському поясі призводить до масштабного зменшення чисельності популяцій багатьох рідкісних лучних видів, зокрема, й *G. acaulis*.

G. acaulis має високу чутливість до затінення у фенофазах бутонізації та початку цвітіння. Процес відмирання дорослих особин *G. acaulis* внаслідок затінення сусідами триває від 1 до 4 (6) років, залежно від їхньої вікової стану і життєвості, а також від величини і режиму затінення. Тому подальша колонізація оселищ *G. acaulis* чагарниковою та

чагарничковою рослинністю може призвести до фрагментації та поступового згасання багатьох субпопуляцій. Особливу небезпеку це становить на контакті субальпійських і альпійських угруповань, наприклад, на г. Туркул. Під загрозою перебуває також оселище на г. Петрос Мармароський, розташоване у субальпійському поясі. На даний час по периферії цей локалітет вже оточує підріст *Picea abies* (L.) H.Karst.

Таблиця 2

Видовий склад угруповань з участю *Gentiana acaulis* L.

№	Види	Місце розташування						
		г. Говерла	г. Брескул	г. Туркул	г. Ребра	г. Шпиці	г. Гутин Томнатик	г. Петрос Мармароський
1	<i>Arnica montana</i> L.	+	-	+	+	+	+	+
2	<i>Achillea millefolium</i> L.	-	-	-	-	-	-	+
3	<i>Carlina acaulis</i> L.	-	-	-	-	-	-	+
4	<i>Campanula alpina</i> Jacq.	+	+	+	+	+	+	-
5	<i>Crocus heuffelianus</i> Herbert	-	+	2	-	-	-	-
6	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.	+	+	-	1	-	-	-
7	<i>Dianthus compactus</i> Kit. = <i>Dianthus barbatus</i> subsp. <i>compactus</i> (Kit.) Heuff.	-	-	-	-	-	-	+
8	<i>Geum montanum</i> L.	+	-	+	+	-	+	-
9	<i>Gentiana acaulis</i> L.	+	2	2	2	+	+	2
10	<i>Gentiana laciniata</i> Kit. ex Kanitz	-	-	-	+	-	-	-
11	<i>Gentiana punctata</i> L.	+	+	+	-	2	1	-
12	<i>Juniperus communis</i> var. <i>saxatilis</i> Pall.	2	-	3	-	1	-	1
13	<i>Juncus trifidus</i> L. = <i>Oreojuncus trifidus</i> (L.) Záv.Drábk. & Kirschner	+	-	-	-	1	2	+
14	<i>Nardus stricta</i> L.	+	1	1	+	-	2	-
15	<i>Pinus mugo</i> Turra	-	-	+	-	-	-	-
16	<i>Poa deylii</i> Chrtek & V. Jirasek = <i>Poa granitica</i> subsp. <i>disparilis</i> Nyár	-	2	-	+	1	-	+
17	<i>Poa nemoralis</i> L.	-	-	-	-	-	-	+
18	<i>Pulsatilla alba</i> Reichenb. = <i>Pulsatilla alpina</i> (L.) Chaz.	+	+	1	-	+	-	-
19	<i>Ranunculus thora</i> L.	+	-	+	+	+	+	-
20	<i>Rhododendron kotschyi</i> Simonk.	+	+	2	1	2	1	-
21	<i>Sesleria coerulans</i> Friv.	-	+	1	1	-	+	-
22	<i>Silene carpatica</i> (Zapał.) Czopik <i>Silene behen</i> L.	-	-	-	-	-	+	-
23	<i>Scabiosa lucida</i> Vill. subsp. <i>barbata</i> Nyar.	-	-	-	-	-	-	+
24	<i>Soldanella hungarica</i> Simonk.	+	+	+	+	-	-	-
25	<i>Thymus alpestris</i> Tausch ex A.Kern.	-	-	-	-	-	-	1
26	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	+	+	1	+	2	2	+
27	<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	-	-	+	-	-	-	-

Експансія ценопопуляції *A. viridis* на г. Комин (1650 м н. р. м., хребет Свидовець) вже майже витіснила *G. acaulis* зі складу фітоценозу.

Незважаючи на режим заповідання, досліджені часткові популяції *G. acaulis* чорногірської метапопуляції піддаються значному рекреаційному навантаженню. Витоптування рекреантами субпопуляції на г. Туркул призвело до значної її фрагментації. Аналогічна ситуація спостерігається у привершинному локалітеті г. Говерли.

Особливу загрозу *G. acaulis* становить зривання генеративних пагонів рекреантами у оселищах, розташованих у легкодоступних для туристів місцях, оскільки це значно зменшує

запас насіння у субпопуляціях. На тлі низької життєздатності і коефіцієнта схожості насіння [10] це призводить до зниження частки підросту та старіння популяції.

За період з 2002 р. по 2016 р. щільність субпопуляції на г. Туркул зменшилася більше ніж у 2 рази (з 23,9 ос./м² до 10,5 ос./м² відповідно), а на г. Ребра – майже втричі (з 23,3 ос./м² до 8 ос./м²).

Високий показник щільності особин у частковій популяції *G. acaulis* на г. Петрос Мармароській є наслідком інтенсивного пасторального навантаження. Стравлювання генеративних особин інтенсифікує вегетативне розмноження та збільшує частку особин прегенеративної групи. Однак, таким рослинам притаманна нижча життєвість.

Узагальнення даних щодо особливостей проходження онтогенезу *G. acaulis* показало, що самопідтримання його субпопуляцій здійснюється за комбінованим типом. Очевидно, в умовах еколого-ценотичного оптимуму значну роль у заміщенні поколінь відіграє генеративне розмноження. Так, у локалітеті на г. Ребра, у 2002 р. рослини насінневого походження більш ніж у 4,0 рази за кількістю переважали вегетативні особини. На той час угруповання, до складу якого входила субпопуляція *G. acaulis*, вже знаходилося у складі заповідних територій і зазнавало лише помірного пасторального навантаження у результаті епізодичного прогону отар овець, а ступінь рясності щільнодернинних злаків був невисоким. Занепад гірського тваринництва у комплексі з посиленням рекреаційного навантаження призвели до трансформації середовища, на що й системно відреагували рослини *G. acaulis*. За 14 років частка генет у субпопуляції на г. Ребра зменшилася у понад 8,0 разів (рис. 1), і відповідно, зросла роль вегетативного розмноження.

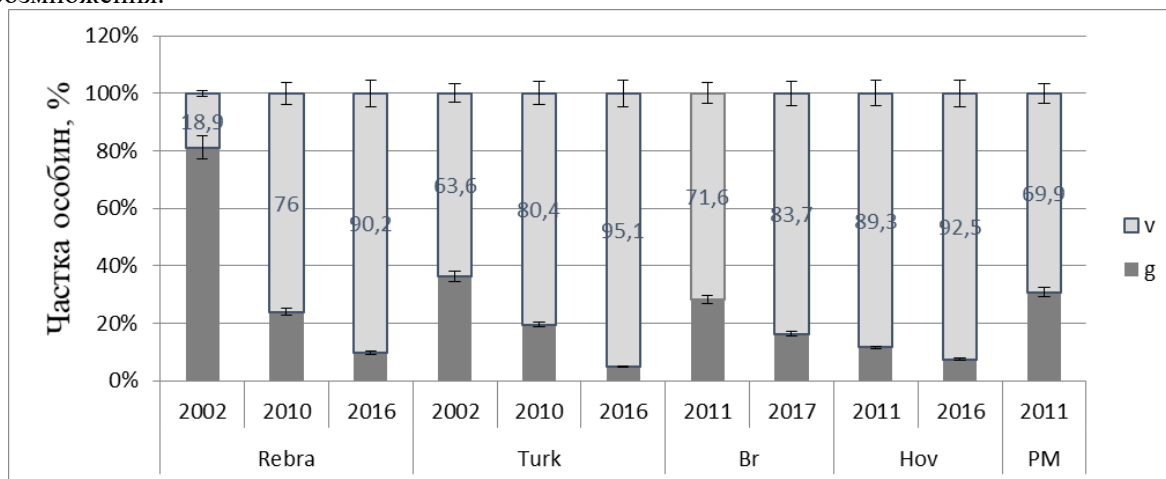


Рис. 1. Частка генет і рамет у часткових популяціях *G. acaulis* в Українських Карпатах. Умовні позначення: Rebra – г. Ребра, Turk – г. Туркул, Br – г. Брескул, Nov – г. Говерла, PM – г. Петрос Мармароський; v – частка рамет, g – частка генет.

Переважає рамет над генетом у локалітеті на г. Туркул на початку 2000 рр., на наш погляд, зумовлене еколого-географічними умовам росту, а саме: перебуванням популяції в умовах песимуму, на межі свого висотного ареалу. Інтенсифікація вегетативного розмноження на висотній межі ареалу дозволяє стабілізувати нестачу генет у субпопуляції. Однією із причин останнього є й низька життєвість насіння.

Результати наших лабораторних досліджень схожості насіння рослин *G. acaulis* з г. Туркул та г. Ребра, проведені у 2000 рр. показали, що насіння не проростає без тривалої його стратифікації та передпосівної обробки високими (1000 мг/л) концентраціями гіберелової кислоти [8]. Понад 42 % отриманого підросту з г. Туркул загинуло упродовж 1–2 місяців після проростання. Реакція рослин на несприятливі абіотичні умови росту супроводжується зменшенням у 2,2 рази частки генет у субпопуляції на г. Туркул, порівняно із г. Ребра. Посилення процесів заростання, задерніння та рекреаційного навантаження упродовж наступних 14 років на г. Туркул призвели до зменшення у субпопуляції частки генет, порівняно із 2002 р. у 7,4 рази. Аналогічні тенденції щодо самопідтримання субпопуляцій виявлено також й у інших локалітетах росту виду. Водночас, аналіз показників співвідношення вегетативного

та генеративного розмноження у субпопуляції на г. Петрос Мармароський, дозволяє припустити, що випас худоби значно менше пригнічує генеративне самопідтримання часткових популяцій, ніж задерніння, затінення та рекреаційне навантаження.

Результати досліджень показали значну залежність вікового спектру субпопуляцій від ступеня трансформації середовища існування. Встановлено, що на початку 2000 рр. субпопуляції *G. acaulis* на г. Ребра була нормальною повночленною, а на г. Туркул – нормальною неповночленною, оскільки у її складі були відсутні сенільні рослини (рис. 2).

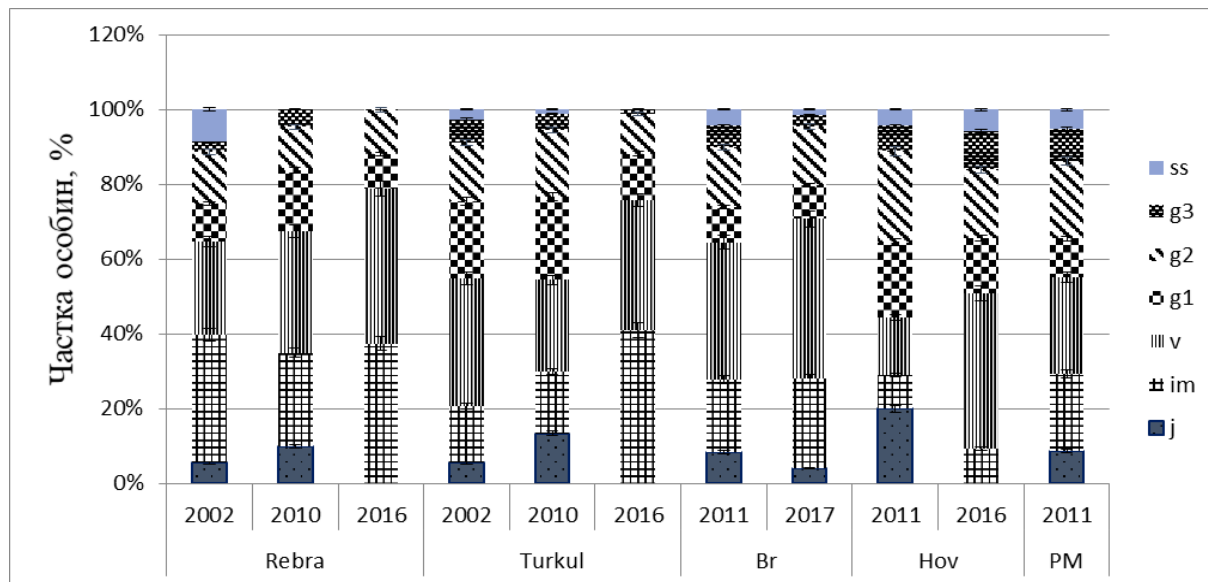


Рис. 2. Динаміка вікової структури часткових популяцій *G. acaulis* в Українських Карпатах. Умовні позначення: Rebra – г. Ребра, Turk – г. Туркул, Br – г. Брескул, Nov – г. Говерла, PM – г. Петрос Мармароський; j – ювенільні, im – імагурні, v – віргінільні, g₁ – молоді генеративні, g₂ – середньовікові генеративні, g₃ – старі генеративні, ss – субсенільні.

Обидві популяції мали виражений лівосторонній спектр. Однак, на г. Ребра переважала частка імагурних рослин, а на г. Туркул – віргінільних особин. Така особливість вікового спектру субпопуляції на г. Ребра, ймовірно, зумовлена перевагою генеративного типу самопідтримання.

Збільшення рекреаційного навантаження, на фоні демуаційних сукцесій, призвело до трансформації вікових спектрів цих субпопуляцій. Ймовірно, збирання рослин у букети, позначилося на запасах насіння у локалітетах, а значне ущільнення структури ґрунту та, відповідно, розширення площ туристичних стежок ускладнило процес укорінення проростків. Це у комплексі із задернінням (г. Ребра, г. Туркул) і затіненням (г. Туркул) позначається й на життєвості рослин, у тому числі й генеративних. Щільність і життєвість *G. acaulis* вища на тих ділянках, де задерніння сформоване порівняно недавно. У локусах з добре вираженим суцільним ярусом трав, в умовах затінення і конкуренції цей вид поступово випадає з травостою. При цьому, проміжною адаптивною реакцією до цих несприятливих умов є зниження життєвості і зростання вегетативної рухливості особин. Водночас, з припиненням цвітіння у генеративних особин зростає їхня вегетативна рухливість, внаслідок чого у популяції різко збільшується чисельність підросту вегетативного походження. Саме це й спостерігається на даний час не лише у локалітетах росту на г. Ребра і г. Туркул, але й на Говерлі.

Віталітетний аналіз показав, що трансформація середовища позначається й на життєвості генеративних особин (рис. 3).

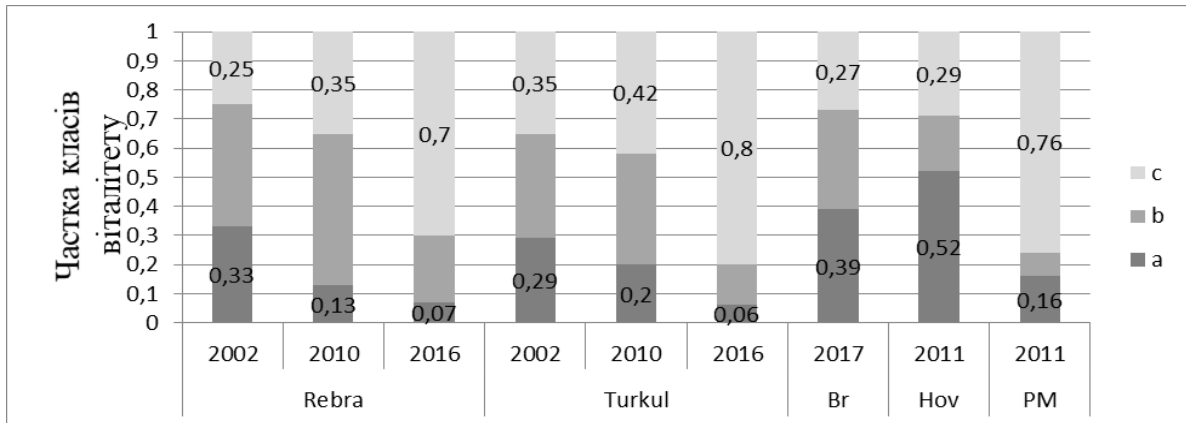


Рис. 3. Віталітетні спектри досліджених популяцій *G. acaulis*. Умовні позначення: Rebra – г. Ребра, Turkul – г. Туркул, Br – г. Брескул, Nov – г. Говерла, PM – г. Петрос Мармароський; a – найвищий клас віталітету, b – проміжний клас віталітету, c – найнижчий клас віталітету.

Так, на прикладі аналізу динаміки віталітетного спектру субпопуляцій на г. Ребра та г. Туркул показано, що погіршення умов росту призводить як до зниження індексу їхньої якості (табл. 3), так й до збільшення частки особин «с» групи. За нещільного задерніння ґрунту (г. Ребра (2002 р.), г. Говерла, г. Брескул) частка особин найвищого класу віталітету коливається у субпопуляціях від 33 % до 52 %. Посилення рекреаційного навантаження збільшує кількість особин найнижчого класу віталітету (г. Ребра, г. Туркул (2010–2016 рр.)).

Таблиця 3

Диференціація субпопуляцій *G. acaulis* за якісними типами

Місце росту	Рік дослідження	Індекс якості, Q	Тип якості
г. Ребра	2002	0,38	процвітаюча
	2010	0,32	врівноважена
	2016	0,15	депресивна
г. Туркул	2002	0,32	врівноважена
	2010	0,29	врівноважена
	2016	0,1	депресивна
г. Брескул	2017	0,36	процвітаюча
г. Говерла	2011	0,36	процвітаюча
г. Піп Іван Мармароський	2011	0,12	депресивна

Аналогічним чином на життєвість генеративних особин впливає і пасторальне навантаження. Так, не зважаючи на те, що вікова структура субпопуляції на г. Петрос Мармароський нормальна повночленна, за життєвістю 76 % особин цього локалітету належать до «с» класу, що позначається й на індексі якості.

Отже, узагальнення результатів дослідження як індивідуальних, так й диференціальних ознак субпопуляцій виду *G. acaulis*, свідчить, що трансформація середовища їхнього існування призводить до збільшення поліваріантності онтогенезу. Відхилення від еколого-ценотичного оптимуму спричиняє інтенсифікацію вегетативного розмноження. За досліджений період частка рамет у деяких субпопуляціях збільшилася від 1,5 рази (г. Туркул) до 4,8 рази (г. Ребра). Випас худоби значно менше пригнічує генеративне самопідтримання часткових популяцій, ніж задерніння, затінення та рекреаційне навантаження. Значної трансформації зазнали й вікові спектри субпопуляцій: із групи нормальних повночленних три із них (г. Ребра, г. Туркул, г. Говерла) перейшли до рангу неповночленних. Посилення рекреаційного навантаження на чорногірські субпопуляції призвело до збільшення у їх віталітетному спектрі у понад 2 рази кількості особин найнижчого класу віталітету.

За особливості біології та комплексом диференціальних ознак групового рівня *G. acaulis* складно віднести до конкретного типу первинної стратегії. Так, для рослин цього виду характерні відносно мала фітомаса та площа листової поверхні, вони продукують порівняно мало насіння. Його особини здатні відносно швидко займати вивільнені місця з послабленою конкуренцією та швидко звільняти нішу вже за незначних змін середовища і фітогенного впливу. Результати цих досліджень дозволили К. Малиновському із співавторами [7] зачислити цей вид до перехідного S-R типу.

Результати наших досліджень показують, що упродовж останнього десятиліття субпопуляції на г. Говерла, г. Туркул, г. Ребра перебувають в умовах дії сильного стресу та сильних порушень. Рослини з г. Ребра все ще характеризуються найбільш потужним розвитком надземної сфери, на що вказує аналіз їх морфометричних параметрів (табл. 4).

Таблиця 4

Морфометричні параметри генеративних рослин досліджених популяцій *G. acaulis* (n =20, x ± SD)

Параметри	Місця росту				
	г. Ребра	г. Туркул	г. Говерла	г. Петрос	г. Брескул
Ширина листка, см	1,9±0,6	1,5±0,6	1,7±0,5	1,7±0,5	1,9 ±0,5
Довжина листка, см	3,8±1,3	3,4±1,5	3,6±1,5	3,7±1,6	3,9±1,4
Площа листка, см ²	9,6±2,9	9,3±2,5	9,4±2,3	9,4±1,0	11,6±1,4
Кількість листків на один вегетативний пагін, шт.	10±1,9	10,1±2,6	9,6±2,1	7,1±1,4	9,8±1,6
Діаметр вегетативного пагона (роzetки), см	11±8,3	11,3±7,8	13,0±10	6,9±4,3	12,9 ±3,7
Кількість квіток на одну рослину, шт.	4,5±3,4	3,4±2,0	4,1±2,8	1,4±0,5	3,3±1,7
Діаметр ортотропної частини квітконосного пагона, см	0,2±0,05	0,2±0,07	0,2±0,06	0,2±0,04	0,2±0,05
Довжина ортотропної частини квітконосного пагона, см	5,4±1,1	5,1±2,5	6,4±3,0	5,0±1,4	5,5±1,4
Довжина коробочки, см	5,3±0,5	4,8±1,1	5,5±1,0	4,6±0,6	4,8±0,6

Домінування у частковій популяції на г. Говерла середньовікових генеративних особин свідчить про її тенденцію до старіння. Така зміна її вікової структури є посиленням ознак стрес-толерантності. В умовах слабкого стресу і сильних порушень перебуває субпопуляція *G. acaulis* на г. Петрос Мармароський. Такі умови росту супроводжуються збільшенням ролі вегетативного розмноження у самопідтриманні популяції та частки особин (до 76 %) найнижчого класу віталітету, що вказує на посилення ознак стрес-толерантного типу стратегії.

Висновки

Отже, узагальнення результатів дослідження субпопуляцій виду *G. acaulis* показує, що трансформація середовища їхнього існування призводить до збільшення поліваріантності онтогенезу. Відхилення від еколого-ценотичного оптимуму інтенсифікують вегетативне розмноження. За досліджений період частка рамет у деяких субпопуляціях збільшилася від 1,5 рази (г. Туркул) до 4,8 рази (г. Ребра). Випас худоби значно менше пригнічує генеративне самопідтримання часткових популяцій, ніж задерніння, затінення та рекреаційне навантаження. Значної трансформації зазнали й вікові спектри субпопуляцій: із групи нормальний повночленних три із них (г. Ребра, г. Туркул, г. Говерла) перейшли до рангу неповночленних. Посилення рекреаційного навантаження на «чорногірські» субпопуляції виду *G. acaulis* збільшило у віталітетному спектрі субпопуляцій й у понад 2 рази кількість особин найнижчого класу віталітету.

1. Вишневський В. І., Шевчук С. А. Використання даних дистанційного зондування Землі для з'ясування термічних особливостей Українських Карпат. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2017. Т. 12. С. 47–52.

2. Злобін Ю. А., Скляр В. Г., Клименко Г. О. Біологія та екологія фітопопуляцій / за ред. Ю. А. Злобіна. Суми : Університетська книга, 2022. 512 с.
3. Кияк В. Г. Малі популяції рідкісних видів рослин високогір'я Українських Карпат. Львів : Ліга-Прес, 2013. 248 с.
4. Кияк В. Г., Білонога В. М., Штупун В. П. Кліматогенні зміни популяцій і фітоценозів. Зміни структури популяцій рідкісних видів високогір'я Українських Карпат і проблеми їх збереження. За ред. Кияка В. Львів : Вид-во ННВК «АТБ», 2018. С. 103–126.
5. Кобів Ю., Прокопів А., Гелеш М., Борсукевич Л. Поширення, стан популяцій та характеристика оселищ рідкісних і загрожених видів рослин у північній частині Свидовця (Українські Карпати). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.* 2009. Вип. 49. С. 63–82.
6. Майорова О. Ю., Грицак Л. Р., Мазур Д. С., Вітрова С. А., Дробик Н. М. Мікроклональне розмноження та вкорінення *in vitro* рідкісного виду *Gentiana acaulis* L. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2016. Т. 19. С. 162–166.
7. Малиновський К. А., Крічфалушій В. В. Високогірна рослинність. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. 232 с.
8. Страшнюк Н. М., Грицак Л. Р., Леськова О. М. Використання біотехнологічних методів для збереження *Gentiana acaulis* L. в Українських Карпатах. *Науковий вісник Чернівецького університету : збірник наук. праць*. Вип. 145: Біологія. 2002. С. 154–159.
9. Червона книга України. Рослинний світ. За ред. Я. П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. С. 487.
10. Черепанин Р. М., Кияк В. Г. Схожість і життєздатність насіння рідкісних видів рослин високогір'я Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2008. Вип. 48. С. 49–58.
11. Hanski J. O. E. Gaggiotti Ecology, Genetics and Evolution of Metapopulations. Amsterdam, Boston, London et al. : Academic Press, 2003. 696 p.
12. Kobiv Yu., Prokopiv A., Nachychko V., Borsukevych L., Helesh M. Distribution and population status of rare plant species in the Marmarosh Mountains (Ukrainian Carpathians). *Ukrainian Botanical Journal*. 2017. Vol. 74, Iss. 2. P. 163–176. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.02.163>.
13. Plants of the World Online. URL: <https://powo.science.kew.org/> (дата звернення: 2.02.2026).

References

1. Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. Vykorystannia danykh dystantsiynoho zonduvannia Zemli dlia ziasuvannia termichnykh osoblyvostei Ukrainskykh Karpat. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiynoho zonduvannia Zemli*. 2017. T. 12. S. 47–52. [in Ukrainian]
2. Zlobin Yu. A., Skliar V. H., Klymenko H. O. Biolohiia ta ekolohiia fitopopuliatsii / za red. Yu. A. Zlobina. Sumy : Universytetska knyha, 2022. 512 s. [in Ukrainian]
3. Kyiak V. H. Mali populiatsii ridkisnykh vydiv roslyn vysokohiria Ukrainskykh Karpat. Lviv : Liha-Pres, 2013. 248 s. [in Ukrainian]
4. Kyiak V. H., Bilonoha V. M., Shtupun V. P. Klimatohenni zminy populiatsii i fitotsenoziv. Zminy struktury populiatsii ridkisnykh vydiv vysokohiria Ukrainskykh Karpat i problemy ikh zberezhenia. Za red. Kyiaka V. Lviv : Vyd-vo NNVK «ATB», 2018. S. 103–126. [in Ukrainian]
5. Kobiv Yu., Prokopiv A., Helesh M., Borsukevych L. Poshyrennia, stan populiatsii ta kharakterystyka oselyshch ridkisnykh i zahrozhenykh vydiv roslyn u pivnichnii chastyni Svydovtsia (Ukrainski Karpaty). *Visn. Lviv. un-tu. Ser. biol.* 2009. Vyp. 49. S. 63–82. [in Ukrainian]
6. Mayorova O. Yu., Hrytsak L. R., Mazur D. S., Vitrova S. A., Drobyk N. M. Mikrokloналne rozmnozhennia ta vkorinennia *in vitro* ridkisnogo vydu *Gentiana acaulis* L. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv*. 2016. T. 19. S. 162–166. [in Ukrainian]
7. Malynovskiy K. A., Krichfalushii V. V. Vysokohirna roslynnist. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2000. 232 s. [in Ukrainian]
8. Strashniuk N. M., Hrytsak L. R., Leskova O. M. Vykorystannia biotekhnolohichnykh metodiv dlia zberezhenia *Gentiana acaulis* L. v Ukrainskykh Karpatakh. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu : zbirnyk nauk. prats*. Vyp. 145: Biolohiia. 2002. C. 154–159. [in Ukrainian]
9. Chervona knyha Ukrainy. Roslynniy svit. Za red. Ya. P. Didukha. Kyiv : Hlobalkonsal'tynh, 2009. S. 487. [in Ukrainian]
10. Cherepanyn R. M., Kyiak V. H. Skhozhist i zhyttiezdatnist nasinnia ridkisnykh vydiv roslyn vysokohiria Ukrainskykh Karpat. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya biolozhichna*. 2008. Vyp. 48. S. 49–58. [in Ukrainian]
11. Hanski J. O. E. Gaggiotti Ecology, Genetics and Evolution of Metapopulations. Amsterdam, Boston, London et al. : Academic Press, 2003. 696 p.
12. Kobiv Yu., Prokopiv A., Nachychko V., Borsukevych L., Helesh M. Distribution and population status of rare plant species in the Marmarosh Mountains (Ukrainian Carpathians). *Ukrainian Botanical Journal*. 2017. Vol. 74, Iss. 2. P. 163–176. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.02.163>.
13. Plants of the World Online. URL: <https://powo.science.kew.org/> (дата звернення: 2.02.2026).
14. ISSN 2078-2357. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2026. Т. 86, № 1

¹L. R. Hrytsak, ²V. H. Kyyak, ²V. M. Bilonoha

²Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

²Institute of Carpathian Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

BIOLOGICAL FEATURES OF THE FORMATION AND FUNCTIONING OF METAPOPOPULATIONS OF *GENTIANA ACAULIS* L. IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

This article examines the biological characteristics of the formation and functioning of metapopulations of *Gentiana acaulis* L. in the Ukrainian Carpathians, with a focus on the patterns of their spatial and temporal organization and the mechanisms that maintain their viability under conditions of natural and anthropogenic environmental dynamics. The spatial structure, age composition, vitality characteristics, and self-sustainability features of the species' subpopulations in various ecotopes of the Chornohora Massif and Svidovets were analyzed, revealing significant differences between local population systems depending on ecological conditions.

It was shown that the structure of *G. acaulis* metapopulations is mosaic-like and dynamic and is largely determined by a combination of abiotic factors (elevation, moisture, light, soil conditions) and the level of anthropogenic impact. It has been established that under favorable ecological conditions in stable communities, generative reproduction plays a leading role in population recovery, ensuring high genetic diversity and the spatial expansion of populations. In contrast, under stressful or disturbed conditions (recreational pressure, trampling, shrub encroachment, changes in land-use practices), the proportion of vegetative regeneration increases as a more resilient but less effective mechanism in terms of genetic renewal.

A significant transformation of the age spectra and vitality structure of subpopulations has been observed under the influence of anthropogenic and succession-related changes. In particular, there is a decrease in the proportion of generative individuals, disruption of seed regeneration processes, and a tendency toward "aging" of populations, manifested by the predominance of virginal and senile stages. These changes are accompanied by a decline in the overall viability of populations and their capacity for spatial expansion.

It has been demonstrated that *G. acaulis* metapopulations are characterized by high ecological plasticity, heterogeneity of ontogenetic stages, and a combined type of self-maintenance that integrates generative and vegetative strategies. It is precisely this strategic flexibility that ensures the species' long-term survival in the conditions of a changing alpine ecosystem. The results obtained deepen our understanding of the mechanisms of resilience in rare high-mountain plant species and can serve as a scientific basis for developing effective measures for their protection, monitoring, and conservation in the Ukrainian Carpathians.

Keywords: *Gentiana acaulis* L., metapopulation, Ukrainian Carpathians, spatial organization of metapopulations, age structure, vitality, generative reproduction, vegetative reproduction, population self-sustainability.

Надійшла до редакції: 20.02.2026

Прийнята до друку: 12.03.2026

Опублікована: 30.03.2026

УДК:582.091(477.86-25)

doi: 10.25128/2078-2357.26.1.2

Н. М. ПРОКОПІВ 

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

вул. Галицька, 201, Івано-Франківськ, 76018

E-mail: ploshanska_n@ukr.net

АДВЕНТИВНІ ДЕРЕВНІ РОСЛИНИ УРБАНОФЛОРИ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

Адвентивний елемент урбанофлори є важливим індикатором трансформації міських екосистем під впливом антропогенних факторів. Особливу роль у цьому процесі відіграють деревні адвентивні види, які формують довготривалі угруповання та визначають структуру міських екотопів. У статті здійснено комплексне дослідження адвентивних деревних видів урбанофлори міста Івано-Франківськ. На основі власних досліджень маршрутно-експедиційним методом протягом 2020–2024 рр., опрацювання літературних матеріалів, а також гербарних колекцій Карпатського національного університету імені Василя Стефаника було складено конспект деревних адвентивних рослин урбанофлори міста Івано-Франківськ. Для досліджуваних видів проведено систематичний, флорогенетичний та екологічний аналізи.

На території виявлено 20 видів деревних адвентивних рослин, які належать до 13 родин та 18 родів. Провідними у систематичному спектрі є родини *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Vitaceae*, що відображає загальні тенденції інтродукції деревних рослин у міське середовище. Встановлено, що основу адвентивних деревних рослин урбанофлори Івано-Франківська становлять види північноамериканського, середземноморського та азіатського походження. Проведено аналіз за часом і способом занесення адвентивних видів, відзначено домінуючу роль кенофітів та ергазіофітів. Оцінено ступінь натуралізації досліджуваних видів, що підкреслює провідну роль ергазіофітофітів та епекофітів. У результаті аналізу екологічної структури виявлено переважання геліосціофітів, мезофітів та мезотрофів. Значна частка видів виявилась толерантною до різного рівня родючості ґрунтів, що забезпечує їхню адаптивність у трансформованих екотопах. Особливо слід відмітити *Acer negundo* L., який демонструє високий інвазійний потенціал та здатність активно поширюватись у міських екотопах, формуючи стійкі угруповання. Отримані результати дозволяють визначити потенційні напрямки подальшого моніторингу інвазійних процесів у міських екосистемах та розробки ефективних заходів управління урбаністичним біорізноманіттям.

Ключові слова: дендрофлора, інвазії, інтродуковані види, урбанізовані території, систематичний аналіз.

Однією з ключових екологічних проблем збереження біорізноманіття на початку ХХ століття стало поширення і закріплення адвентивних рослин у нових екосистемах. З кожним роком кількість чужорідних рослин збільшується, ареали їхніх місцезростань розширюються, а темпи їхнього занесення та ступінь натуралізації стрімко зростають [6, 8, 14, 15].

У Стратегії біорізноманіття ЄС до 2030 року, ухваленій Європейським Союзом, передбачено необхідність координованих заходів контролю чужорідних видів [16]. У зв'язку з цим одним з ключових напрямків сучасної флористики є дослідження адвентивної фракції флори на різних просторових рівнях – від урбанізованих територій до цілих регіонів [2, 5, 19].

Особливо значний негативний вплив адвентивних видів є у регіонах, де природний рослинний покрив дуже фрагментований [1]. Вивченню такого типу рослин урбанофлор різних міст України присвячено низку праць [11, 13, 21, 24]. Так, у роботах [9, 10] здійснено комплексний аналіз адвентивної фракції флори урбанізованої території, включно з трав'янистими та деревними видами.



©2026 Н. М. Прокопів. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

У дослідженні [17] розглянуто особливості поширення адвентивних рослин у порушених біотопах, а в працях [7, 18, 20, 22, 23] наведено оцінку інвазійного потенціалу окремих видів. Проте всі ці праці виконані на рівні загальної урбанофлори і не містять окремого аналізу деревних адвентивних видів. Відсутність даних щодо напрямків формування адвентивної дендрофлори Івано-Франківська створює наукову прогалину, заповнення якої є необхідним для розуміння процесів урбанізації флори та обґрунтування заходів з оптимізації озеленення. З огляду на це, метою цього дослідження є встановлення видового складу адвентивних деревних рослин урбанофлори міста Івано-Франківськ та його всебічний аналіз.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили маршрутно-експедиційним методом у межах урбанізованої території м. Івано-Франківськ упродовж 2020–2024 рр. На основі власних досліджень урбанофлори, опрацювання літературних матеріалів, а також гербарних колекцій Карпатського національного університету імені Василя Стефаника було складено конспект деревних адвентивних рослин урбанофлори Івано-Франківська.

Назви видів у списку наведені згідно з зведенням С. Л. Мосякіна та М. М. Федорончука [12]. Флорогенетичний аналіз адвентивних деревних рослин урбанофлори Івано-Франківська проведено за підходом, використаним у роботі Т. С. Двірна [3], із виділенням первинних ареалів походження. Екологічний аналіз видів за їхнім відношенням до світла, вологості та трофності ґрунту проводили відповідно до класифікації екоморфів, апробованої у сучасних працях [9]. Класифікацію адвентивних деревних видів за часом занесення (археофіти, кенофіти), способом поширення та ступенем натуралізації застосовано відповідно до загальноприйнятих підходів інвазійної екології [4].

Результати досліджень та їх обговорення

На досліджуваній території виявлено 20 видів деревних адвентивних рослин, які належать до 13 родин та 18 родів. Провідними у систематичному спектрі є родини *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Vitaceae*, які налічують по 3 види. Родина *Caprifoliaceae* нараховує 2 види. Решта 9 родин представлені 1 деревним видом.

Провідні роди *Lonicera* та *Parthenocissus* об'єднують по 2 види. 16 родів є одновидовими (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика деревних адвентивних видів урбанофлори Івано-Франківська

Родина та вид	Хроноелемент	Походження	Ступінь натуралізації
Aceraceae <i>Acer negundo</i> L.	кенофіт	північноамериканське	агріоепекофіт
Anacardiaceae <i>Cotinus coggygia</i> Scop.	кенофіт	середземноморське	ергазіофігофіт
Caprifoliaceae <i>Lonicera caprifolium</i> L.	кенофіт	середземноморське	ергазіофігофіт
Caprifoliaceae <i>Lonicera tatarica</i> L.	кенофіт	центральноазійське	ергазіофігофіт
Elaeagnaceae <i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	кенофіт	середземноморське	епокофіт
Fabaceae <i>Amorpha fruticosa</i> L.	кенофіт	північноамериканське	ергазіофігофіт
Fabaceae <i>Caragana arborescens</i> Lam.	кенофіт	північноазійське	ергазіофігофіт
Fabaceae <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	кенофіт	північноамериканське	епокофіт
Fagaceae <i>Quercus rubra</i> L.	кенофіт	північноамериканське	агріофіт
Hippocastanaceae <i>Aesculus hippocastanum</i> L.	кенофіт	середземноморське	агріоепекофіт
Juglandaceae <i>Juglans regia</i> L.	кенофіт	азійське	ергазіофігофіт

Продовження таблиці 1			
Moraceae <i>Morus alba</i> L.	кенофіт	східноазійське	ергазіофігофіт
Oleaceae <i>Syringa vulgaris</i> L.	кенофіт	південноєвропейське	епекофіт
Rosaceaeae <i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	кенофіт	передньоазійське	колонофіт
Rosaceaeae <i>Malus domestica</i> Borkh.	кенофіт	центральноазійське	епекофіт
Rosaceaeae <i>Prunus divaricata</i> Ledeb.	кенофіт	кавказьке	епекофіт
Salicaceae <i>Salix fragilis</i> L.	археофіт	малоазійське	агріофіт
Vitaceae <i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	кенофіт	північноамериканське	колонофіт
Vitaceae <i>Parthenocissus inserta</i> (Kerner) Fritsch.	кенофіт	північноамериканське	колонофіт
Vitaceae <i>Vitis vinifera</i> L.	кенофіт	північноамериканське	ергазіофігофіт

У результаті проведеного аналізу за первинними ареалами нами досліджено, що основу адвентивних деревних рослин урбанофлори Івано-Франківська становлять види північноамериканського – 7 (35 % від загальної кількості видів) та середземноморського походження – 4 (20 %). Решта ареалів налічують 1–2 види. Аналіз щодо приуроченості первинних ареалів до біокліматичних областей показав, що найбільш характерними для урбанофлори Івано-Франківська є деревні адвентивні види аридних областей, що є свідченням наявності численних екотопів з посушливими умовами існування. Такі тенденції характерні і для адвентивної фракції України [3].

Аналізуючи деревні адвентивні види урбанофлори Івано-Франківська за часом занесення, ми визначили, що на досліджуваній території переважають кенофіти – 19 видів (95 %), а археофіти налічують 1 (5 %). Значна перевага кенофітів над археофітами свідчить про інтенсивне проникнення видів на територію дослідження.

За ступенем натуралізації серед деревних видів домінують ергазіофігофіти, які налічують 8 видів (40 %) та епекофіти – 5 (25 %), а решта є менш чисельними: колонофіти – 3 (15 %), агріоепекофіти та агріофіти по 2 види.

Стабільний елемент флори, який представлений епекофітами, агріоепекофітами, агріофітами і колонофітами, становить більшу частину всього видового складу – 12 видів (60 %). Переважання стабільного елемента серед деревних адвентивних видів свідчить про високий рівень їхньої натуралізації та інтеграції в урбанофлору. Найбільш активно проникає у парки і сквери міста, витісняючи аборигенні види, *Acer negundo* L. Вид здатний до швидкого самосіву та формування щільних угруповань, які суттєво змінюють структуру міських екотопів [17, 20].

За способом занесення визначальне значення мають ергазіофіти, які налічують 17 видів (85 %). Серед них – *Lonicera caprifolium* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Juglans regia* L. та ін. Ксенофіти та ергазіо-ксенофіти представлені 2 і 1 видом відповідно (рис. 1).

За ступенем пристосування до інтенсивності освітлення переважають геліосциофіти – 12 видів (60 %). До цієї групи належать види *Parthenocissus quinquefolia* (L.), *Aesculus hippocastanum* L., *Quercus rubra* L. та ін. Менш чисельними є групи видів сціогеліофіти та геліофіти, які становлять 25 % і 15 % відповідно. За відношенням до трофності ґрунту домінують мезотрофи – 15 видів (75 %), які не вимогливі до поживних речовин і можуть рости не тільки на родючих ґрунтах. Провідне місце мезотрофів спричинене поширенням у регіоні помірно родючих ґрунтів. Серед гігоморф з-поміж деревних адвентивних видів переважають мезофіти – 11 (55 %), ксеромезофіти – 5 (30 %), решта груп є нечисленними і налічують по 1–2 види (табл. 2).

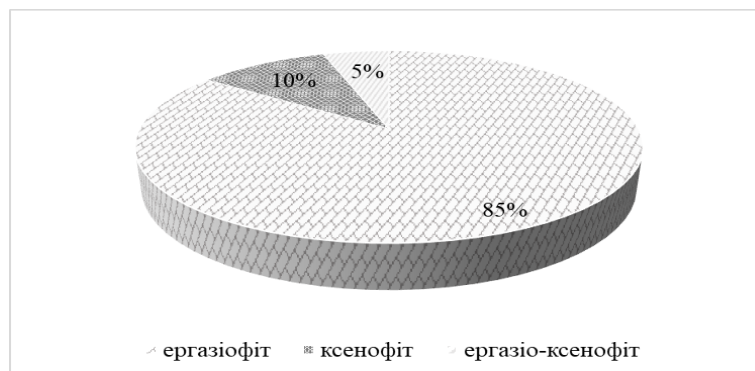


Рис. 1. Аналіз деревних адвентивних рослин урбанофлори Івано-Франківська за способом занесення.

Таблиця 2

Екологічний аналіз адвентивних деревних видів урбанофлори міста Івано-Франківськ

Основні екоморфи	Кількість видів	% від загальної кількості видів
Екологічний спектр за відношенням до світла		
Геліофіти	3	15
Геліосциофіти	12	60
Сціогеліофіти	5	25
Екологічний спектр за відношенням до вологості		
Ксеромезофіти	6	30
Мезоксерофіти	2	10
Мезофіти	11	55
Гігромезофіти	1	5
Екологічний спектр за відношенням до родючості ґрунту		
Мезотрофи	15	75
Евтрофи	3	15
Оліготрофи	2	10

Висновки

Виявлено, що до деревних адвентивних рослин урбанофлори міста Івано-Франківськ входять 20 видів, які належать до 18 родів і 13 родин. У родинно-видовому спектрі найбільш широко представлені *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Vitaceae*. Більшість деревних адвентивів північноамериканського та середземноморського походження.

Встановлено, що на досліджуваній території переважають ксерофіти, що свідчить про активний процес модернізації флори, за способом занесення – ергазіофіти. Така тенденція показує, що антропогенний фактор є головним джерелом адвентивних деревних видів у місті. За ступенем натуралізації провідна роль належить ергазіофітофітам і епекофітам, що відповідає складу екотопів антропогенно трансформованої території. Аналіз за екоморфами підтверджує екологічну пластичність адвентивних деревних видів і їхню здатність пристосовуватись до різних умов урбанізованого середовища. Одержані результати підкреслюють екологічне значення адвентивних деревних видів у структурі урбанофлори Івано-Франківська та необхідність подальшого моніторингу їхнього поширення і впливу на аборигенні компоненти міських екосистем.

1. Вишенська І. Г., Лисенко Д. О. Моніторинг інвазійних деревних видів рослин в урбоекосистемах міста Києва. *Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія*. 2025. Т. 8. С. 62–69. <https://doi.org/10.18523/2617-4529.2025.8.62-69>.
2. Галаган О. К., Михалюк І. М., Цицюра Н. І., Бондар О. Б., Галаган І. М. Експансивні адвентивні види урбанофлори міста Кременця та його околиць і картосхеми їх поширення. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. 2025. № 13. С. 45–53. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.3>.

3. Двірна Т. С. Географічна структура адвентивної фракції флори Роменсько-Полтавського геоботанічного округу. *Український ботанічний журнал*. 2014. Т. 71, № 3. С. 308–312. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj71.03.308>.
4. Двірна Т. С. Ергазіофіти адвентивної фракції флори Роменсько-Полтавського геоботанічного округу (Україна): конспект та аналіз. *GEO&BIO*. 2019. Т. 18. С. 21–36. <https://doi.org/10.15407/gb1804>.
5. Звягінцева К. О. Інвазійні види в урбанофлорі Харкова. *Український ботанічний журнал*. 2013. Т. 70, № 4. С. 508–513. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj70.04.508>.
6. Кисельов Ю. О., Суханова І. П., Парахненко В. Г., Швець Я. А., Черниш В. І. Адвентивна флора України: географічні особливості поширення. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30, № 1. С. 15–22. <https://doi.org/10.36930/40300101>.
7. Клименко Т. К., Сягайло І. О. Успішність впровадження інвазійних видів деревних рослин в урбофітоценози. *Екологічні науки*. 2020. № 1(28). С. 53–60. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.53>.
8. Кучер О. О. Деревні адвентивні види в біотопах Лівобережжя Сіверського Дінця (Луганська обл.). *Класифікація рослинності та біотопів України: матеріали третьої науково-теоретичної конференції* (Київ, 19–21 квітня 2018 р.). Київ, 2018. С. 93–102.
9. Мальцева С. Ю. Біоекологічний аналіз адвентивної фракції урбанофлор Північного Приазов'я (Україна). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2016. Т. 12, № 2. С. 124–131. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/16.122>.
10. Мальцева С. Ю. Аналіз адвентивної фракції урбанофлори Північного Причорномор'я (Україна). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2017. Т. 13, № 2. С. 152–159. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/17.132/2>.
11. Мамчур З. І., Чуба М. В. Апофіти і адвентивні види у флорі міста Львова. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2018. Т. 77. С. 109–118. <https://doi.org/10.30970/vlubs.2018.77.13>.
12. Мосякін С. Л., Федорончук М. М. Vascular plants of Ukraine: a nomenclatural checklist. Київ : Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, 1999. 345 с.
13. Новосад К. В., Романенко О. В. Отруйні адвентивні рослини в урбанофлорі мегаполіса (Київ). *International scientific and practical conference. Baltija Publishing*. 2021. С. 25–30. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-111-4-4>.
14. Протопопова В. В., Шевера М. В. Фітоінвазії. І. Аналіз основних термінів. *Промислова ботаніка*. 2005. Вип. 5. С. 55–60.
15. Стародуб В. І. Стан та вивчення проблеми поширення адвентивних видів рослин в агроєкосистемах України: глобальні виклики та національні перспективи. *Збалансоване природокористування*. 2025. № 4. С. 12–20. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2025.346182>.
16. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: повернення природи в наше життя [Електронний ресурс]. Київ : UNCG, 2020. URL: <https://uncg.org.ua/stratetiia-bioriznomanittia-ies-do-2030-roku-rovernennia-pryrody-v-nashe-zhyttia/> (дата звернення: 20.02.2026).
17. Хом'як І. В. Інвазії *Acer negundo* L. у порушені екосистеми гірничих об'єктів на території Українського Полісся. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 40–52. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.40>.
18. Чорнобров О. Ю., Соломаха В. А. *Robinia pseudoacacia* L. – важливий інтродукований деревний вид у захисних насадженнях лісоаграрних ландшафтів України. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 2. С. 69–78. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2023.282750>.
19. Шиндер О. І., Давидов Д. А., Ольшанський І. Г., Левон А. Ф., Несин Ю. Д. Нові флористичні знахідки у Києві та на його околицях. *Український ботанічний журнал*. 2024. Т. 81(2). С. 100–144. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.02.100>.
20. Шоль Г. Аналіз спонтанного елементу флори зелених насаджень Кривого Рогу та інвазійна активність видів інтродуцентів. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2016. Т. 17. С. 96–106.
21. Denisow B., Wrzesień M., Mamchur Z., Chuba M. Invasive flora within urban railway areas: a case study from Lublin (Poland) and Lviv (Ukraine). *Acta Agrobotanica*. 2017. Т. 70, No. 4. Article 1727. <https://doi.org/10.5586/aa.1727>.
22. Los S., Tereshchenko L., Petrenko M. Approbation of the method for assessing the invasive activity and selection value of *Robinia pseudoacacia* L. in Kirovohrad region conditions. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. 2022. № 24. С. 86–97. <https://doi.org/10.15421/412202>.
23. Udzhmadzhuridze V. G., Lisovets O. I. The impact of *Ambrosia artemisiifolia* L. on the structure and biodiversity of the urban flora of Dnipro. *Ecology and Noospherology*. 2025. Т. 36(2). С. 120–128. <https://doi.org/10.15421/032515>.
24. Zviahintseva K. O., Kazarinova H. O. Ecological component of adventive element of Kharkiv urban flora (Ukraine). *Baltija Publishing*. 2021. P. 265–282. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-111-4-15>.

References

1. Vyshenska I. H., Lysenko D. O. Monitoryng invaziynykh derevnykh vydiv roslyn v urboekosystemakh mista Kyieva. *Naukovi zapysky NaUKMA. Biolohtia i ekolohtia*. 2025. Vol. 8. P. 62–69. <https://doi.org/10.18523/2617-4529.2025.8.62-69>. [in Ukrainian]
2. Halahan O. K., Mykhaliuk I. M., Tsytsiura N. I., Bondar O. B., Halahan I. M. Ekspansyvni adventyvni vydy urbanoflory mista Kremenetsia ta yoho okolyts i kartoskhemy yikh poshyrennia. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. 2025. No. 13. P. 45–53. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.3>. [in Ukrainian]
3. Dvirna T. S. Heohrafichna struktura adventyvnoi fraktsii flory Romensko-Poltavskoho heobotanichnoho okruhu. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal*. 2014. Vol. 71, No. 3. P. 308–312. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj71.03.308>. [in Ukrainian]
4. Dvirna T. S. Erhaziiofity adventyvnoi fraktsii flory Romensko-Poltavskoho heobotanichnoho okruhu (Ukraina): konspekt ta analiz. *GEO&BIO*. 2019. Vol. 18. P. 21–36. <https://doi.org/10.15407/gb1804>. [in Ukrainian]
5. Zviahintseva K. O. Invaziini vydy v urbanoflori Kharkova. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal*. 2013. Vol. 70, No. 4. P. 508–513. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj70.04.508>. [in Ukrainian]
6. Kyselov Yu. O., Sukhanova I. P., Parakhnenko V. G., Shvets Ya. A., Chernysh V. I. Adventyvna flora Ukrainy: heohrafichni osoblyvosti poshyrennia. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2020. Vol. 30, No. 1. P. 15–22. <https://doi.org/10.36930/40300101>. [in Ukrainian]
7. Klymenko T. K., Syagailo I. O. Uspishnist vprovadzhennia invaziynykh vydiv derevnykh roslyn v urbofitotsenozy. *Ekologichni nauky*. 2020. No. 1(28). P. 53–60. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.53>. [in Ukrainian]
8. Kucher O. O. Derevni adventyvni vydy v biotopakh Livoberezhzhia Siverskoho Dintsia (Luhanska obl.). *Klasyfikatsiia roslynnosti ta biotopiv Ukrainy: materialy tretoi naukovo-teoretychnoi konferentsii* (Kyiv, 19–21 April 2018). Kyiv, 2018. P. 93–102. [in Ukrainian]
9. Maltseva S. Yu. Bioekologichni analiz adventyvnoi fraktsii urbanoflor Pivnichnoho Pryazovia (Ukraina). *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal*. 2016. Vol. 12, No. 2. P. 124–131. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/16.122/2>. [in Ukrainian]
10. Maltseva S. Yu. Analiz adventyvnoi fraktsii urbanoflory Pivnichnoho Prychornomia (Ukraina). *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal*. 2017. Vol. 13, No. 2. P. 152–159. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/17.132/2>. [in Ukrainian]
11. Mamchur Z. I., Chuba M. V. Apofity i adventyvni vydy u flori mista Lvova. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii biologichna*. 2018. Vol. 77. P. 109–118. <https://doi.org/10.30970/vlubs.2018.77>. [in Ukrainian]
12. Mosyakin S. L., Fedoronchuk M. M. *Vascular plants of Ukraine: a nomenclatural checklist*. Kyiv : M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, 1999. 345 p. [in Ukrainian]
13. Novosad K. V., Romanenko O. V. Otrui ni adventyvni roslyny v urbanoflori mehapolisa (Kyiv). *International scientific and practical conference. Baltija Publishing*. 2021. P. 25–30. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-111-4-4>. [in Ukrainian]
14. Protopopova V. V., Shevera M. V. Phytovnasii. I. Analiz osnovnykh terminiv. *Promyslova botanika*. 2005. Issue 5. P. 55–60. [in Ukrainian]
15. Starodub V. I. Stan ta vyvchennia problemy poshyrennia adventyvnykh vydiv roslyn v ahroekosystemakh Ukrainy: hlobalni vyklyky ta natsionalni perspektyvy. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2025. No. 4. P. 12–20. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2025.346182>. [in Ukrainian]
16. EU biodiversity strategy to 2030: returning nature into our lives [Internet]. Kyiv : UNCG, 2020. URL: <https://uncg.org.ua/stratetiia-bioriznomanittia-ies-do-2030-roku-povernennia-pryrody-v-nashe-zhyttia/> (Last accessed: 20. 05. 2026). [in Ukrainian]
17. Khomiak I. V. Invazii *Acer negundo* L. u porusheni ekosystemy hirnychykh obektiv na terytorii Ukrainkoho Polissia. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk*. 2025. No. 13. P. 40–52. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.40>. [in Ukrainian]
18. Chornobrov O. Yu., Solomakha V. A. *Robinia pseudoacacia* L. – vazhlyvyi introdikovanyi derevnyi vyd u zakhysnykh nasadzhenniakh lisoahrarykh landshaftiv Ukrainy. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2023. No. 2. P. 69–78. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2023.282750>. [in Ukrainian]
19. Shynder O. I., Davydov D. A., Olshanskyi I. G., Levon A. F., Nesyn Yu. D. Novi florystychni znakhidky u Kyievi ta na yoho okolytsiakh. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal*. 2024. T. 81(2). S. 100–144. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.02.100>. [in Ukrainian]
20. Shol H. Analiz spontannoho elementu flory zelenykh nasadzen Kryvoho Rohu ta invaziina aktyvnist vydiv introducentiv. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*. 2016. Vol. 17. P. 96–106. [in Ukrainian]
21. Denisov B., Wrzesień M., Mamchur Z., Chuba M. Invasive flora within urban railway areas: a case study from Lublin (Poland) and Lviv (Ukraine). *Acta Agrobotanica*. 2017. Vol. 70, No. 4. Article 1727. <https://doi.org/10.5586/aa.1727>.

22. Los S., Tereshchenko L., Petrenko M. Approbation of the method for assessing the invasive activity and selection value of *Robinia pseudoacacia* L. in Kirovohrad region conditions. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. 2022. № 24. С. 86–97. <https://doi.org/10.15421/412202>.
23. Udzhmadzhuridze V. G., Lisovets O. I. The impact of *Ambrosia artemisiifolia* L. on the structure and biodiversity of the urban flora of Dnipro. *Ecology and Noospherology*. 2025. Т. 36(2). С. 120–128. <https://doi.org/10.15421/032515>.
24. Zviahintseva K. O., Kazarinova H. O. Ecological component of adventive element of Kharkiv urban flora (Ukraine). *Baltija Publishing*. 2021. P. 265–282. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-111-4-15>.

N. M. Prokopiv

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ukraine

ADVENTIVE WOODY PLANTS OF IVANO-FRANKIVSK URBAN FLORA

The adventive component of urban flora is an important indicator of the transformation of urban ecosystems under anthropogenic influence. Adventive woody species play a particularly significant role in this process, as they form long-term communities and shape the structural organization of urban ecotopes. This article presents a comprehensive study of adventive woody species within the urban flora of Ivano-Frankivsk. A checklist of adventive woody plants was compiled based on original field investigations conducted using the route-expedition method during 2020–2024, an analysis of published literature, and examination of the herbarium collections of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University. The studied species were subjected to systematic, florogenetic, and ecological analyses.

A total of 20 adventive woody plant species belonging to 18 genera and 13 families were recorded in the study area. *Fabaceae*, *Rosaceae*, and *Vitaceae* were the most represented families in the taxonomic spectrum, reflecting general trends in the introduction of woody plants into urban environments. The adventive woody component of the Ivano-Frankivsk urban flora was found to be predominantly composed of species of North American, Mediterranean, and Asian origin. Analysis of the timing and pathways of introduction revealed a predominance of kenophytes and ergasiophytes, while assessment of the degree of naturalization highlighted the leading role of ergasiophygophytes and epecophytes. Analysis of the ecological structure showed a predominance of heliosciophytes, mesophytes, and mesotrophs, with a considerable proportion of species tolerant of varying soil fertility levels, ensuring their adaptability within transformed ecotopes. Particular attention is given to *Acer negundo* L., which demonstrates high invasive potential and actively spreads within urban ecotopes, forming stable communities.

The results obtained make it possible to identify potential directions for further monitoring of invasion processes in urban ecosystems and to develop effective strategies for managing urban biodiversity.

Keywords: dendroflora, invasions, introduced species, urbanized areas, systematic analysis.

Надійшла до редакції: 27.02.2026










Прийнята до друку: 11.03.2026

Опублікована: 30.03.2026

БІОХІМІЯ

UDC: 502/504:57(477.81) 577.47: 504.054

doi: 10.25128/2078-2357.26.1.3

²V. KHOMA , ¹K. YUNKO , ^{1,3}V. MARTYNIUK , ^{2,4}L. GNATYSHYNA ,
³E. BEREZHENKO , ⁵B. GYLYTE , ⁵R. KARITONAS , ⁵L. MANUSADŽIANAS ,
^{1*}O. STOLIAR 

¹Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University

M. Kryvonosa Str., 2, Ternopil, 46027

²Ternopil Scientific Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine

Budny Str., 48, Ternopil, 46020

³Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Ruska Str., 56, Ternopil, 46001

⁴I. Horbachevsky Ternopil National Medical University

Maidan Voli, 1, Ternopil, 46001

⁵State Scientific Research Institute Nature Research Centre

Akademijos Str., 2, Vilnius, 08412

E-mail: Oksana.Stolyar@tnpu.edu.ua

EFFECT OF CO-EXPOSURE TO GADOLINIUM, YTTRIUM AND CA-CHANNEL BLOCKER NIFEDIPINE ON BIVALVE MOLLUSCS. MODEL EXAMPLE OF MULTIPLE ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS INTERACTION

Rare earth elements (REEs) became the micropollutants of particular concern due to their increasing rapidly application in modern technologies, including military and medical demands and, correspondingly, intensive mining and processing. These activities cause concern for environmental contamination, particularly input into surface waters. The combinations of micropollutants in the surface waters can cause unpredictable biological effects. Since the REEs are expected to impact the essential metals functionality, the goal of this study was to study the effects of co-exposure to the REEs gadolinium (Gd) and yttrium (Y) with popular pharmaceutical and Ca-channel blocker nifedipine (NFD) on the essential metals zinc- and calcium-dependent manifestations in bivalve mollusc *Unio tumidus*. The mussels were treated with the mixture of gadolinium (Gd, 30 nM), yttrium (Y, 30 nM) and Ca-channel blocker nifedipine (NFD, 10 μM) for 14 days. The distribution of zinc (Zn) in the tissue with the metallothioneins (MT) participation, as well as the redox state and signs of toxicity, was analysed in the digestive gland. The exposure elevated GSH, GSSG, MT, NADH, and NAD⁺ levels, as well as the NADH/NAD⁺ ratio, while decreasing lipid peroxidation (TBARS), indicating a reductive shift. The level of Zn in the tissue and in MT increased, indicating a Zn-related mode of action. The mixture induced approximately 2-fold increases in Cyp450-dependent EROD activity probably due to the biotransformation of NFD. The caspase-3, and GTPase activities were raised attesting the apoptotic and metabolic activation correspondingly.



©2026 V. Khoma et al. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

Lysosomal integrity was not targeted, but cholinesterase inhibition was shown as the sign of neurotoxicity. Since the level of Gd in the tissue increased, unlike the level of Y, its input in the response would be of most importance. Summarizing, the applied model of multiple environmental contaminants interaction reflected the expected effect of the mixture on the functionality of essential metals resulting in the adaptive and specific responses of aquatic inhabitants.

Keywords: rare earth elements, nifedipine, multiple pollution, redox status, zinc, bivalve mollusc, thiol-containing compounds.

Rare earth elements (REEs) became the micropollutants of particular concern due to their increasing rapidly application in modern technologies, including military and medical demands and, correspondingly, intensive mining and processing. These activities cause concern for environmental contamination, particularly input into surface waters. Over the past decade, their use has increased nearly 20-fold [16]. Correspondingly, widespread interest in their supply has grown, and global production is projected to reach 247,7 tons by 2041, up from about 75,0 tons in the 1960s [8]. Among the REEs entering surface waters, particular attention is given to gadolinium (Gd) because Gd-based contrast agents (GBCAs) are widely used in magnetic resonance imaging. The increase in Gd in the water supply has been observed in areas of high population density where hospitals extensively use GBCAs [14]. Another REE of environmental concern, Yttrium (Y) has been specifically identified as a strategic defence-critical mineral due to military requirements [10]. As a consequence, the input of Y into surface waters is high in areas situated near chemical-industrial complex [5]. Generally, the median level of Gd and Y in stream water in Europe according to the FOREGS database is 6.4 nM and 72 nM correspondingly [19].

Knowledge about the biological role and toxicity of REE for aquatic species is currently rather fragmentary and mostly represented by the data for marine bivalve molluscs [4]. Since REEs expected to compete with essential metals for their centers of binding in the biomolecules, their expected biological targets are metal sensitive sub-cellular organelles, like lysosomes, membrane ion-exchange channels and oxidative stress activities [1, 15]. In the surface water, it can be expected the combine pollution by REEs and pharmaceuticals that impact the physiological metals activities. The example of such pollutant is nifedipine (NFD). NFD is a calcium (Ca) influx inhibitor, which is widely used as a cheap antianginal and antihypertensive medicine. Correspondingly, it is a common pollutant in WWT plants effluents and surface waters and contained in the sewage effluents in the ten to thousands of ng L⁻¹ [13]. Previously, the effect of NFD on the zinc (Zn) concentration and distribution, and redox-state in the bivalve molluscs was established [9, 12].

Bivalve molluscs are recognised as bioindicators of aquatic ecotoxicity, enabling long-term experiments at concentrations close to environmental levels [6]. However, available information on the effects of REEs in bivalves and other aquatic species mainly relates to acute exposures at unrealistic concentrations or long-term studies focused on the morphometric parameters and lethality [3, 11, 15, 17]. Therefore, the goal of this study was to study the effects of co-exposure to the REEs gadolinium (Gd) and yttrium (Y) with Ca-channel blocker nifedipine (NFD) on the essential metals Zn-dependent manifestations in bivalve mollusc *Unio tumidus* under the environmental level of contaminants.

Materials and methods

All reagents, except NFD, were at least Reagent grade and sourced from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA) or from SynbiaS (Ukraine). NFD was obtained from JSC "Lekhim" (UA/8603/01/01).

The adult specimens of *Unio tumidus* (length 8.9±0.4 cm and weight 58.8±5.5 g, mean±SD) were collected in summer (July 2024) from the middle streams of the Dniester River basin. After acclimation, molluscs were distributed to two groups: untreated molluscs (C-group), and groups treated with the mixture of Gd (30 nM), Y (30 nM) and NFD (10 µM) over 14 days at 18 °C. After exposure, molluscs were immediately dissected on ice. The digestive gland tissues were utilised. The detailed description of the methods applied for the study is done in the recent works [18, 21]. For the redox state analysis, we assayed nicotinamide coenzymes NADH and NAD⁺ and reduced and oxidised glutathione (GSH&GSSG) concentrations in the protein-free extract. The concentration of metallothionein protein (MTSH) was determined by analysing MT-related thiols and to determine Zn bound to metallothioneins (ZnMT), heat-denatured proteins were isolated by the chromatography on a

Sephadex G-50 column The concentrations of Zn in the tissue (Zn t) and in the merged MT-containing eluate (ZnMT) were determined in the reaction of the complexation of Zn(II) with 5-Br-PAPS. The levels of Gd and Y in the tissues were determined using a PerkinElmer Optima 7000 Dual View ICP-OES. To evaluate the level of oxidative damage, lipid peroxidation products were measured in the supernatant of a 10% (w/v) homogenate by the production of thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS)

For the evaluation of biotransformation, the cytochrome P450 (CYP450) related ethoxyresorufin *O*-deethylase (EROD) activity was measured. The GTP-ase (EC: 3.6.5.5) activity was assayed to indicate the metabolic state. For the assessment of toxicity, the cholinesterase (ChE, EC 3.1.1.7) activity, lysosomal membrane stability and caspase-3 (EC 3.4.22.56)-related activity were determined.

For all traits, the sample size was eight individuals, except for Zn in MTs determination, where combined samples from five specimens were analysed in two iterations per group, each with four technical replicates and Gd and Y determination (n=4). Results were expressed as mean ± SD. Data were tested for normality and homogeneity of variance using the Shapiro-Wilk and Levene's tests, respectively. Whenever possible, data were normalised using the Box-Cox transformation. A one-way ANOVA was used to test the effect of treatments, followed by post hoc tests. For data that were not normally distributed, non-parametric tests (Kruskal-Wallis ANOVA and Mann-Whitney U test) were performed. The IBM SPSS Statistics version 24 software for Windows was used for calculations.

Results and discussion

Analysis of REE concentrations in the tissue (Table 1) showed that only Gd was detectable in the exposed group, whereas Y was not detected in the samples.

Table 1

Gadolinium and yttrium concentrations (µg/g FW) in the digestive gland of *U. tumidus* after 14 days of exposure to mixture of Gd, Y and nifedipine. Data expressed as mean ± SD (n=4).

REE	Group	
	Control	Mix
Gd	<0.2	0.29±0.15
Y	<0.2	<0.2

Remark: n.d., not determined; <0.2, less than measurement limit correspondent to 5 µg/L.

The concentration of Zn in the tissue and in MT (ZnMT) was higher in the exposed group (Fig. 1) with the proportion of ZnMT in the total tissue Zn pool 28 - 32%.

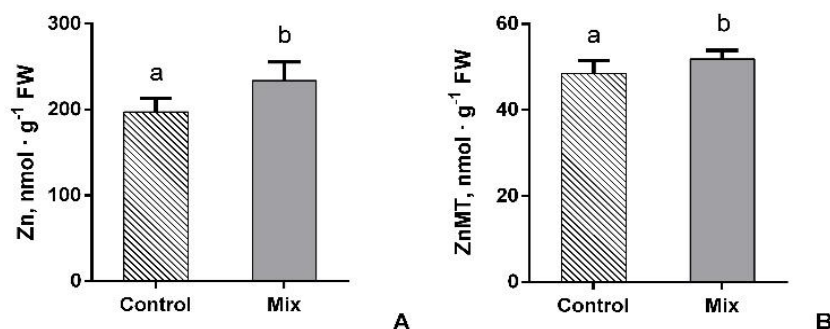


Fig. 1. Concentrations of zinc in the tissue (Zn) and metallothioneins (ZnMT) in the digestive gland of *U. tumidus* exposed to combination of Gd, Y and nifedipine over 14 days: A – Zn; B – ZnMT. Data are presented as mean ± SD (n = 8 from individual samples for Zn and n = 8 from four replicates of two independent chromatographic samples in each group. Here and on the Fig. 2,3,4, different letters above the columns indicate statistically significant differences (P < 0.05).

The evaluation of the low weight cellular thiols (Fig. 2) indicated that the exposure led to a remarkable increase in the concentrations of both GSH and GSSG without changing the RI GSH whereas the level of metallothionein protein (MTSH) remained similar to the control.

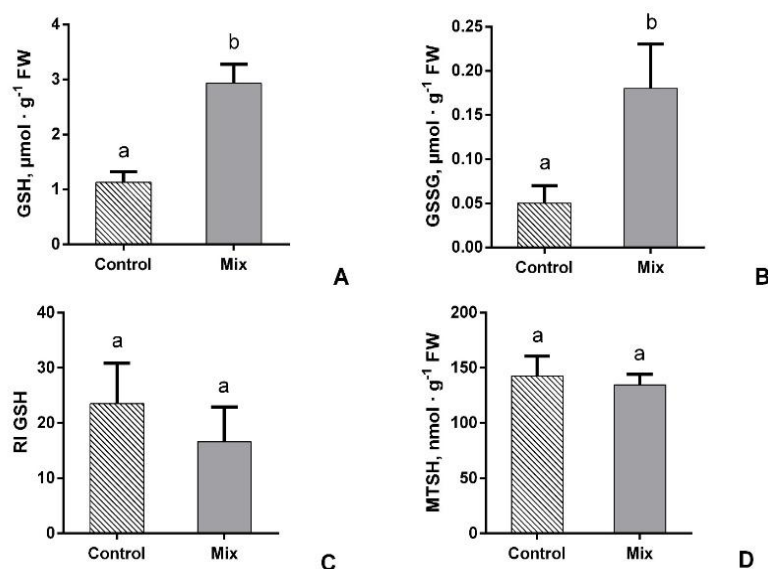


Fig. 2. Concentration of low molecular weight thiols in the digestive gland of *U. tumidus* after 14 days of experimental exposure to combination of Gd, Y and nifedipine: A – GSH concentration; B – GSSG concentration; C – redox index of glutathione (RI GSH); D – MTSH concentration. The level of Zn in the tissue and in MT increased, indicating a Zn-related mode of action. Data are presented as mean ± SD (n = 8).

The exposure increased the levels of nicotinamide coenzymes NAD^+ and, particularly, NADH, with a significant reductive shift in their ratio (Fig. 3A–C). The level of lipid peroxidation, as evaluated by TBARS, decreased compared to the control (Fig. 3D). The lysosomal membrane stability was not changed by the exposure. Caspase-3 activity increased compared to the control and cholinesterase activity decreased. Activities of EROD and GTPase increased prominently (Fig. 4).

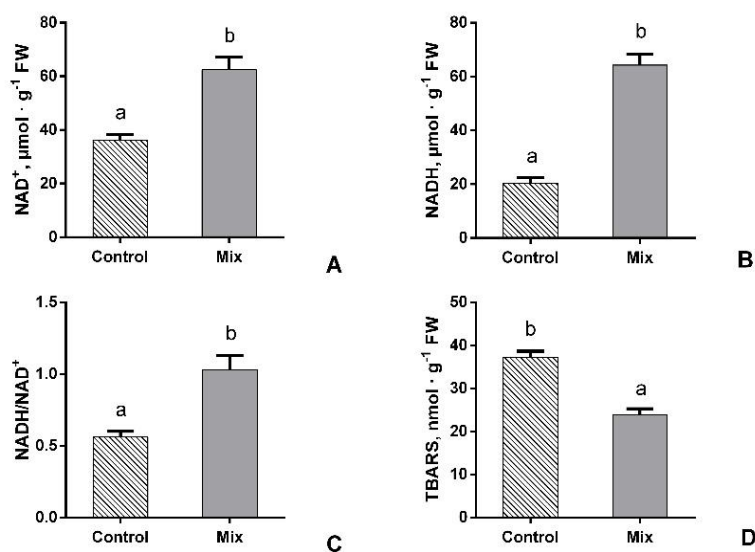


Fig. 3. Reductive-oxidative biomarkers in the digestive gland of *U. tumidus* after 14 days of experimental exposure to combination of Gd, Y and nifedipine: A – level of NAD^+ ; B – level of NADH; C – NAD^+/NADH concentration ratio; D – TBARS production. Data are presented as mean ± SD (n=8).

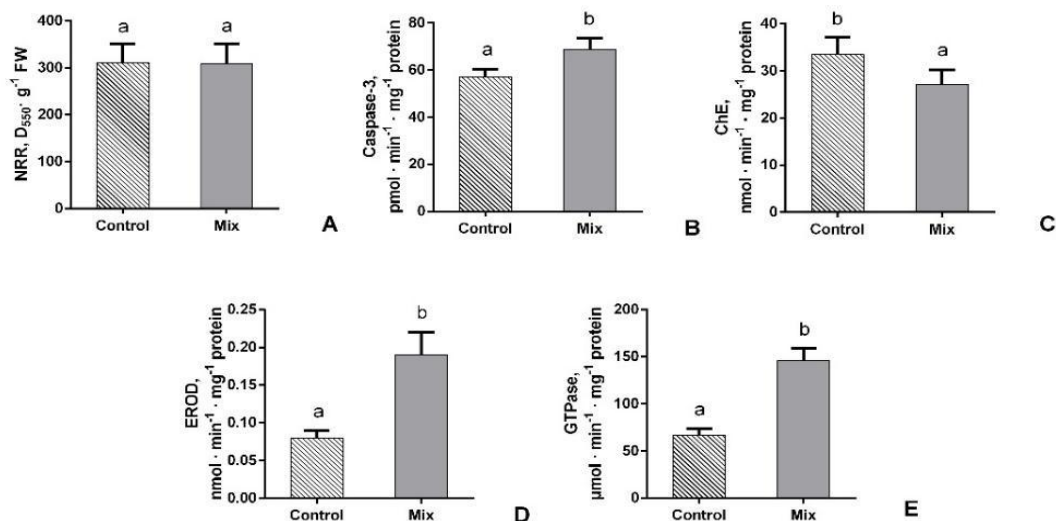


Fig. 4. Cytotoxicity and biotransformation parameters in the digestive gland of *U. tumidus* exposed to combination of Gd, Y and nifedipine: A – lysosomal membrane instability (NRR); B – caspase-3 activity; C – cholinesterase (ChE) activity; D – EROD activity; E – GTPase activity. Data are presented as mean ± SD (n=8).

Since the realistic surface waters represent so called “chemical cocktail”, the multifactor exposures is the important step in the recognition of adaptivity of aquatic species to the polluted environment [20]. In the present study we distinguished two kinds of responses: the adaptive reductive shift and specific effects on the metal functionality and biotransformation.

The reductive shift detected directly from NADH/NAD⁺ raise is a typical response to eustress in mussels [18, 21]. Its adaptive significance is attested by GSH&GSSG increase without changes in RI GSH that provides the reductive state and prevent the oxidative lesions. Indeed, the absence of destructive changes of lipids (TBARS) and lysosomes support this statement. The high redox state in cells can produce reduced MTSH and increased its ability to bound Zn, providing the reserve of this essential metal within the cells. The effect of REEs and NFD did not distort MT functionality. Similar results were shown in the single exposures mussels to NFD [9, 12]. The activation of GTP-ase can also be linked to general metabolic regularities under reductive-state control. Similarly, this effect was demonstrated for *U. tumidus* in response to caffeine, chlorpromazine, and microplastics separately and in combination, depending on the redox state [21]. Collectively, our data suggest a strong reductive effect of Gd and Y in the combination with NFD, evidenced by decreased lipid peroxidation levels, which indicates effective minimisation of oxidative damage. The antioxidant effect of REEs can be explained by the increased redox state in the tissue, including the utilisation of MTSH as an antioxidant. The available data on the impact of REEs on oxidative stress are contradictory, likely depending on the specific exposure [1, 2]. For example, the oxidative stress was caused by the acute exposure of *D. polymorpha* to extremely high concentrations (125 mg/L) of terbium, La, Gd and praseodymium [3].

Typical Zn effect is the inhibition of caspase-3 activity [7]. In opposite, its activity increased in the exposed group, similarly as it was reported for the effect of NFD alone [9, 12]. Probably, increased level of Gd can also cause this distortion. Our data on molluscs’ ability to accumulate Gd in the digestive gland at a low concentration of 30 nM in water are supported by the results of Andrade et al. (2023a), who reported the detection of Gd in the tissues of *M. galloprovincialis* after exposure to 10 μg/L of Gd for 28 days [1]. Andrade et al. (2023b) also found an increased level of Y in the soft tissues of *M. galloprovincialis* after 28 days of exposure to 5 μg/L of Y [2]. However, they did not analyse the effect of REEs contained mixtures. Importantly, the mixture influenced biotransformation activity (EROD), confirming the data on the activation of cytochrome P-450 family member expression by NFD in higher vertebrates [22]. Despite the general evidence of adaptive response of

mussels to the applied exposure, cholinesterase inhibition indicated the neurotoxicity as a result of multiple contaminants interaction.

Conclusions

Generally, the present study employed a simplified model of the real-world multiple-stressor effect by combining two REEs and a pharmaceutical at environmentally realistic concentrations. In this model, we demonstrate that multiple chemicals interaction reduces the typical manifestations of Zn functionality with Gd and NFD in the mixture contributing to this modulation. For the studied model, the freshwater mussel *U. tumidus* specific response to chemical combinations related to environmental conditions can be attributed to its adaptive ability as a facultative anaerobe to induce a reductive shift.

1. Andrade M., Soares A.M.V.M., Solé M., Pereira E., Freitas R. Gadolinium accumulation and its biochemical effects in *Mytilus galloprovincialis* under a scenario of global warming. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2023a. Vol. 30. P. 116120–116133. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30439-2>.
2. Andrade M., Soares A.M.V.M., Solé M., Pereira E., Freitas R. Threats of pollutants derived from electronic waste to marine bivalves: the case of the Rare-Earth Element Yttrium. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2023b. Vol. 42, No 1. P. 166–177. <https://doi.org/10.1002/etc.5508>.
3. Aydın A. N., Serdar O. Determination of oxidative stress responses in *Dreissena polymorpha* exposed to Rare Earth Elements (Terbium, Lanthanum, Gadolinium and Praseodymium) with temperature. *Acta Aquatica Turcica*. 2025. Vol. 21, No 2. P. 145–157. <https://doi.org/10.22392/actaquat.1585378>.
4. Banaee M., Mossotto C., Maganza A., Azizi R., Prear M., Pastorino P., Faggio C. Rare earth elements on aquatic organisms: Toxicity, detoxification, and ecological implications. *Emerging Contaminants*. 2025. Vol. 11, No 1. P. 100457. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100457>.
5. Brito P., Prego R., Mil-Homens M., Caçador I., Caetano M. Sources and distribution of yttrium and rare earth elements in surface sediments from Tagus estuary, Portugal. *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 621. P. 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.245>.
6. Chahouri A., Yacoubi B., Moukrim A., Banaoui A. Bivalve molluscs as bioindicators of multiple stressors in the marine environment: recent advances. *Continental Shelf Research*. 2023. Vol. 264. P. 105056. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.105056>.
7. Dutsch-Wicherek M., Sikora J., Tomaszewska R. The possible biological role of metallothionein in apoptosis. *Frontiers in Bioscience*. 2008. Vol. 13. P. 4029–4038. <https://doi.org/10.2741/2991>.
8. El Azhari H., Cherif E.K., El Halimi R., Azzirgue E.M., Ou Larbi Y., Coren F., Salmoun F. Predicting the Production and Depletion of Rare Earth Elements and Their Influence on Energy Sector Sustainability through the Utilization of Multilevel Linear Prediction Mixed-Effects Models with R Software. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No 5. P. 1951. <https://doi.org/10.3390/su16051951>.
9. Falfushynska H., Gnatyshyna L., Yurchak I., Sokolova I., Stoliar O. The effects of zinc nanooxide on cellular stress responses of the freshwater mussels *Unio tumidus* are modulated by elevated temperature and organic pollutants. *Aquatic Toxicology*. 2015. Vol. 162. P. 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.03.006>.
10. Grasso V. B. Rare Earth Elements in national defense: background, oversight issues, and options for congress. Digital Library of the University of North Texas. 2013. URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc83958/> (accessed 1 July 2025).
11. Gylytė B., Martinyuk V., Cimpmperman R., Karitonas R., Stoliar O., Manusadžianas L. Long-term toxicity of chlorpromazine, diclofenac and two lanthanides on three generations of *Ceriodaphnia dubia*. *PeerJ*. 2023. Vol. 11. P. e16472. <https://doi.org/10.7717/peerj.16472>.
12. Khoma V., Gnatyshyna L., Martinyuk V., Mackiv T., Mishchenko L., Manusadžianas L., Stoliar O. Common and particular biochemical responses of *Unio tumidus* to herbicide, pharmaceuticals and their combined exposure with heating. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 208. P. 111695. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111695>.
13. Kolpin D. W., Furlong E. T., Meyer M. T., Thurman E. M., Zaugg S. D., Barber L. B., Buxton H. T. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in US streams, 1999–2000: a national reconnaissance. *Environmental Science & Technology*. 2002. Vol. 36. P. 1202–1211. <https://doi.org/10.1021/es011055j>.
14. Kümmerer K., Helmers E. Hospital effluents as a source of gadolinium in the aquatic environment. *Environmental Science & Technology*. 2000. Vol. 34. P. 573–577. <https://doi.org/10.1021/es990633h>.
15. Lachaux N., Otero-Fariña A., Minguez L., Sohm B., Rétif J., Châtel A., Poirier L., Devin S., Pain-Devin S., Gross E.M., Giamberini L. Fate, subcellular distribution and biological effects of rare earth elements in a

- freshwater bivalve under complex exposure. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 905. P. 167302. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167302>.
16. Malhotra N., Hsu H.S., Liang S.T., Roldan M.J.M., Lee J.S., Ger T.R., Hsiao C.D. An updated review of toxicity effect of the rare earth elements (REEs) on aquatic organisms. *Animals*. 2020. Vol. 10, No 9. P. 1663. <https://doi.org/10.3390/ani10091663>.
 17. Manusadžianas L., Vitkus R., Gylytė B., Cimmperman R., Džiugelis M., Karitonas R., Sadauskas K. Ecotoxicity responses of the macrophyte algae *Nitellopsis obtusa* and freshwater crustacean *Thamnocephalus platyurus* to 12 Rare Earth Elements. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, No 17. P. 7130. <https://doi.org/10.3390/su12177130>.
 18. Martyniuk V., Khoma V., Matskiv T., Baranovsky V., Orlova-Hudim K., Gylytė B., Symchak R., Matciuk O., Gnatyshyna L., Manusadžianas L., Stoliar O. Indication of the impact of environmental stress on the responses of the bivalve mollusk *Unio tumidus* to ibuprofen and microplastics based on biomarkers of reductive stress and apoptosis. *Comparative Biochemistry and Physiology C: Toxicology & Pharmacology*. 2022. Vol. 261. P. 109425. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109425>.
 19. Revel M., van Drimmelen C.K.E., Weltje L., Hursthouse A., Heise S. Effects of rare earth elements in the aquatic environment: implications for ecotoxicological testing. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2025. Vol. 55, No 5. P. 334–375. <https://doi.org/10.1080/10643389.2024.2406992>.
 20. Segner H. Ecotoxicology – how to assess the impact of toxicants in a multi-factorial environment? C. Mothersill, I. Mosse, C. Seymour (eds.), *Multiple Stressors: A Challenge for the Future*. NATO Science for Peace and Security Series. Dordrecht: Springer, 2007. P. 41–57. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6335-0_4.
 21. Yunko K., Martyniuk V., Gnatyshyna L., Khoma V., Matskiv T., Tulaidan H., Mykhalyuk O., Karitonas R., Gylytė B., Manusadžianas L., Stoliar O. Alleviation of specific responses in the combined exposure of freshwater mussel *Unio tumidus* to psychoactive substances and microplastics. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2025. Vol. 116. P. 104682. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2025.104682>.
 22. Zangar R. C., Okita J. R., Kim H., Thomas P. E., Anderson A., Edwards R. J., Springer D. L., Okita R. T. Effect of calcium channel antagonists nifedipine and nicardipine on rat cytochrome P-450 2B and 3A forms. *The Journal of pharmacology and experimental therapeutics*. 1999. Vol. 290, No 3. P. 1436–1441. [https://doi.org/10.1016/S0022-3565\(24\)35051-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3565(24)35051-7).

²В. Хома, ¹К. Юнко, ^{1,3}В. Мартинюк, ^{2,4}Л. Гнатишина, ³Є. Береженко, ⁵Б. Гилите, ⁵Р. Каритонас, ⁵Л. Манусаджянас, ^{1*}О. Столяр

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна

²Тернопільський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр, МВС України

³Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

⁴Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, Україна

⁵Державний науково-дослідний інститут центр природничих досліджень, Вільнюс, Литва

СПІЛЬНИЙ ВПЛИВ ГАДОЛІНІЮ, ІТРІЮ ТА БЛОКАТОРА КАЛЬЦІЄВИХ КАНАЛІВ НІФЕДИПІНУ НА ДВОСТУЛКОВИХ МОЛЮСКІВ. МОДЕЛЬНИЙ ПРИКЛАД ВЗАЄМОДІЇ МНОЖИННИХ ЕКОЛОГІЧНИХ КОНТАМІНАНТІВ

Рідкісноземельні елементи (РЗЕ) стали мікробруднювачами, що викликають особливе занепокоєння, через їх стрімко зростаюче використання у сучасних технологіях, зокрема у військовій та медичній сферах, а також інтенсивним видобутком і переробкою. Така діяльність викликає занепокоєння щодо забруднення навколишнього середовища, особливо потрапляння РЗЕ у поверхневі води. Комбінації мікробруднювачів у поверхневих водах можуть спричинити непередбачувані біологічні ефекти. Оскільки очікується, що РЗЕ впливатимуть на функціональність есенціальних металів, метою цього дослідження було вивчити ефекти спільного впливу РЗЕ – гадолінію (Gd) та ітрію (Y) у поєднанні з популярним фармацевтичним препаратом та блокатором кальцієвих каналів ніфедипіном (NFD) на цинк- та кальцій-залежні процеси есенціальних металів у двостулкових молюсків *Unio tumidus*. Молюсків піддавали дії суміші гадолінію (Gd, 30 нМ), ітрію (Y, 30 нМ) та блокатора кальцієвих каналів ніфедипіну (NFD, 10 мкМ) протягом 14 днів. У травній залозі аналізували розподіл цинку (Zn) у тканині за участю металотіонеїнів (MT), а також окисно-відновний стан та ознаки токсичності. Вплив суміші призводив до підвищення рівнів GSH, GSSG, MT, NADH та NAD⁺, а також співвідношення NADH/NAD⁺, одночасно знижуючи перекисне окиснення ліпідів (TBARS), що вказує на відновний зсув. Рівень Zn у тканині та в MT зростає, що вказує на цинк-залежний механізм дії. Суміш індукувала приблизно 2-кратне збільшення активності EROD, залежної від

Сур450, ймовірно, через біотрансформацію NFD. Активність каспази-3 та ГТФази підвищувалася, що свідчить про апоптотичну та метаболічну активацію. Цілісність лізосом не була порушена, тоді як інгібування холінестерази свідчило про прояви нейротоксичності. Оскільки рівень Gd у тканині збільшувався, на відміну від рівня Y, його внесок у відповідь, ймовірно, є більш значущим. Підсумовуючи, застосована модель взаємодії множинних забруднювачів навколишнього середовища відображає очікуваний вплив суміші на функціональність есенціальних металів, що призводить до адаптивних та специфічних реакцій водних організмів.

Ключові слова: рідкісноземельні елементи, ніфедипін, множинне забруднення, редокс-стан, цинк, двостулкові молюски, тіолвмісні сполуки.

Надійшла до редакції: 27.02.2026

Прийнята до друку: 13.03.2026

Опублікована: 30.03.2026

M. NEMERKO , K. YUNKO , O. STOLIAR 

¹Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
M. Kryvonosa Str., 2, Ternopil, 46027
E-mail: Oksana.Stolyar@tnpu.edu.ua

THE EFFECT OF ZINC AND RARE EARTH ELEMENTS ON METALLOTHIONEIN OF BIVALVE MOLLUSC RECONSTITUTED *IN VITRO*

Rare earth elements (REEs) are increasingly attracting attention as new pollutants due to their growing use in various industries, leading to environmental contamination. Metallothioneins (MT) are low molecular weight proteins rich in cysteine that are capable of binding d-metals, both essential and toxic. Since the REEs exhibit the ionic mimicry with the essential metals, their ability to bind to MT can be expected. However, data on the utilizing of MT as a molecular targets of REEs, in particular gadolinium (Gd^{3+}) and yttrium (Y^{3+}) are currently lacking. Bivalve molluscs belong to the main filtered organisms in the freshwater bodies, and, consequently, they can accumulate the REEs in their tissues. Therefore, the aim of this study was to compare the ability of MT to reconstruct their native structure with the essential metal Zn^{2+} and representative REEs Gd^{3+} and Y^{3+} utilizing the UV-spectral peculiarities of MT. To do this, MT was isolated from the digestive gland of bivalve mollusc *Unio tumidus* using gel permeable chromatography and subjected to demetalation by 0.05 M HCl. Resulted partially metallated metallothionein (pMT) was subjected to chromatography again and incubated with Zn^{2+} , Gd^{3+} and Y^{3+} ions for 60 min with the aim to reconstitute the metallothionein during 1 h (MTr 1 h) and 24 h (MTr 24 h). MTr was exposed to H_2O_2 in two concentrations (0.5 mM and 5 mM) for 1 h to assess the stability of thiolate clusters. For all utilized forms (MT, pMT, MTr 1h, MTr 24 h) UV-spectra were determined and their indexes of absorption were calculated.

The results of the study indicated partial demetallisation of MT in an acidic solution. Incubation with each of the three metals for 1 hour led to a decrease in spectral intensity at 255 nm, with Gd-MTr causing the greatest decrease in spectral intensity in this range. The decrease at 215–220 nm (in the blue shift region) indicated the ability of these metals to influence zinc binding. All types of MTr exhibited virtually identical spectral absorptions across all ranges after 24 hours. Furthermore, over 24 hours, Zn-MTr significantly altered the absorption of MT, which may indicate a redistribution of metals, whereas the absorption for Gd and Y MTr was not changed prominently.

Following treatment with 0.5 mM H_2O_2 for 1 hour, Gd-MTr showed an increase of absorption at 255 nm, whilst Zn-MTr showed a strong increase in absorption at 215–220 nm. Y caused a decrease in this area of spectra. Exposure to 5 mM H_2O_2 led to an increase in absorption at 255 nm in Zn-MTr and Gd-MTr. Particularly, Y-MTr exhibited the greatest decrease in spectral absorption in these ranges, indicating the susceptibility of Y-MTr to oxidation, whilst Gd-MTr exhibited the highest spectral peak at 255 nm.

Summarising, basing on the spectral features, we confirmed the ability of Gd and Y to reconstruct the metal-thiolate clusters similar to Zn-thiolate clusters, typical for Zn-MT. The reconstituted Gd-MTr were more stable for the oxidation than Y-MTr.

Keywords: Metallothionein, apothionein, gadolinium, yttrium, UV-spectrum.

Rare earth elements (REEs) are widely used in various industries due to their special chemical and physical properties. Their use leads to serious environmental pollution. Many studies show the negative impact of REEs, in particular Gd^{3+} and Y^{3+} , on the redox state of aquatic animals [1, 6]. However, the molecular targets of their binding within the cells are not studied thoroughly [2].



©2026 M. Nemerko et al. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

Metallothioneins (MT) are thermostable low molecular weight proteins (6-8 kDa). These proteins have a unique structure and properties completely lacking aromatic amino acids (tyrosine, tryptophan, phenylalanine). On the other hand, they are rich in cysteine (~30%) providing a high ability to bind metals, forming in the typical MT two metal-thiolate clusters [17]. Correspondingly, they have particular spectral features, lacking the typical for most proteins 280 nm absorption peak and exhibits a characteristic shoulder at 250 nm, which together with the absence of any significant absorbance at 280 nm, has been used as an indicator of the MT presence. However, the kind of bounded metal influences the features of typical peak. Therefore, the particular metal composition of MT can be identified by their UV-spectrum characteristics [3, 18].

Since the MT are involved in the binding and transport of irreplaceable physiological metals zinc (Zn^{2+}) and copper (Cu^{+}) and the detoxification of toxic metals cadmium (Cd^{2+}) and mercury (Hg^{2+}) regulating their homeostasis [14], the analysis of UV-spectra of MT are crucially important for the identification of their metal composition. Besides, MT are also involved in many physiological and pathological processes, due to the ability to absorb reactive oxygen species (ROS), and they are highly sensitive to the presence of oxidants in the medium [4, 16].

Zn^{2+} is one of the most important essential metals in living organisms and the most common metal associated with MT. Zn^{2+} is also a common cofactor that enables the functioning of many enzymes [8]. A deficiency or excess of free Zn^{2+} can lead to many pathologies, so it is important to regulate its concentration within the cell. Particularly, bound Zn^{2+} in MT plays an important role as an indicator of redox status. For example, during oxidative stress, ROS can release Zn^{2+} from MT, which in turn leads to an increase in its concentration within the cell, activating a transcription factor (MTF-1) that has domains for Zn^{2+} binding. The binding of Zn^{2+} to MTF-1 leads to its activation and an increase in the total amount of MT capable of absorbing ROS. Heavy metals such as Cd^{2+} and Hg^{2+} are capable of displacing Zn^{2+} from MT, which leads to an increase in MT synthesis and heavy metal binding [7, 10, 12].

Since the REEs exhibit the ionic mimicry with the essential metals [2], their ability to bind to MT can be expected. However, data on the utilizing of MT as a molecular targets of REEs, in particular gadolinium (Gd^{3+}) and yttrium (Y^{3+}), are currently lacking. It is therefore important to elucidate whether the MT can bind these metals. Bivalve molluscs belong to the main filtered organisms in the freshwater bodies, and, consequently, they can accumulate the REEs in their tissues [1]. Therefore, the aim of this study was to compare the ability of MT to reconstruct their native structure with the essential metal Zn^{2+} and representative REEs Gd^{3+} and Y^{3+} utilizing the UV-spectral peculiarities of MT.

Materials and methods

Sample preparation and obtaining a thermostable fraction. Metallothioneins were isolated from the digestive gland of bivalve molluscs *Unio tumidus* (Philipson, 1788) using gel permeation chromatography of the thermostable fraction of proteins. To obtain a homogenate, tissue samples from five animals were combined and homogenised (1:10 w/v) in 10 mM Tris-HCl buffer (pH 8.0) containing 10 mM 2-mercaptoethanol (Sigma-Aldrich) to prevent oxidation of SH-groups and 0.1 mM inhibitor phenylmethylsulfonyl fluoride protease (Sigma-Aldrich) as it was described in Falfushynska et al. (2010) [3]. The homogenate was centrifuged for 45 minutes at 16,000 g and 4°C. The resulting supernatant was exposed to a temperature of 85°C for 5 minutes to precipitate thermolabile proteins, after which centrifugation was repeated under similar conditions. The resulting supernatant containing thermostable proteins was fractionated by gel filtration on a chromatography column (50×1.5 cm) packed with Sephadex G-50 (Sigma-Aldrich). Elution was performed by Tris-HCl buffer (pH 8.0) with the addition of 10 mM 2-mercaptoethanol at a rate of 0.33 ml/min. The eluent did not contain EDTA to prevent the loss of metals bound to proteins. Twenty fractions of 5 ml each were collected.

Identification of MT. The optical density of the fractions was measured using a ULAB 102 spectrophotometer at wavelengths of 254 nm and 280 nm. The chromatographic column was calibrated using proteins of known molecular weight: albumin (67 kDa), chymotrypsin (25 kDa), cytochrome C (12.3 kDa), insulin (5.8 kDa) (Sigma-Aldrich markers were used). MTs were identified as thermostable low-weight proteins characterised by a high D254/D280 ratio. The two fractions with the highest MT content were combined (total volume 10 ml) and their UV spectrum was recorded.

Obtaining demetalated thioneins and their reconstruction. To obtain the apo form of MT (apo-MT), the isolated fraction containing MT was repeatedly eluted on a Sephadex G-50 column (50×1.5 cm) using a 0.05 M HCl solution (elution rate 0.5 ml/min, fraction volume 5 ml). Detection was performed at 220 nm [3]. The fraction containing apothionein was used to reconstruct metallothionein by incubation with a freshly prepared 0.6% solution (132 mg of ZnSO₄·7H₂O, 71 mg of GdCl₃·6H₂O and 102 mg of YCl₃·6H₂O) were added. of rare earth elements (Gd, Y) and Zn salts in 0.1 M deaerated HCl containing 4% NaCl. The incubation lasted 60 minutes, after which the UV spectra of the obtained fractions were recorded.

Determination of oxidative modifications of MT. Oxidation of MT *in vitro* was modelled by incubating the purified MT fraction with H₂O₂ solutions (0.5 mM and 5 mM) at 25 °C for 60 minutes, after which the UV spectrum was recorded. For all utilized forms of MTs, the indexes of absorption D215/D230, D260/D230, D245/D280, D255/D280, D245/D295 were calculated to indicate the changes in the typical spectra characteristics.

Results and discussion

MT isolation. Using gel permeable chromatography, two fractions were isolated from the supernatant of mollusc digestive glands: a high molecular weight fraction (~67 kDa), which may indicate incomplete isolation of high molecular weight compounds, and a low molecular weight fraction (~6 kDa). The low molecular weight fraction had all the characteristics of MT, namely: molecular weight of the fraction about 7 kDa, thermostability (no denaturation occurred at 85-90°C for 5-10 min), specific UV absorption of about 254-255 nm, which is characteristic of metal-thiolate clusters, and no absorption at 280 nm, indicating the absence of aromatic amino acids in the protein composition [5].

Apothionein is a form of MT that is unbound to metals and is characterised by a lack of absorption above 230 nm. This has made it possible to use UV absorption above 230 nm to detect the content of certain metals in MT. For example, Cd-MT has a specific spectral absorption at 250 nm, which allows its presence in MT to be determined. The shoulder in the UV spectrum below 240 nm is characteristic of Zn-MT [15].

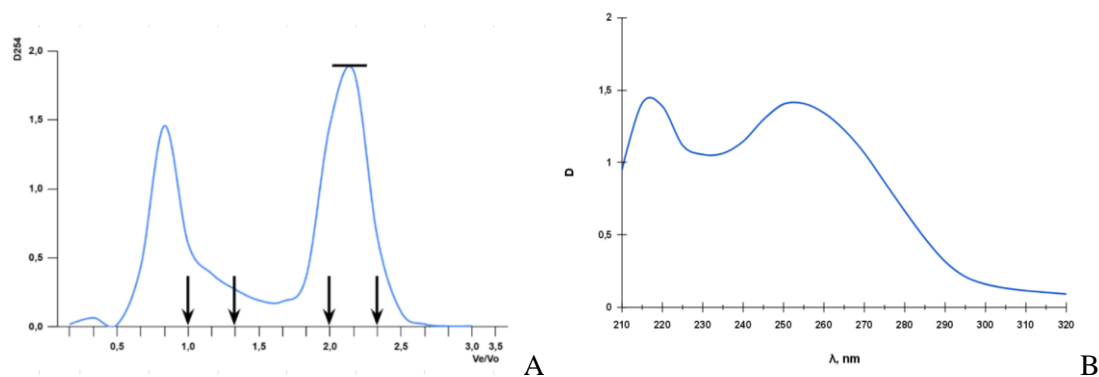


Fig. 1. Elution profiles (A) and UV-spectra (B) of thermostable proteins from the digestive gland of a mollusc.

Note: in Fig. 1 A, the arrows indicate the elution volume of markers: albumin (66 kDa) 1.0; chymotrypsin (25 kDa) 1.33; cytochrome c (12 kDa) 2.0; insulin (5.8 kDa) 2.33. Ve – elution volume; Vo – external gel volume.

Isolation of pMT. After isolation, MT was subjected to gel permeable chromatography, after which one fraction with a molecular weight of approximately 6 kDa was isolated.

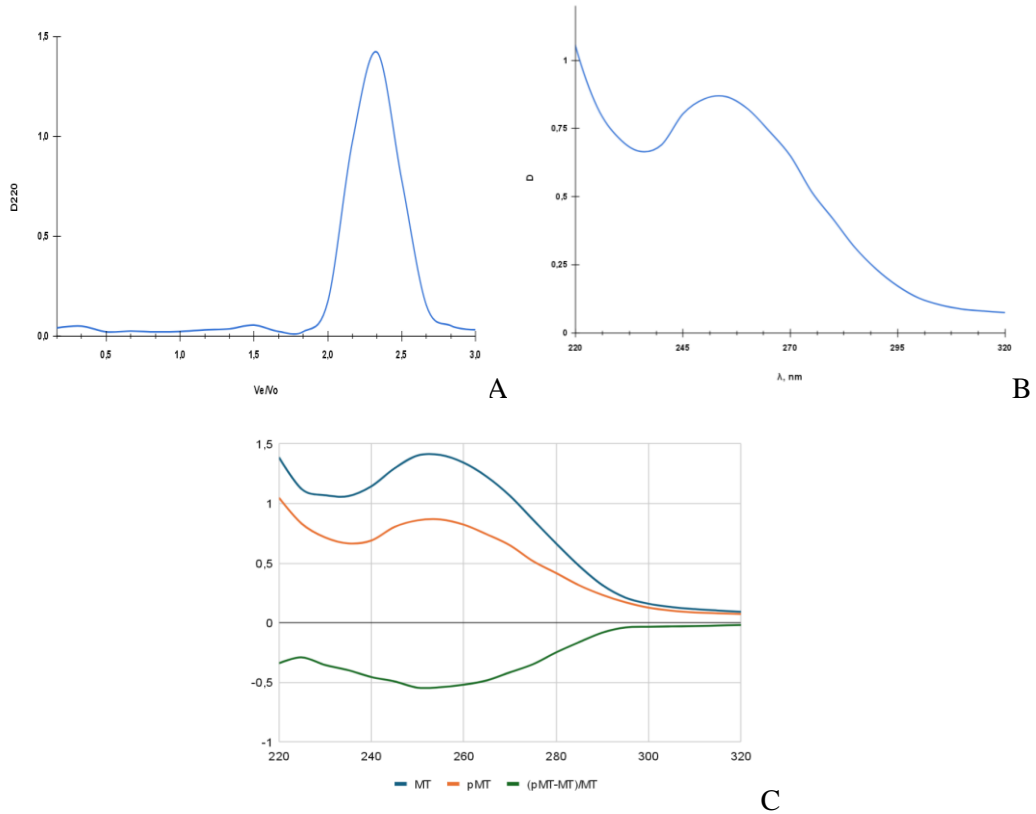


Fig. 2. Elution profiles (A), UV spectra (B), and difference between the spectra of metallothioneins and purified thionein (C) in the digestive gland of a mollusc.

However, as can be seen in Fig. 2 B, the peak at 220 nm disappeared and the peak at 255 nm decreased. This indicates partial removal of metals from MT without the formation of the apo-MT, indicating a strong stability of MT to the effect of 0.05 M HCl.

Incubation of pMT with Zn, Gd and Y. After receiving, pMT was incubated in the presence of Zn^{2+} , Gd^{3+} or Y^{3+} for 1 h and 24 h, respectively. During the exposure to each of three metals for 1 h, the spectral absorption was analysed.

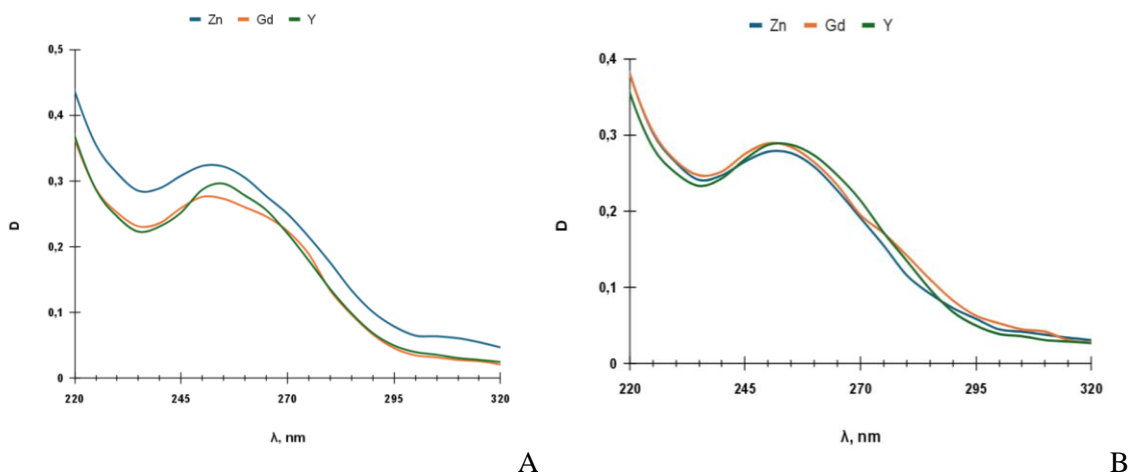


Fig. 3. UV spectra of apo-MT after incubation with Zn, Gd, and Y for 1 h(A) and 24 h (B).

It is important to note that the secondary structure of MT depends directly on the metals to which it is bound [13, 15]. The UV-spectra indicates the correspondent particularities. Particularly, the

elevated absorption of UV radiation at a wavelength of 250 nm, typical for Cd-MT, occurs during charge transfer from the ligand to the metal (LMCT). The absorption of UV radiation at a wavelength of 255 nm characterises Cu-MT. This difference is explained by the ability of Zn-MT and Cd-MT to form tetrahedral structures, whereas Cu-MT form various structures, such as tetrahedral, trigonal and diagonal geometries, where different geometric structures can influence the absorption spectra. Interestingly, after adding Zn^{2+} to pMT, there was no increase in the characteristic absorption at 215–240 nm, on the contrary, absorption in this range decreased. It is worth of mention, that the use of UV spectra to detect metals in heteronuclear clusters is problematic because the identity of metal chromophores is often disrupted, and it is difficult to separate the contribution of each metal in the spectra [15].

Consequently, it is currently very difficult to draw definitive conclusions about the structure of the formed clusters and to explain the exact nature of the UV spectra at 220 nm and 255 nm, because, according to the spectral peculiarities, the MT were only partially demetalated under the step of depuration. This may be due to different *in vitro* Zn/M ratios and bond ratios (Zn-S-M/Zn-S-Zn), as well as the type of clusters formed [13]. However, the addition of Zn^{2+} to MT causes noticeable changes in the spectra that are characteristic of cluster structures, indicating a change or distribution of metal-thiolate clusters. The absorption in the 215 nm range is also due to the presence of peptide bonds, which may indicate a change in the nature of the peptide due to the interaction of MT with metals [15].

Since clusters in MT are thermodynamically stable and kinetically labile, this allows intramolecular exchange between metals and their redistribution. A change in absorption at 220 nm was noticeable 24 h after incubation, where Zn^{2+} showed the greatest change in this spectrum compared to Gd^{3+} and Y^{3+} , which may indicate a redistribution of metals characteristic of heteronuclear clusters (Zn,Cd/Cu-MT) [9]. But the redistribution of the metal may also depend on the conditions (*in vitro* or *in vivo*). In contrast, for Gd^{3+} and Y^{3+} such strong changes in the spectra were not observed.

The affinity of metal ions for MT depends on many factors. One of the main factors is the concept of hard and soft acids and bases (HBAS). It is known that soft metal ions prefer to bind with soft bases, one of which is sulphur. Most metals, such as Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{+} and Hg^{2+} , are considered soft or semi-soft acids, whilst Gd^{3+} and Y^{3+} are hard acids. Therefore, they have a high affinity for binding to strong bases, such as carboxylates (O) and amines (N), meaning they are oxyphilic. One study has shown that lanthanum, an element from the REE group, is capable of binding to MT via carboxyl groups, as well as inducing MT expression [19]. This suggests that MT has the ability to bind even to metals that are atypical for it, through other amino acid residues (aspartic and glutamic acids), which likely affects the stability of the primary cluster structures in MT. In addition, the stability of metal-thiolate clusters in MT is influenced by the binding enthalpy, entropy, and the biomolecular environment itself [9].

The factors mentioned above clearly indicate that Gd^{3+} and Y^{3+} are not typical metals that usually bind to MT, particularly via cysteine residues, and are more likely to prefer binding to carboxyl groups in MT. However, as shown in Fig. 2 A, their presence altered the spectra characteristic of MT cluster structures. Within 1 h, their spectra changed, whilst the spectra at 255 nm were almost identical for all groups over a 24 hour period.

The effect of H_2O_2 on Zn/Gd/Y-MTr. It is known that during oxidative stress, ROS can affect SH-groups, promoting the oxidation of M-S sulphur, which leads to the release of metals from MT. Each metal has a different affinity for MT under oxidative conditions, for example, Zn^{2+} has a lower affinity for MT compared to Cd^{2+} and Cu^{+} . As mentioned earlier, ROS and Cd^{2+} can displace Zn^{2+} from MT, promoting an increase in the concentration of cellular Zn^{2+} , which can bind to the transcription factor (TFM-1) and activate MT synthesis, promoting an increase in total MT to protect against ROS and/or Cd^{2+} by binding these agents [7, 12].

After the addition of 0.5 mM and 5 mM H_2O_2 , completely different spectra are observed for Zn/Gd/Y-MTr. For Gd-MTr, following the addition of 0.5 mM H_2O_2 , the spectral absorption intensity in the 215–220 nm range remained virtually unchanged, whereas at 255 nm it increased. The spectra of Gd-MTr also show noticeable changes in the 230–240 nm range, which can be explained by a certain effect of H_2O_2 on the MT structure. Following exposure of Gd-MTr to 5 mM H_2O_2 , an increase

in the intensity of spectral peaks in the 215–220 nm and 255 nm ranges was observed. For Zn-MTr, a marked increase in spectral absorption at 215–220 nm and 255 nm was observed following the addition of 0.5 mM. After addition of 5 mM H₂O₂ to Zn-MTr, an increase in peak intensity at 255 nm was observed, while the spectra at 215–220 nm remained virtually unchanged. In Zn-MTr, the peak at 255 nm was smaller, whereas in Gd-MTr it was the most pronounced among all groups upon the addition of 5 mM H₂O₂. The situation for Y-MTr is quite the opposite: after the addition of 0.5 mM H₂O₂, its spectral absorption in the 215–220 nm and 255 nm ranges decreased slightly.

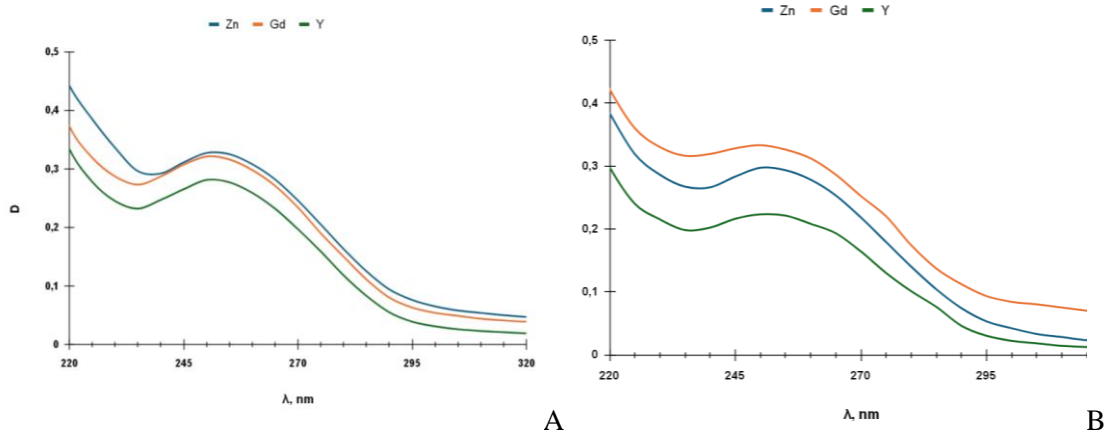
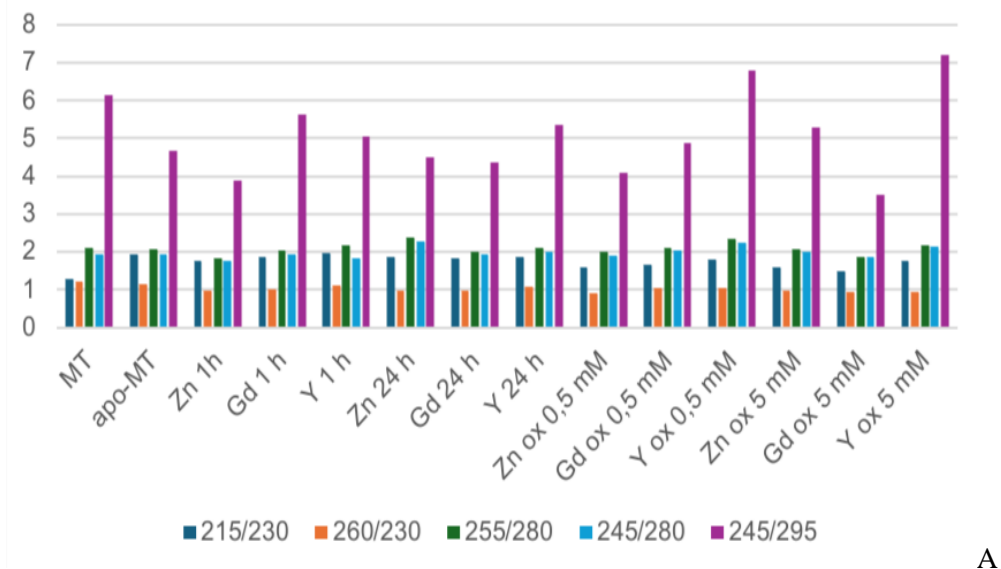
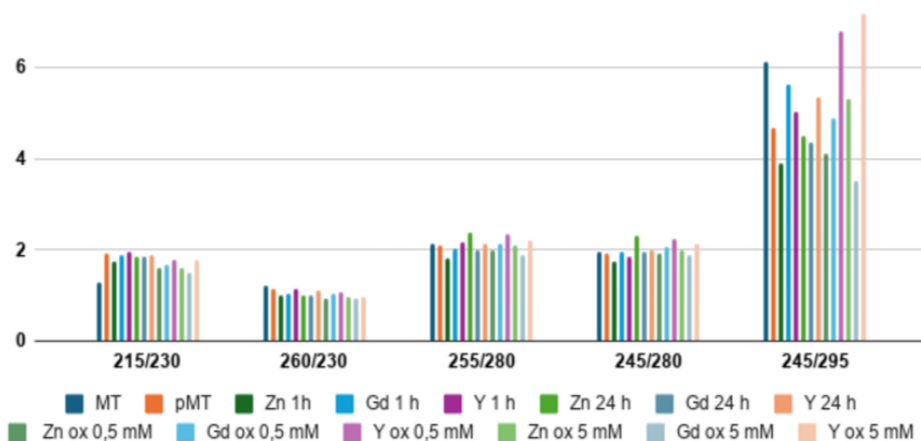


Fig. 4. UV spectra of MT after incubation of H₂O₂ with Zn/Gd/Y-MTr for 1 h at concentrations of 0.5 mM (A) and 5 mM (B).

Under the influence of 5 mM H₂O₂, a decrease in the intensity of the typical UV-peak was observed in Y-MTr. Probably, Y, together with H₂O₂, affected the stability of the MT cluster structure and made it more sensitive. These results indicate that although Gd⁺³ and Y³⁺ have similar chemical properties, their effect on the stability of MT cluster structures is very different. The different changes in the spectra at 220 nm and 255 nm following exposure to H₂O₂ may indicate the ability of these metals to influence MT, as these spectra are predominantly determined by the presence of M–S bonds.





B

Fig. 5. Ratios of UV absorption of all studied forms of MT: A – for each form separately; B – for each index separately.

The calculation of the ratios of UV-absorption indicated clearly the differences between the spectra of all forms of MT (Fig. 5). In all reconstructed forms the blue shift was detected, attesting the increased role of Zn among the metals in protein. The indexes 260/230 and 245/280 changed in a low limits, but most remarkable in the ZnMTr ox (260/230). The rate of 255/280 indicated the loss on typical for cluster peak with the maximum at 255 nm. However, in the partially demetalated form this peak was shown. Hence, the total demetalation of MT was not achieved. Most remarkable differences were shown for D245/D295 ratio highest values for MTr of Gd and Y, and particularly for YMTr ox that witness the substantial impact of the studied REEs on the MT stability.

Conclusion

The results of the study showed the ability of Gd^{3+} and Y^{3+} to change the structure of MT. As mentioned above, the secondary structure of MT depends on its binding with metal, therefore, based on the data obtained, where the influence of all three metals caused changes in the spectra responsible for the structure and cluster nature of MT, it can be concluded that Gd^{3+} and Y^{3+} are capable of influencing the cluster structure of MT. Furthermore, upon incubation of Zn/Gd/Y-MTr with H_2O_2 , each group exhibited a different reaction.

Importantly, this study did not use plural methods for additional confirmation of S-M connections, but only compared the changes in spectra after the influence of metals on partially metalated MT, which, incidentally, proved to be very informative. The conditions *in vitro* can also be distinct from the situation *in vivo* with the possibility of REE to bind to MT. Although the spectra after adding Zn^{2+} to the partially metalated MT were atypical and the properties described above cannot fully explain why such spectra were formed, based on the data we obtained, we can assume that Gd^{3+} and Y^{3+} are capable to influence the structure of MT.

1. Banaee M., Mossotto C., Maganza A., Azizi R., Prearo M., Pastorino P., Faggio C. Rare earth elements on aquatic organisms: Toxicity, detoxification, and ecological implications. *Emerging Contaminants*. 2025. Vol. 11. P. 100457. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100457>.
2. Bridges C. C., Zalups R. K. Molecular and ionic mimicry and the transport of toxic metals. *Toxicology and applied pharmacology*. 2005. Vol. 204. P. 274–308. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2004.09.007>.
3. Falfushynska H. I., Romanchuk L. D., Stoliar O. B. Reactivity of metallothioneins of frog *Rana ridibunda* treated by copper and zinc ions. *Ukrainskyi biokhimichnyi zhurnal*. 2010. Vol. 82. P. 31–40.
4. Jimenez Jimenez A. M., Michalkova H., Krizkova S., Barreto de Melo Rego M. J., Adam V., Merlos Rodrigo M. A. New insights into the role of metallothioneins in obesity and diabetes. *International journal of obesity*. 2025. Vol. 49. P. 1958–1972. <https://doi.org/10.1038/s41366-025-01850-1>.
5. Kägi J. H., Schäffer A. Biochemistry of metallothionein. *Biochemistry*. 1988. Vol. 27. P. 8509–8515. <https://doi.org/10.1021/bi00423a001>.

6. Khoma V., Yunko K., Martyniuk V., Zarian M., Havryshkiv V. Indication of the biochemical targets of rare earth elements in bivalve mollusc under multiple exposure. *Biotechnologia Acta*. 2025. Vol. 18. P. 45–47. <https://doi.org/10.15407/biotech18.02.045>.
7. Kimura T., Kambe T. The Functions of Metallothionein and ZIP and ZnT Transporters: An Overview and Perspective. *International journal of molecular sciences*. 2016. Vol. 17. P. 336. <https://doi.org/10.3390/ijms17030336>.
8. Krężel A., Maret W. The Functions of Metamorphic Metallothioneins in Zinc and Copper Metabolism. *International journal of molecular sciences*. 2017. Vol. 18. P. 1237. <https://doi.org/10.3390/ijms18061237>.
9. Krężel A., Maret W. The Bioinorganic Chemistry of Mammalian Metallothioneins. *Chemical Reviews*. 2021. Vol. 121. P. 14594-14648. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00371>.
10. Maret W. Redox biochemistry of mammalian metallothioneins. *Journal of biological inorganic chemistry*. 2011. Vol. 16. P. 1079–1086. <https://doi.org/10.1007/s00775-011-0800-0>.
11. Martyniuk V., Matskiv T., Yunko K., Khoma V., Gnatyshyna L., Faggio C., Stoliar O. Reductive stress and cytotoxicity in the swollen river mussel (*Unio tumidus*) exposed to microplastics and salinomycin. *Environmental pollution*. 2024. Vol. 350. P. 123724. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123724>.
12. Petering D. H., Mahim A. Proteomic High Affinity Zn²⁺ Trafficking: Where Does Metallothionein Fit in?. *International journal of molecular sciences*. 2017. Vol. 18. P. 1289. <https://doi.org/10.3390/ijms18061289>.
13. Presta A., Green A. R., Zelazowski A., Stillman M. J. Copper binding to rabbit liver metallothionein. Formation of a continuum of copper(I)-thiolate stoichiometric species. *European journal of biochemistry*. 1995. Vol. 227. P. 226–240. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1995.tb20380.x>.
14. Ragusa M. A., Nicosia A., Costa S., Cuttitta A., Gianguzza F. Metallothionein Gene Family in the Sea Urchin *Paracentrotus lividus*: Gene Structure, Differential Expression and Phylogenetic Analysis. *International journal of molecular sciences*. 2017. Vol. 18. P. 812. <https://doi.org/10.3390/ijms18040812>.
15. Scheller J. S., Irvine G. W., Stillman M. J. Unravelling the mechanistic details of metal binding to mammalian metallothioneins from stoichiometric, kinetic, and binding affinity data. *Dalton trans*. 2018. Vol. 47. P. 3613–3637. <https://doi.org/10.1039/C7DT03319B>.
16. Si M., Lang J. The roles of metallothioneins in carcinogenesis. *Journal of hematology & oncology*. 2018. Vol. 11. P. 107. <https://doi.org/10.1186/s13045-018-0645-x>.
17. Sutherland D. E., Stillman M. J. Challenging conventional wisdom: single domain metallothioneins. *Metallomics*. 2014. Vol. 6. P. 702–728. <https://doi.org/10.1039/c3mt00216k>.
18. Vašák M., Kagi J. H. Spectroscopic properties of metallothionein. Metal ions in biological systems. CRC Press. 2023. P. 213-273.
19. Wang Q., Xu J., Zhu Y., Chai B., Liang A., Wang W. Lanthanum(III) impacts on metallothionein MTT1 and MTT2 from *Tetrahymena thermophila*. *Biological trace element research*. 2011. Vol. 143. P. 1808–1818. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9004-2>.
20. Yunko K., Martyniuk V., Gnatyshyna L., Khoma V., Matskiv T., Tulaidan H., Mykhalyuk O., Karitonas R., Gylte B., Manusadžianas L., Stoliar O. Alleviation of specific responses in the combined exposure of freshwater mussel *Unio tumidus* to psychoactive substances and microplastics. *Environmental toxicology and pharmacology*. 2025. Vol. 116. P. 104682. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2025.104682>.

М. Немерко, К. Юнко, О. Столяр

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна

ВПЛИВ ЦИНКУ ТА РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА РЕКОНСТРУКЦІЮ МЕТАЛОТІОНЕЇНУ ДВОСТУЛКОВОГО МОЛЮСКА *IN VITRO*

Рідкісноземельні елементи (РЗЕ) привертають дедалі більше уваги як нові забруднювачі навколишнього середовища у зв'язку з розширенням сфер їх використання та зростанням рівня забруднення екосистем. Металотіонеїни (МТ) є низькомолекулярними протеїнами, багатими на цистеїн, які здатні зв'язувати як есенціальні, так і токсичні d-метали. Оскільки РЗЕ характеризуються явищем іонної мімікрії щодо есенціальних металів, можна припустити їхню здатність взаємодіяти з МТ. Водночас дані щодо взаємодії металотіонеїнів із гадолінієм (Gd³⁺) та ітрієм (Y³⁺) наразі відсутні. Двостулкові молюски є основними організмами-фільтраторами прісноводних водойм, тому здатні накопичувати РЗЕ у своїх тканинах. Відтак метою роботи було порівняти здатність МТ відновлювати нативну структуру за участю есенціального металу цинку та представників РЗЕ – гадолінію й ітрію – на основі аналізу ультрафіолетових спектральних характеристик МТ.

Металотіонеїн виділяли з травної залози двостулкового молюска *Unio tumidus* методом гель-проникної хроматографії та піддавали деметалізації у 0,05 М НСl. Отриманий частково деметалізований металотіонеїн (рМТ) повторно очищували та інкубували з іонами Zn²⁺, Gd³⁺ і

Y³⁺ протягом 60 хв для реконституції металотіонеїну через 1 год (MTg 1 h) та 24 год (MTg 24 h). Для оцінки стабільності тіолатних кластерів реконструйовані форми обробляли H₂O₂ у концентраціях 0,5 і 5 мМ протягом 1 год. Для всіх досліджуваних форм визначали УФ-спектри та розраховували спектральні індекси поглинання.

Встановлено, що кислотна обробка спричиняла часткову деметалізацію МТ. Інкубація з кожним із металів протягом 1 год супроводжувалася зниженням інтенсивності поглинання при 255 нм, причому найбільш виражений ефект спостерігався для Gd-MTg. Зменшення поглинання в діапазоні 215–220 нм свідчило про здатність досліджуваних металів впливати на зв'язування цинку. Через 24 год усі варіанти MTg характеризувалися подібними спектральними показниками. Водночас для Zn-MTg відзначено суттєві зміни поглинання, що може свідчити про перерозподіл металів, тоді як для Gd-MTg і Y-MTg такі зміни були менш вираженими.

Після дії 0,5 мМ H₂O₂ для Gd-MTg спостерігалось збільшення поглинання при 255 нм, тоді як для Zn-MTg – у діапазоні 215–220 нм. Для Y-MTg було характерне зниження поглинання в цій області спектра. Після обробки 5 мМ H₂O₂ для Zn-MTg і Gd-MTg також відзначено збільшення поглинання при 255 нм. Водночас Y-MTg характеризувався найбільшим зниженням спектрального поглинання, що свідчить про його вищу чутливість до окиснення. На підставі спектральних характеристик підтверджено здатність гадолінію та ітрію відновлювати метал-тіолатні кластери, подібні до характерних для Zn-MT. Реконструйовані форми металотіонеїну з гадолінієм виявилися більш стійкими до окиснення порівняно з формами, що містили ітрій.

Ключові слова: металотіонеїн, апотіонеїн, гадоліній, ітрій, УФ-спектр.

Надійшла до редакції: 20.02.2026

Прийнята до друку: 12.03.2026

Опублікована: 30.03.2026

ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ ТА ТВАРИН

УДК: 612.122

doi: 10.25128/2078-2357.26.1.5

Д. П. КАРНАУШЕНКО 

Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка
вул. Роменська, 87, Суми, 40002
E-mail: Dimonkark@ukr.net

ВПЛИВ ПСИХОСОЦІАЛЬНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ СЕРЕДОВИЩА НА ПОКАЗНИКИ ЛЕЙКОЦИТАРНОЇ ФОРМУЛИ В ЗДОРОВОЇ ГРУПИ НАСЕЛЕННЯ

Поєднання екологічних викликів сьогодення, військових дій та загострення психо-соціальних та економічних проблем в Україні створює складну ситуацію, яка негативно впливає на фізіологічні показники здоров'я населення, зокрема на гематологічні. Зміни екологічного середовища (короткочасне забруднення повітря, сільська або промислова місцевість) мають значний вплив на параметри гемограми, зокрема на кількість лімфоцитів, лейкоцитів та тромбоцитів, навіть серед здорової групи населення. Загальна площа тимчасово окупованих територій України становить близько 110 тис. км², що відповідає приблизно 18 % від загальної площі країни на початок 2022 року. Враховуючи ці дані, можна припустити, що площа територій, які потенційно можуть зазнати негативного впливу внаслідок бойових дій, перевищує 25 %. Опосередкований вплив супроводжується забрудненням територій небезпечними речовинами, такими як важкі метали та токсичні сполуки, що негативно впливають на якість ґрунту, води та повітря.

Метою дослідження є вивчення показників лейкоцитарної формули та гематологічних індексів як індикатор впливу психосоціальних та екологічних факторів середовища на здорову групу населення (на прикладі м. Суми).

У дослідженні брала участь група волонтерів (чоловічої статі): I (контроль) – це практично-здорові люди (до початку повномасштабного вторгнення, 2021 рік); II – група – практично-здорові люди (під час повномасштабного вторгнення, 2024 рік) – 40 осіб. На момент дослідження всі волонтери не мали хронічних та гострих захворювань. Середній вік становив 37,1 року. Підрахунок загальної кількості лейкоцитів та визначення лейкоцитарної формули проводили за допомогою автоматичного гемоаналізатора Erba ELite 3. Проводили розрахунки інтегративних гематологічних індексів, що характеризують неспецифічну резистентність організму людини. Роботу виконували відповідно до біоетичних норм.

Достовірно більші, порівнюючи з контрольною групою, були наступні гематологічні показники: лейкоцити на 5,67 %, моноцити – 5,26 %, лімфоцити – 9,54 %, еозинофіли – 25,68 %, базофіли – 240 %; достовірно менші паличкоядерні нейтрофіли на 35,47 %, сегментоядерні – 4,22 %. Достовірно збільшення в гематологічних індексах, як порівняти з контрольною групою,



©2026 Д. П. Карнаушенко. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

було в ЛІ на 16,33 %, ІСЛМ – 10,91 %, ЛІГ – 9,3 %, індекс алергізації – 12,66 % та індекс Гаркаві – 11,54 %; достовірно менші, порівнюючи з контролем, були ІЗЛ на 11,73 %, ІСНЛ – 12,8 % та ІСНМ – 10,4 %.

Таким чином, отримані нами результати вказують, що показники лейкоцитарної формули та інтегративні гематологічні індекси неспецифічної резистентності можна розглядати як один із індикаторів впливу психосоціальних та екологічних факторів середовища на здорову групу населення.

Ключові слова: психосоціальний хронічний стрес (в умовах військового положення), лейкоцитарна формула, лімфоцити, нейтрофіли, моноцити, еозинофіли, інтегративні гематологічні індекси неспецифічної резистентності, індекс Гаркаві.

Поєднання екологічних викликів сьогодення, військових дій та загострення психо-соціальних й економічних проблем в Україні створює складну ситуацію, яка негативно впливає на фізіологічні показники здоров'я населення, зокрема на гематологічні. Зміни екологічного середовища (короткочасне забруднення повітря, сільська або промислова місцевість) мають значний вплив на параметри гемограми, зокрема на кількість лімфоцитів, лейкоцитів та тромбоцитів навіть серед здорової групи населення [8, 10, 13].

Загальна площа тимчасово окупованих територій України становить близько 110 тис. км², що відповідає приблизно 18 % від загальної площі країни на початок 2022 року. Враховуючи ці дані, можна припустити, що площа територій, які потенційно можуть зазнати негативного впливу внаслідок бойових дій, перевищує 25 %. Найбільше від впливу бойових дій страждають природні екосистеми, розташовані у північних та східних регіонах України, таких як Київська, Чернігівська, Житомирська, Сумська, Харківська, Луганська та Донецька області. Екологічні системи України страждають як від прямого, так і опосередкованого впливу військових дій. Перший проявляється у загибелі рослинності, тварин та мікроорганізмів, руйнуванні родючого шару ґрунту та змінах мікрорельєфу, що викликані фізичним руйнуванням екосистем внаслідок попадання різних видів бойових снарядів. Опосередкований вплив супроводжується забрудненням територій небезпечними речовинами, такими як важкі метали та токсичні сполуки, що негативно впливають на якість ґрунту, води та повітря [1].

Тривала взаємодія напруженого психо-соціального середовища з екологічними змінами внаслідок військових дій може призводити до значних змін у фізичному та психічному здоров'ї населення. Вплив психосоціального хронічного стресу має три основні сфери з потенційним впливом на серцево-судинні захворювання: фізіологічна стресова реакція сильно впливає на гемодинамічні параметри (серцевий викид, артеріальний тиск та частота серцевих скорочень); активація різних осей стресу впливає на гемостатичні параметри (гематологічні зміни лейкоцитарної формули, клітин еритроцитарного ряду, тромбоцитостатичних показників); запального внеску психосоціального стресу [6; 7].

Мета дослідження є вивчення показників лейкоцитарної формули та гематологічних індексів як індикатор впливу психосоціальних та екологічних факторів середовища на здорову групу населення (на прикладі м. Суми).

Матеріали та методи досліджень

У дослідженні брала участь група волонтерів чоловічої статі: I (контроль) – це практично-здорові люди (до початку повномасштабного вторгнення, 2021 рік); II – група – практично-здорові люди (під час повномасштабного вторгнення, 2024 рік) – 40 осіб. На момент дослідження всі волонтери не мали хронічних та гострих захворювань. Середній їхній вік становив 37,1±1,5 року.

Забір крові для загального клінічного аналізу проводили натщесерце обстежуваного зранку до 9 годин, згідно з правилами та рекомендаціями проведення преаналітичного етапу лабораторних досліджень капілярної крові. Шкіру долонної поверхні кінцевої фаланги IV пальця обробляли стерильним ватним тампоном, змоченим спиртом, і протирали стерильним матеріалом. Після цього відкривали одноразовий скарифікатор та робили прокол шкіри пальця швидким рухом скарифікатора на глибину всього леза (3–4 мм), ближче до його бокової поверхні в напрямку, перпендикулярному до капілярних ліній пальця. Першу краплю знімали сухим ватним тампоном, тому що вона містить тканинну рідину, яка може вплинути на

результат аналізу. М'яко натискаючи на місце поряд з проколом, проводили забір необхідної кількості крові в стерильні пробірки для капілярної крові MICROmed K3 EDTA в об'ємі 0,25 мл. Після отримання біологічного матеріалу вміст пробірки обережно перемішували протягом 1 хвилини для розведення антикоагулянту та рівномірного розподілу формених елементів. Через 1 годину після взяття крові, але не пізніше ніж за 4 години, проводили підрахунок загальної кількості лейкоцитів та визначали лейкоцитарну формулу у зразках за допомогою автоматичного гемоаналізатора Erba ELite 3 [3, 5].

Проводили розрахунки інтегративних гематологічних індексів, що характеризують неспецифічну резистентність організму людини: індекс зрушень лейкоцитів (ІЗЛ) як маркер реактивності при запальному процесі (референтне значення $1,96 \pm 0,56$); лейкоцитарний індекс (ЛІ), який вказує на порушення взаємодії між гуморальною та клітинною ланкою імунітету (референтні значення $0,41 \pm 0,03$); індекс співвідношення нейтрофілів/лімфоцитів (ІСНЛ), що вказує на порушення в системі компонентів неспецифічного та специфічного захисту (референтні значення $2,47 \pm 0,65$); індекс співвідношення нейтрофілів/моноцитів (ІСНМ), який характеризує наявність чи відсутність дисбалансу компонентів фагоцитарної (мікро- та макрофагальної) системи (референтні значення $11,83 \pm 1,31$); індекс співвідношення лейкоцитів/моноцитів (ІСЛМ), який характеризує взаємовідношення афекторного та ефекторного компонентів імунної системи (референтні значення $5,34 \pm 0,59$); лімфоцитарно-гранулоцитарний індекс (ЛІГ) як критерій для диференціації аутоінтоксикації від інфекційної інтоксикації організму (референтні значення $4,56 \pm 0,37$); індекс алергізації – співвідношення лімфоцитів до суми нейтрофілів та базофілів, вказує на наявність алергічних процесів (референтні значення $0,88 \pm 0,09$); індекс імунної реактивності відношення суми лімфоцитів та еозинофілів до моноцитів, який вказує на ступінь імунних реакцій; індекс адаптації (ІА), або індекс стресової активності за Л. Х. Гаркаві відношення лімфоцитів до сегментоядерних нейтрофілів – відображає рівень адаптаційних реакцій, в таблиці 1 наведено значення даного індексу та їх інтерпретація [5, 9].

Таблиця 1

Критерії визначення типів адаптаційних реакцій організму

Тип адаптаційної реакції	Індекс	Подразник
Стрес	$<0,3$	Сильний
Підвищена активація	$>0,7$	Вище середнього
Спокійна активація	$>0,5-0,69$	Середній
Тренування	$>0,3-0,49$	Слабкий

Примітка. (за Соколенко С. В., 2025 рік [9]).

Статистичну обробку результатів проводили за пакетом програм Microsoft Excel.

Роботу виконували у відповідності до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України. Усі волонтери дали письмову згоду на участь у дослідженні [2, 4].

Результати досліджень та їх обговорення

Згідно з отриманими результатами (табл. 2), достовірно більші порівняно з контрольною групою були наступні гематологічні показники: лейкоцити – на 5,67 %, моноцити – 5,26 %, лімфоцити – 9,54 %, еозинофіли – 25,68 %, базофіли – 240 %. Достовірне зрушення лейкоцитарної формули вліво відбулось за рахунок зменшення нейтрофілів (паличкоядерних – на 35,47 %, сегментоядерних –4,22 %) порівняно з контрольними величинами відповідно.

Лейкоцитарний зеув вліво, на нашу думку, є результатом хронічної стрес-індукованої дисфункції нейтрофілів, внаслідок стійкого високого рівня кортизолу, викликаним хронічним психосоціальним стресом, який, у свою чергу, впливає на функції нейтрофілів (хемотаксис, фагоцитоз та продукування активних форм кисню) (рис. 1). Стрес активує механізми апоптозу нейтрофілів, що призводить до зменшення їхньої кількості та функціонального потенціалу і негативно впливає на неспецифічну імунну відповідь організму [11, 12].

Показники лейкоцитарної формули

Показник	Референтний інтервал	I група	II група
Лейкоцити ($10^9/л$)	4–9	$6,17 \pm 0,14$	$6,52 \pm 0,17^*$
Сегментоядерні нейтрофіли (%)	50–72	$59,41 \pm 0,9$	$56,9 \pm 0,85^*$
Моноцити (%)	3–9	$5,13 \pm 0,12$	$5,4 \pm 0,11^*$
Лімфоцити (%)	18–40	$30,62 \pm 0,82$	$33,24 \pm 1,0^*$
Еозинофіли (%)	1–5	$1,83 \pm 0,043$	$2,3 \pm 0,07^*$
Базофіли (%)	0–1	$0,01 \pm 0,001$	$0,24 \pm 0,002^*$
Паличкоядерні нейтрофіли (%)	0–5	$2,96 \pm 0,09$	$1,94 \pm 0,06^*$
Нейтрофільні лейкоцити (сума, %)		$62,38 \pm 1,01$	$58,83 \pm 1,4^*$

Примітка. * – достовірні зміни по відношенню до контрольної групи $p < 0,05$.

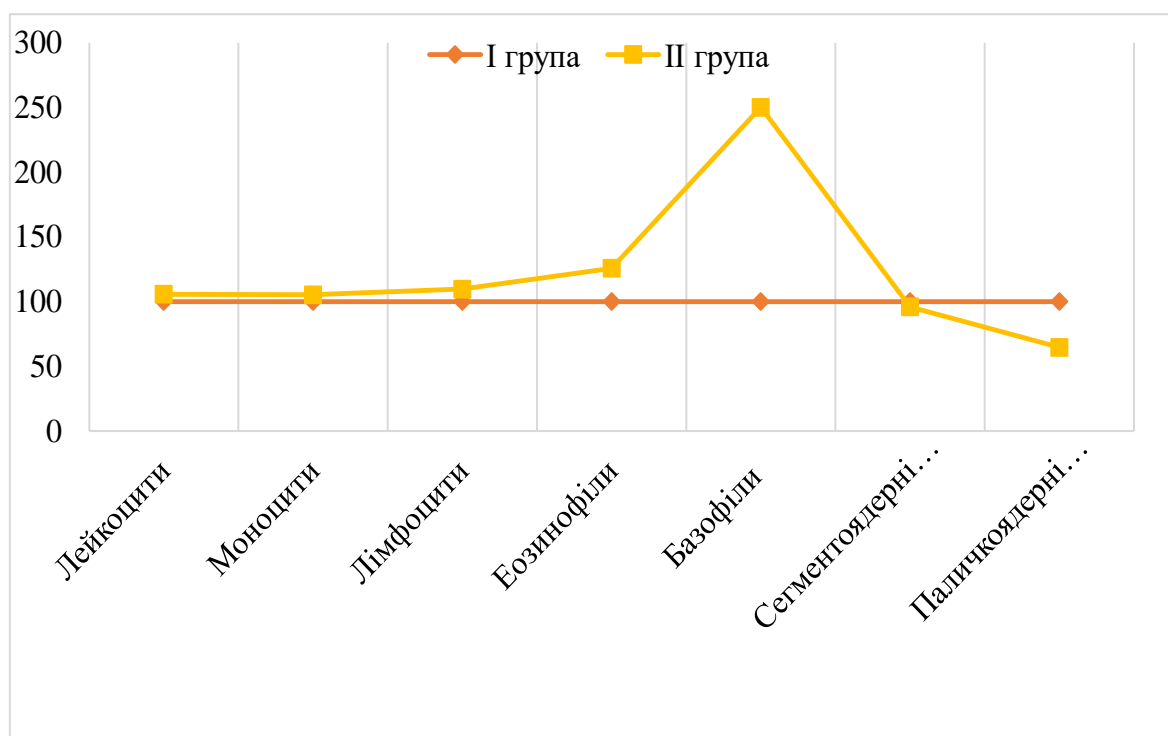


Рис 1. Графічне зображення відносних змін компонентів лейкоцитарної формули (100 % показники контрольної групи).

Достовірне збільшення, порівнюючи з контрольною групою, було в наступних гематологічних індексах: ЛІ на 16,33 %, ІСЛМ – 10,91 %, ІЛГ – 9,3 %, індекс алергізації – 12,66 % та індекс адаптації (ІА) або індекс стресової активності за Л. Х. Гаркаві – 11,54 %. Достовірне зменшення в показниках гематологічних індексів були в ІЗЛ на 11,73 %, ІСНЛ – 12,8 % та ІСНМ – 10,4 %, порівнюючи з контролем (табл. 3). Показник індексу імунної реактивності не мав достовірних змін.

Графічне порівняння інтегративних гематологічних індексів I та II групи має як позитивні, так і негативні пікові зміни, які спровоковані зрушенням співвідношення кількості лейкоцитів: зменшенням кількості нейтрофільної ланки лейкоцитарної формули з одночасним підвищеннями кількості базофілів, еозинофілів та моноцитів (рис. 2).

Показники інтегративних гематологічних індексів

Показник	Референтний інтервал	I група	II група
Індекс зрушень лейкоцитів (ІЗЛ)	1,96±0,56	1,79±0,08	1,58±0,1*
Лейкоцитарний індекс (ЛІ)	0,41±0,03	0,49±0,05	0,57±0,03*
Індекс співвідношення нейтрофілів/лейкоцитів (ІСНЛ)	2,47±1,31	2,03±0,7	1,77±0,08*
Індекс співвідношення нейтрофілів/моноцитів (ІСНМ)	11,83±1,31	12,15±1,1	10,89±0,98
Індекс співвідношення лейкоцитів/моноцитів (ІСЛМ) (абсолют)	5,34±0,59	5,69±0,14	6,2±0,19*
Лімфоцитарно-гранулоцитарний індекс (ЛІГ)	4,56±0,37	4,42±0,14	4,83±0,13*
Індекс алергізації	0,88±0,09	0,74±0,07	0,89±0,06*
Індекс імунної реактивності		4,41±0,14	4,32±0,15
Індекс адаптації (ІА) або індекс стресової активності за Л. Х. Гаркаві		0,52±0,03	0,58±0,01*

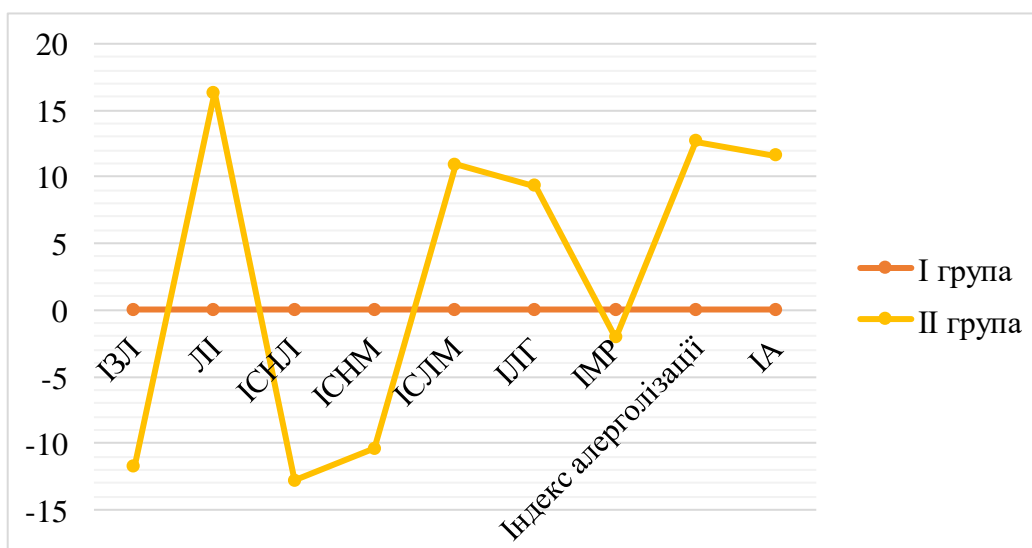


Рис. 2. Графічне зображення коливань інтегративних гематологічних індексів (за 0 прийнято значення контрольної групи).

Позитивні пікові зміни були виражені в показниках ЛІ, ІСЛМ, ЛІГ, індексі алергізації та індексі Гаркаві, що свідчить про порушення взаємодії між гуморальною ланкою імунітету (ЛІ в I групі був в межах референтних значень, показники II групи мали збільшення від верхньої межі референтних значень на 22,73 %); співвідношення афекторної та ефекторної компоненти імунної системи (ІСЛМ в II групі збільшений на 1,35 %); згідно з критерієм диференціації автоінтоксикації від інфекційної інтоксикації організму (ЛІГ) II група має збільшену кількість елементів гранулоцитарного ряду як реакцію організму на зміну екологічних показників в умовах забрудненого середовища, тим самим підвищуючи індекс алергізації здорового населення; індекс Гаркаві свідчить про формування компенсаторної реакції організму в умовах тривалої напруженої дії стресорів на здорове населення.

Висновки

Таким чином, отримані нами результати вказують, що показники лейкоцитарної формули та інтегративні гематологічні індекси неспецифічної резистентності можна розглядати як один із індикаторів впливу психосоціальних та екологічних факторів середовища на здорову групу населення (на прикладі м. Суми).

1. Борисенко О. Б., Кривохижа Є. М., Черноштан Т. М. Вплив військових дій на екосистеми: оцінка збитків та шляхи відновлення. *Екологічні науки*. 2025. № 1 (58). С. 343–349. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.55>.
2. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». [Інтернет]. Документ 990_005, редакція від 01.10.2008. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005 (дата звернення: 12.11.2021).
3. Гематологічний аналізатор Erba Elite 3. URL: <https://rh.ua/laboratory/gematologicheskij-analizator-erba-elite-3/> (дата звернення: 12.11.2021).
4. Загальна декларація про біоетику та права людини. Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури: відділ етики науки і технології: сектор соціальних і гуманітарних наук. 2005 жовт. 19; 12 с. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (дата звернення: 12.11.2021).
5. Клінічна лабораторна діагностика / Л. Є. Лаповець, Г. Б. Лебедь, О. О. Ястремська та ін.; за ред. Л. Є. Лаповець. 2-е вид. стер. Київ : «Медицина», 2021. 472 с.
6. Hinterdobler J., Schunkert H., Kessler T., Sager H. B. Impact of Acute and Chronic Psychosocial Stress on Vascular Inflammation. *Antioxidants & Redox Signaling*. 2021. № 35(18). P. 1531–1550. <https://doi.org/10.1089/ars.2021.0153>.
7. Ince L. M., Weber J., Scheiermann C. Control of Leukocyte Trafficking by Stress-Associated Hormones. *Front. Immunol.* 2019. Vol. 9. Art. 3143. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.03143>.
8. Kılınçer M., Gürsoy E. Assessing the short-term hematological and pulmonary effects of air pollution: a cross-sectional study in a Turkish urban setting. *BMC public health*. 2025. Vol. 25. Art. 16. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-21246-6>.
9. Moderní aspekty vědy: LVIII. Díl mezinárodní kolektivní monografie [ISBN 978-617-8614-12-6] / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2025. str. 307 - Розд.: Індекси не специфічної резистентності та центральної гемодинаміки на фоні вродженої патології зору / С. В. Соколенко. С. 233–246.
10. Muhammad I., Sehrish N., Yasmeen L., Sabeena R., Abdul R., Farooq S. Effects of Environmental Pollution on Changes in Blood Biochemical Parameters. *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*. 2019. № 1. P. 18–21. <https://doi.org/10.31580/pjmls.v1i1.982>.
11. Obeagu E. I. Stress, neutrophils, and immunity: a dynamic interplay. *Annals of Medicine & Surgery*. 2025. № 87(6). P. 3573–3585. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000003304>.
12. Penz M., Kirschbaum C., Buske-Kirschbaum A., Wekenborg M. K., Miller R. Stressful life events predict one-year change of leukocyte composition in peripheral blood. *Psychoneuroendocrinology*. 2018. Vol. 94. P. 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.05.006>.
13. Wadaa H. A. Study of environmental factors affecting hematological health. *European Journal of Modern Medicine and Practice*. 2025. Vol. 5 No. 4. P. 291–295. URL: <https://inovatus.es/index.php/ejmmpp/article/view/5588> (дата звернення: 03.03.2026).

References

1. Borysenko O. B., Kryvokhyzha Ye. M., Chornoshtan T. M. Vplyv viyskovykh dii na ekosystemy: otsinka zbytkiv ta shliakhy vidnovlennia. *Ekolohichni nauky*. 2025. No 1 (58). S. 343–349. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.55>. [in Ukrainian]
2. Helsinska deklaratsiia Vsesvitnoi medychnoi asotsiatsii «Etychni pryntsyipy medychnykh doslidzhen za uchastiu liudyny u yakosti obiekta doslidzhennia». [Internet]. Dokument 990_005, redaktsiia vid 01.10.2008. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005 (data zvernennia: 12.11.2021). [in Ukrainian]
3. Hematolohichniy analizator Erba Elite 3. URL: <https://rh.ua/laboratory/gematologicheskij-analizator-erba-elite-3/> (data zvernennia: 12.11.2021). [in Ukrainian]
4. Zahalna deklaratsiia pro bioetyku ta prava liudyny. Orhanizatsiia Obiednanykh Natsii z pytan osvity, nauky i kultury: viddil etyky nauky i tekhnolohii: sektor sotsialnykh i humanitarnykh nauk. 2005 zhovt. 19; 12 s. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (data zvernennia: 12.11.2021). [in Ukrainian]
5. Klinichna laboratorna diahnostryka / L. Ye. Lapovets, H. B. Lebed, O. O. Yastremska ta in.; za red. L. Ye. Lapovets. 2-e vyd. ster. «Medytsyna», 2021. 472 s. [in Ukrainian]
6. Hinterdobler J., Schunkert H., Kessler T., Sager H. B. Impact of Acute and Chronic Psychosocial Stress on Vascular Inflammation. *Antioxidants & Redox Signaling*. 2021. № 35(18). P. 1531–1550. <https://doi.org/10.1089/ars.2021.0153>.
7. Ince L. M., Weber J., Scheiermann C. Control of Leukocyte Trafficking by Stress-Associated Hormones. *Front. Immunol.* 2019. Vol. 9. Art. 3143. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.03143>.
8. Kılınçer M., Gürsoy E. Assessing the short-term hematological and pulmonary effects of air pollution: a cross-sectional study in a Turkish urban setting. *BMC public health*. 2025. Vol. 25. Art. 16. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-21246-6>.
9. Moderní aspekty vědy: LVIII. Díl mezinárodní kolektivní monografie [ISBN 978-617-8614-12-6] / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2025. str. 307 - Розд.: Індекси не специфічної резистентності та центральної гемодинаміки на фоні вродженої патології зору / С. В. Соколенко. С. 233–246.

- Індекси не специфічної резистентності та центральної гемодинаміки на фоні вродженої патології зору / С. В. Соколенко. С. 233–246.
10. Muhammad I., Sehrish N., Yasmeen L., Sabeena R., Abdul R., Farooq S. Effects of Environmental Pollution on Changes in Blood Biochemical Parameters. *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*. 2019. № 1. P. 18–21. <https://doi.org/10.31580/pjmls.v1i1.982>.
 11. Obeagu E. I. Stress, neutrophils, and immunity: a dynamic interplay. *Annals of Medicine & Surgery*. 2025. № 87(6). P. 3573–3585. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000003304>.
 12. Penz M., Kirschbaum C., Buske-Kirschbaum A., Wekenborg M. K., Miller R. Stressful life events predict one-year change of leukocyte composition in peripheral blood. *Psychoneuroendocrinology*. 2018. Vol. 94. P. 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.05.006>.
 13. Wadaa H. A. Study of environmental factors affecting hematological health. *European Journal of Modern Medicine and Practice*. 2025. Vol. 5 No. 4. P. 291–295. URL: <https://inovatus.es/index.php/ejmmp/article/view/5588> (дата звернення: 03.03.2026).

D. P. Karnaushenko

A. S. Makarenko Sumy State Pedagogical University, Ukraine

THE INFLUENCE OF PSYCHOSOCIAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS ON LEUKOCYTE FORMULA INDICATORS IN A HEALTHY POPULATION GROUP

The combination of ongoing environmental challenges, military conflict, and the exacerbation of psychosocial and economic problems in Ukraine has created a complex situation that adversely affects physiological indicators of public health, particularly haematological parameters. Changes in environmental conditions – including short-term air pollution and residence in rural or industrial areas – significantly affect blood count parameters, particularly lymphocyte, leukocyte, and platelet counts, even among healthy populations. As of early 2022, the temporarily occupied territories of Ukraine covered approximately 110,000 km², or roughly 18 % of the country's total area; given the additional zones affected by proximity to hostilities, the area potentially susceptible to adverse effects may exceed 25 %. This indirect impact is compounded by the contamination of territories with hazardous substances, such as heavy metals and toxic compounds, which degrade the quality of soil, water, and air.

The study aimed to examine leukocyte formula parameters and haematological indices as indicators of the influence of psychosocial and environmental factors on a healthy population group, using the city of Sumy as a case study.

The study involved two groups of male volunteers: Group I (control), comprising essentially healthy individuals examined before the full-scale invasion (2021), and Group II, comprising 40 essentially healthy individuals examined during the full-scale invasion (2024). None of the volunteers had chronic or acute illnesses at the time of the study. The mean age of participants was 37.1 years. Total white blood cell count and white blood cell differential were determined using an Erba ELite 3 automated haematology analyser. Integrative haematological indices characterising the non-specific resistance of the human body were calculated. The study was conducted in accordance with bioethical standards.

Compared with the control group, the following haematological parameters were significantly higher: white blood cells (by 5.67 %), monocytes (by 5.26 %), lymphocytes (by 9.54 %), eosinophils (by 25.68 %), and basophils (by 240 %); segmented neutrophils and band neutrophils were significantly lower, by 35.47 % and 4.22 %, respectively. Among the integrative haematological indices, significant increases relative to the control group were observed for the leukocyte index (LI, by 16.33 %), the index of the ratio of lymphocytes to monocytes (ISLM, by 10.91 %), the lymphocyte-granulocyte index (ILG, by 9.3 %), the allergisation index (by 12.66 %), and the Garkavi index (by 11.54 %), while the IZL, ISNL, and ISNM indices were significantly lower, by 11.73 %, 12.8 %, and 10.4 %, respectively.

These findings suggest that white blood cell count parameters and integrative haematological indices of non-specific resistance can serve as indicators of the impact of psychosocial and environmental factors on a healthy population.

Keywords: psychosocial chronic stress (under military conditions), leukocyte formula, lymphocytes, neutrophils, monocytes, eosinophils, integrative haematological indices of non-specific resistance, Garkavi index.

Надійшла до редакції: 10.02.2026

Прийнята до друку: 04.03.2026

Опублікована: 30.03.2026

¹В. В. СТРЕЛЬЦОВА , ²О. С. ВОЛОШИН , ²В. Г. ОМЕЛЬЯНЕНКО 

¹Айдарська ЗЗСО

с. Айдар, Луганська область, 92303 (евакуйований в м. Дніпро з 2022 р.)

²Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

E-mail: voloshyn@chem-bio.com.ua

ВПЛИВ ІМУНОСТИМУЛЯЦІЇ НА СПРИЙНЯТТЯ ТА ОБРОБКУ ПОДРАЗНИКІВ, АДРЕСОВАНИХ І ТА ІІ СИГНАЛЬНИМ СИСТЕМАМ, НА ФОНІ НАБУТОЇ КОРОТКОЗОРОСТІ ВИСОКОГО СТУПЕНЯ

Сучасне суспільство є інформаційно-кібернетичним, людина як його складник має значне інформаційно-емоційне навантаження, яке супроводжується ознаками стресового стану (не інфекційного походження). 80 % інформації людина сприймає органом зору (насамперед це розглядання дрібних символів з короткої відстані), що супроводжується значним функціональним навантаженням зорової сенсорної системи. Саме розглядання дрібних предметів тривалий час з короткої відстані викликає формування морфо-функціональних змін в будові ока, які можна розглядати як адаптацію та формування патофізіологічного стану, а саме набуту короткозорість. Встановлено, що така короткозорість як патофізіологічний процес супроводжується імунними порушеннями різного ступеня, а також виявлено, що показники нейродинамічних функцій у короткозорих людей (виняток – високий ступінь короткозорості) кращі, ніж у практично здорових людей, що засвідчує про підвищену функціональну активність центральної нервової системи (ЦНС); на фоні набуті короткозорості високого ступеня спостерігається значне погіршення показників системного імунітету та стану нейродинамічних функцій.

Метою дослідження є вивчення показників нейродинамічних функцій та обробка подразників, адресованих І та ІІ сигнальним системам у людей, які страждають на набуту короткозорість високого ступеня на фоні імуностимуляції (назоференом).

У дослідженні брала участь група волонтерів: І (контроль) – це практично здорові люди, (40 осіб чоловічої статі); ІІ – група плацебо – люди, що страждали на набуту короткозорість високого ступеня, які замість імуностимулятора приймали фізіологічний розчин як назальний спрей (21 особа чоловічої статі); ІІІ – люди, які страждали на набуту короткозорість високого ступеня і приймали імуностимулятор назоферон як назальний спрей (21 особа чоловічої статі). Для отримання інформації про стан нейродинамічних функцій ми використовували методику М. В. Макаренка. Фігури використовували як подразник, адресований до І сигнальної системи, а слова – як подразник, адресований для ІІ сигнальної системи. Робота виконана відповідно до біоетичних норм.

Так, на фоні набуті короткозорості високого ступеня (подразник фігури) проста зорово-моторна реакція (ПЗМР) більша на 9,13 % (24,1 мс), реакція вибору 1 із 3 показників (ЛПРВ1-3) – на 16,7 % (57 мс), реакція вибору 2 із 3 (ЛПРВ2-3) – на 15,31 % (59,7 мс), як порівняти з контрольними величинами відповідно. ФРНП при обробці подразника фігури на фоні набуті короткозорості високого ступеня була достовірно гірша, порівнюючи з контролем. При обробці подразника слова на фоні набуті короткозорості високого ступеня ПЗМР більший на 8,07 % (21,8 мс), ЛПРВ1-3 – на 6,46 % (30,2 мс), ЛПРВ2-3 – на 9,53 % (49,2 мс), в порівнянні з контролем. ФРНП при обробці подразника слова на фоні набуті короткозорості високого ступеня була достовірно гірша, порівнюючи з контролем.

Вживання назоферону не викликало достовірних змін у величинах латентних періодів сенсомоторних реакцій різної складності (подразник фігури – І сигнальна система, подразник



©2026 В. В. Стрельцова та співавт. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

слова – II), порівнюючи з вихідними значеннями. ФРНП після вживання назоферону (подразники фігури, слова) мала достовірно позитивні зміни, як порівняти з вихідними значеннями.

Таким чином, імуностимуляція має позитивний вплив на показники ФРНП при обробці подразників фігури та слова на фоні набутої короткозорості високого ступеня.

Ключові слова: латентні періоди, сенсомоторні реакції різної складності, функціональна рухливість основних нервових процесів, імуностимуляція, набута короткозорість високого ступеня, I та II сигнальні системи.

Будь-яке суспільство не можливе без індивідуумів, які обмінюються інформацією між собою, при цьому інформація має різну значущість для суспільства та індивідуума. Сучасне суспільство є інформаційно-кібернетичним, людина як його складник має значне інформаційно-емоційне навантаження, яке супроводжується ознаками стресового стану (не інфекційного походження). Теорію не інфекційного стресу розробив та обґрунтував канадський вчений Сельє в 30 роках минулого століття [9, 14].

80 % інформації людина сприймає органом зору (насамперед це розглядання дрібних символів з короткої відстані), що супроводжується значним функціональним навантаженням зорової сенсорної системи. Око – це частина головного мозку, яка винесена за межі мозкового черепа та становить периферійну частину ЦНС [1]. Саме розглядання дрібних предметів тривалий час з короткої відстані викликає формування морфо-функціональних змін в будові ока, які можна розглядати як адаптацію та формування патофізіологічного стану, а саме набути короткозорість [13, 15].

Статистичні прогнози міжнародних організацій (Всесвітня організація охорони здоров'я, Організація Об'єднаних Націй) констатують, що до 2050 року кількість людей з короткозорістю (міопією) сягне 5 мільярдів, що становитиме майже половину населення нашої планети, а кількість хворих з високим ступенем короткозорості збільшиться з 2,7 % до 9,8 %. [11]. Короткозорість набутої форми досягає масштабів пандемії, яка матиме значний вплив на суспільство [11, 12, 13, 15]. У нашій країні проблема набутої короткозорості також має місце: так серед офтальмологічних патологій короткозорість має 12,4 %, що відповідає другому місцю за поширеністю серед хвороб ока [16, 17]. Набута короткозорість є однією з провідних причин сліпоти, зниження зору та інвалідизуючих порушень зору [8, 10, 11].

Встановлено, що короткозорість набутої форми як патофізіологічний процес супроводжується імуними порушеннями різного ступеня, а також виявлено, що показники нейродинамічних функцій у короткозорих людей (виняток – високий ступінь короткозорості) кращі, ніж у практично здорових людей, що засвідчує про підвищену функціональну активність центральної нервової системи (ЦНС); на фоні набутої короткозорості високого ступеня спостерігається значне погіршення показників системного імунітету та стану нейродинамічних функцій [5, 13, 15].

Метою дослідження є вивчення показників нейродинамічних функцій та обробка подразників, адресованих I та II сигнальним системам у людей, які страждають на набути короткозорість високого ступеня на фоні імуностимуляції (назоференом).

Матеріали та методи досліджень

У дослідженні брала участь група волонтерів: I (контроль) – це практично здорові люди (40 осіб чоловічої статі); II – група плацебо – люди, що страждали на набути короткозорість високого ступеня, які замість імуностимулятора приймали фізіологічний розчин як назальний спрей (21 особа чоловічої статі) III – люди, які страждали на набути короткозорість високого ступеня і приймали імуностимулятор назоферон як назальний спрей (21 особа чоловічої статі). Вживання назоферону проводили згідно з інструкцією до препарату [4]. Діагноз короткозорість був становлений лікарем-офтальмологом. На момент дослідження листопад-грудень (2022–2024 років) усі волонтери не мали хронічних та гострих захворювань. Вік волонтерів становив 24–30 років.

Ступінь короткозорості: слабкий від $-0,1$ до $-3,0$; середній від $-3,0$ до $-6,0$; високий від $-6,0$ і вище [8, 10].

Під час дослідження враховували зміни розумової працездатності на початку робочого дня і тижня, дослідження здійснювали в дні високої розумової працездатності – у вівторок, середу, четвер з 09.00 до 11.00 ранку, коли спостерігається оптимальний рівень фізіологічних функцій [1].

Для отримання інформації про стан нейродинамічних функцій ми використовували методику М. В. Макаренка [6, 7]. За нею досліджували латентні періоди сенсомоторних реакцій різної складності: проста зорово-моторна реакція (ПЗМР), реакція вибору 1 із 3 подразників (ЛПРВ₁₋₃), реакція вибору 2 із 3 (ЛПРВ₂₋₃). Фігури використовують як подразник, адресований до I сигнальної системи, а слова – як подразник, адресований для II сигнальної системи. Функціональну рухливість нервових процесів (ФРНП) визначали шляхом найвищого темпу диференціювання позитивних та гальмівних подразників при мінімальній експозиції їх пред'явлення в режимі «зворотного зв'язку». Рівень функціональної рухливості визначався часом, який необхідний для виконання тесту: чим менший час проходження тесту, тим вищий рівень функціональної рухливості і навпаки. Для уникнення суб'єктивного фактору тестування стану нейродинамічних властивостей проводили тричі, для статистичної обробки використовували середнє арифметичне.

Статистичну обробку результатів проводили за пакетом програм Microsoft Excel.

Роботу виконували у відповідності до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України. Усі волонтери дали письмову згоду на участь у дослідженні [2, 3].

Результати досліджень та їх обговорення

Згідно з отриманими результатами (табл. 1), величини латентних періодів ПЗМР, ЛПРВ₂₋₃ достовірно більші, порівнюючи з контрольними показниками (подразник фігури). Так, на фоні набутої короткозорості високого ступеня ПЗМР більший на 9,13 % (24,1 мс), ЛПРВ₁₋₃ – 16,7 % (57 мс), ЛПРВ₂₋₃ – 15,31 % (59,7 мс), порівнюючи з контрольними величинами відповідно.

Функціональна рухливість нервових процесів (ФРНП) при обробці подразника фігури (перша сигнальна система) у людей, які страждають на набуту короткозорість високого ступеня, була достовірно гірша, порівнюючи з контрольними значеннями. Так, величина часу, яка витрачена на проходження тесту, на фоні набутої короткозорості високого ступеня була більша на 5,13 % (3,7 с), порівнюючи з контрольними показниками.

Усі отримані результати вказують на зменшення швидкості центральної обробки інформації, подразник фігури.

Таблиця 1

Показники нейродинамічних функцій при переробці подразників, адресованих до I та II сигнальних систем

Показники	Практично здорові люди (M±m)		Високий ступінь короткозорості (M±m)	
	Фігури	Слова	Фігури	Слова
ПЗМР, мс	264,0±4,8	270,0±3,1	288,1±4,31*	291,8±3,34*
ЛПРВ ₁₋₃ , мс	341,5±4,4	467,6±3,8	398,5±5,6*	497,8±3,1*
ЛПРВ ₂₋₃ , мс	389,9±3,5	516,0±4,0	449,6±5,3*	565,2±3,8*
ФРНП, с	72,0±1,1	76,4±1,2	75,7±1,1*	79,9±0,6*

Примітка. * – достовірні зміни по відношенню до контрольної групи p < 0,05.

Отримані результати, які характеризують латентні періоди сенсомоторних реакцій різної складності та функціональну рухливість нервових процесів у короткозорих людей перегукуються з результатами досліджень В. І. Шейко, Ю. І. Колесник [5, 15]. При цьому слід відзначити, що в роботах В. І. Шейко та Ю. І. Колесник відсутні дані про обробку подразників, адресованих першій та другій сигнальній системі у короткозорих людей. Тому наше дослідження носить більш тонкий характер, яке характеризує діяльність вищих відділів ЦНС при обробці подразників першою та другою сигнальними системами.

Аналізуючи дані, які характеризують обробку подразників слова, що адресовані другій сигнальній системі на фоні набутої короткозорості високого ступеня, спостерігалось достовірне

ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ ТА ТВАРИН

збільшення величин латентних періодів ПЗМР, ЛПРВ₂₋₃, порівнюючи з контрольними показниками. Так, ПЗМР більший на 8,07 % (21,8 мс), ЛПРВ₁₋₃ – 6,46 % (30,2 мс), ЛПРВ₂₋₃ – на 9,53 % (49,2 мс), порівнюючи з контролем. ФРНП на фоні високого ступеня набутої короткозорості при обробці подразників слова (подразник адресований до другої сигнальної системи) характеризувалась погіршенням, а саме збільшенням часу для проходження тесту, порівнюючи з контролем. Показники ФРНП були гірші, як порівняти з контролем на 4,6 % (3,5 с).

Таким чином, при обробці подразників, адресованих другій сигнальній системі, на фоні набутої короткозорості високого ступеня спостерігалось достовірне збільшення латентних періодів ПЗМР, ЛПРВ₂₋₃ та погіршення ФРНП, що вказує на погіршення швидкості центральної обробки подразників, порівнюючи з контрольними значеннями.

Обробка подразників, адресованих до I та II сигнальних систем, на фоні набутої короткозорості високого ступеня супроводжувалась погіршенням показників, які характеризують центральну обробку подразників та зниження функціональної рухливості основних нервових процесів.

У таблиці 2 представлені результати досліджень групи плацебо (люди, що страждали на високий ступінь набутої короткозорості), які вживали фізіологічний розчин замість назоферону як назальний спрей згідно з інструкцією до назоферону. Вживання фізіологічного розчину замість назоферону не супроводжувалось достовірними змінами величин латентних періодів сенсомоторних реакцій різної складності та функціональної рухливості основних нервових процесів (подразник фігури та подразник слова). Такі результати вказують на відсутність у нашому дослідженні ефекту самонавіювання.

Таблиця 2

Показники нейродинамічних функцій при переробці подразників адресованих до I та II сигнальних систем на фоні набутої короткозорості високого ступеня (група плацебо)

Показники	Контрольна група (M±m)		Група плацебо осіб із набутою короткозорістю високого ступеня (M±m)			
			до вживання фізіологічного розчину		після вживання фізіологічного розчину	
	Фігури	Слова	Фігури	Слова	Фігури	Слова
ПЗМР, мс	264,0±4,8	270,0±3,1	288,1±4,31*	291,8±3,34*	288,5±4,43*	291,6±3,82*
ЛПРВ ₁₋₃ , мс	341,5±4,4	467,6±3,8	398,5±5,6*	497,8±3,1*	398,7±5,7*	497,6±3,8*
ЛПРВ ₂₋₃ , мс	389,9±3,5	516,0±4,0	449,6±5,3*	565,2±3,8*	449,8±5,5*	565,5±4,1*
ФРНП, с	72,0±1,1	76,4±1,2	75,7±1,1*	79,9±0,6*	75,8±1,0*	79,87±0,5*

*Примітка.** – достовірні зміни по відношенню до контрольної групи p < 0,05.

У таблиці 3 представлені результати впливу вживання назоферону на показники нейродинамічних функцій у людей з набутою короткозорістю високого ступеня.

Таблиця 3

Показники нейродинамічних функцій при переробці подразників, адресованих до I та II сигнальних систем після вживання назоферону на фоні набутої короткозорості високого ступеня

Показники	Контрольна група, M±m		Група плацебо осіб із набутою короткозорістю високого ступеня, M±m			
			до вживання назоферону		після вживання назоферону	
	Фігури	Слова	Фігури	Слова	Фігури	Слова
ПЗМР, мс	264,0±4,8	270,0±3,1	288,1±4,31*	291,8±3,34*	287,3±4,23*	290,5±3,22*
ЛПРВ ₁₋₃ , мс	341,5±4,4	467,6±3,8	398,5±5,6*	497,8±3,1*	397,5±4,7*	494,1±3,3*
ЛПРВ ₂₋₃ , мс	389,9±3,5	516,0±4,0	449,6±5,3*	565,2±3,8*	444,2±3,5*	562,3±3,1*
ФРНП, с	72,0±1,1	76,4±1,2	75,7±1,1*	79,9±0,6*	74,0±0,4*#	78,3±0,5*#

Примітки: * – достовірні зміни по відношенню до контрольної групи p < 0,05; # – достовірні зміни по відношенню до вихідних величин в групі з високим ступенем набутої короткозорості p < 0,05.

Вживання назоферону не викликало достовірних змін у величинах латентних періодів сенсомоторних реакцій різної складності (подразник фігури – I сигнальна система, подразник слова – II), порівнюючи з вихідними значеннями. Слід відзначити наявність тенденції до зменшення латентних періодів сенсомоторних реакцій, порівнюючи з вихідними величинами: ПЗМР зменшився на 0,3 % (0,8 мс) – I сигнальна система та 0,55 % (1,3 мс) – II сигнальна система, ЛПРВ1-3 – на 0,3 % (1,0 мс) – I сигнальна система та 0,7 % (3,7 мс) – II сигнальна система, ЛПРВ2-3 – на 1,2 % (5,4 мс) – I сигнальна система та 0,5 % (2,9 мс) – II сигнальна система, порівнюючи із значеннями до вживання назоферону.

ФРНП після вживання назоферону мала достовірні зміни, порівнюючи з вихідними значеннями. I сигнальна система подразник фігури ФРНП стало краще на 2,2 % (1,7 с), II сигнальна система подразник слова ФРНП стало краще на 2,0 % (1,6 с), але було достовірно гірше в порівнянні з практично здоровими людьми.

Аналізуючи зміни величин латентних періодів сенсомоторних реакцій різної складності при обробці подразників адресованих до I та II сигнальних систем на фоні набутої короткозорості високого ступеня як до вживання назоферону, так і після, слід зауважити, що їх значення виходили за референтні межі, які визначені дослідженнями М. В. Макаренка та С. В. Лизогуба [6]. ФРНП на фоні набутої короткозорості високого ступеня при обробці подразників, адресованих до I та II сигнальних систем, як до так і після вживання назоферону було гірше, порівнюючи з практично здоровими людьми. Слід звернути увагу, що вживання назоферону викликало достовірне покращення стану ФРНП при обробці подразників, адресованих до I та II сигнальних систем, порівнюючи з вихідними значеннями.

Згідно з інструкцією та нашими попередніми дослідженнями, зміни ФРНП можна пояснити тим, що вживання назоферону викликало активацію клітинної ланки системного імунітету, згідно з літературними даними, активація імунної системи супроводжується збільшенням біоелектричної активності ЦНС [15].

Таким чином, імуностимуляція, вживання назоферону як назального спрею на фоні набутої короткозорості високого ступеня викликала достовірне покращення стану функціональної рухливості основних нервових процесів, а також тенденцію до незначного зменшення латентних періодів сенсомоторних реакцій різної складності при обробці подразників, адресованих до I та II сигнальних систем. Слід зазначити, що зміни латентних періодів сенсомоторних реакцій різної складності при обробці подразників слова (II сигнальна система) мали більш виражені зміни, порівнюючи зі змінами латентних періодів сенсомоторних реакцій при обробці подразників фігури (I сигнальна система) після вживання назоферону. Такі зміни вказують на незначне покращення центральної обробки подразників (фігури та слова) після вживання назоферону на фоні набутої короткозорості високого ступеня.

Висновки

Нашими дослідженнями виявлено, що вживання назоферону (імуностимуляція) на фоні набутої короткозорості високого ступеня викликало достовірне покращення функціональної рухливості основних нервових процесів при обробці подразників, адресованих до I та II сигнальних систем, але при цьому їх значення були достовірно гірші, порівнюючи з практично здоровими людьми. Латентні періоди сенсомоторних реакцій різної складності після вживання назоферону на фоні набутої короткозорості високого ступеня, при обробці подразників, адресованих до I та II сигнальних систем, мали тенденцію до зменшення, але при цьому вони були достовірно більші, порівнюючи з величинами практично здорових людей.

Таким чином, імуностимуляція має позитивний вплив на показники функціональної рухливості основних нервових процесів на фоні набутої короткозорості високого ступеня.

1. Вікова фізіологія: підручник / П. Д. Плахтій, Н. В. Рубановська, Д. П. Плахтій, В. А. Колодій; за ред. П. Д. Плахтія. Львів : Видавництво «Новий Світ-2000», 2020. 340 с.
2. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». [Інтернет]. Документ 990_005, редакція від 01.10.2008. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005. (дата звернення: 01.11.2022).
3. Загальна декларація про біоетику та права людини. Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури: відділ етики науки і технології: сектор соціальних і гуманітарних наук [Інтернет].

- 2005 жовт. 19; 12 с. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>. (дата звернення: 01.11.2022).
4. Інструкція для медичного застосування препарату НАЗАФЕРОН, затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 24.01.11 № 33. Сертифікат про державну реєстрацію № UA/15653/01/01 Термін державної реєстрації: з 15.12.2021.
 5. Колесник Ю. І., Шейко В. І., Львов О. С. Аналіз показників вищої нервової діяльності в залежності від ступеня короткозорості. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2019. Т. 4, № 4. С. 268–273. <https://doi.org/10.26693/jmbs04.04.268>.
 6. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Кожемяко Т. В., Черненко Н. П. Вікові особливості швидкості обробки інформації у осіб з різним рівнем функціональної рухливості нервових процесів. *Фізіологічний журнал*. 2011. Т. 57, № 1. С. 88–93.
 7. Макаренко М. В., Панченко В. М. Сенсомоторна реактивність у людей з різними властивостями основних нервових процесів. *Вісник нац. ун-ту оборони України*. 2012. Т. 4, № 29. С. 188–193.
 8. Моїсеєнко Р. О., Голубчиков М. В., Михальчук В. М. Офтальмологічна допомога в Україні за 2014–2017 роки (аналітично-статистичний довідник). Київ, 2018. 314 с.
 9. Патологія : підручник / М. Н. Зайко, Ю. В. Биць, М. В. Кришталь та ін. ; за ред. М. В. Криштала, М. Н. Зайка, Ю. В. Биця. 7-ме вид., переробл. і доповн. Київ : ВСВ «Медицина», 2021. 744 с.
 10. Cooper J., O'Connor B., Watanabe R. Case series analysis of myopic progression control with a unique extended depth of focus multifocal contact lens. *Eye Contact Lens*. 2018. Vol. 44, No 5. P. e16-e24. <https://doi.org/10.1097/ICL.0000000000000440>.
 11. Holden B. A., Fricke T. R., Wilson D. A., Jong M., Naidoo K. S., Sankaridurg P., Wong T. Y., Naduvilath T. J., Resnikoff S. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016. Vol. 123, No 5. P. 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>.
 12. Ivasenko A. Yu. Lipid metabolism indices in individuals with acquired myopia. *Acta Carpathica*. 2023. Т. 2(40), С. 44–50. <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.2.5>.
 13. Kolesnyk Y., Sheiko V., Dereka T. Comparison of indicators of cellular and humoral immunity in acquired myopia mild and high degree. *Zdravotnické listy. Laboratory Medicine; Public health*. 2020. Vol. 8, No 4. P. 36–42.
 14. Moderní aspekty vědy Svazek XLVIII / Díl mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. 373 s. – Розд.: Вплив імуностимуляції на сприйняття та обробку інформації адресованої I та II сигнальним системам на фоні набутої короткозорості середнього ступеня. / Стрельцова В. В. С. 154–173. <https://doi.org/10.52058/48-2024>.
 15. Sheiko Vitalii, Kuchmenko Olena, Kushch Yulia, Mkhitaran Laura, Glazkov Eduard, Havii Valentyna State of psycho-physiological functions in persons with a weak degree of acquired myopia. *Notes in Current Biology*. 2022. № 2. С. 77–82. <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2022-2-10>.
 16. Vitovska O. P., Savina O. M. Structure and frequency of diseases of the eye and adnexa in children in Ukraine. *Medicni perspektivy*. 2015, Vol. 20, No 3, P. 133–138.
 17. Voronenko Yu. B., Holubchikov M. I., Vitovska O. P., Rykov S. O. Ophthalmic care in Ukraine for 2005–2014: Analytical and statistical report. Kyiv, 2015. 230 p.

References

1. Vikova fiziologhiia: pidruchnyk / P. D. Plakhtii, N. V. Rubanovska, D. P. Plakhtii, V. A. Kolodii; za red. P. D. Plakhtii. Lviv : Vydavnytstvo «Novyi Svit-2000», 2020. 340 s. [in Ukrainian]
2. Helsinska deklaratsiia Vsesvitnoi medychnoi asotsiatsii «Etychni pryntsyipy medychnykh doslidzhen za uchastiu liudyny u iakosti obiekta doslidzhennia». [Internet]. Dokument 990_005, redaktsiia vid 01.10.2008. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005. (data zvernennia: 01.11.2022). [in Ukrainian]
3. Zahalna deklaratsiia pro bioetyku ta prava liudyny. Orhanizatsiia Obiednanykh Natsii z pytan osvity, nauky i kultury: viddil etyky nauky i tekhnolohii: sektor sotsialnykh i humanitarnykh nauk [Internet]. 2005 zhovt. 19; 12 s. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>. (data zvernennia: 01.11.2022). [in Ukrainian]
4. Instruktziia dlia medychnoho zastosuвання preparatu NAZAFERON, zatverdzheno nakazom Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy vid 24.01.11 No 33. Sertyfikat pro derzhavnu reiestratsiiu No UA/15653/01/01 Termin derzhavnoi reiestratsii: z 15.12.2021. [in Ukrainian]
5. Kolesnyk Yu. I., Sheiko V. I., Lvov O. S. Analiz pokaznykiv vyshchoi nervovoi diialnosti v zalezhnosti vid stupenia korotkozorosti. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*. 2019. Т. 4, No 4. S. 268–273. <https://doi.org/10.26693/jmbs04.04.268>. [in Ukrainian]

6. Makarenko M. V., Lyzohub V. S., Kozhemiako T. V., Chernenko N. P. Vikovi osoblyvosti shvydkosti obrobky informatsii u osib z riznym rivnem funktsionalnoi rukhlyvosti nervovykh protsesiv. *Fiziologichnyy zhurnal*. 2011. T. 57, No 1. S. 88–93. [in Ukrainian]
7. Makarenko M. V., Panchenko V. M. Sensomotorna reaktyvnist u liudei z riznymi vlastyvostrami osnovnykh nervovykh protsesiv. *Visnyk nats. un-tu oborony Ukrainy*. 2012. T. 4, No 29. S. 188–193. [in Ukrainian]
8. Moiseienko R. O., Holubchikov M. V., Mykhalchuk V. M. Oftalmolohichna dopomoha v Ukraini za 2014–2017 roky (analychno-statystychni dovidnyk). Kyiv, 2018. 314 s. [in Ukrainian]
9. Patofiziologhiia : pidruchnyk / M. N. Zaiko, Yu. V. Byts, M. V. Kryshtal ta in. ; za red. M. V. Kryshtalia, M. N. Zaika, Yu. V. Bytsia. 7-me vyd., pererobl. i dopovn. Kyiv : VSV «Medytsyna», 2021. 744 s. [in Ukrainian]
10. Cooper J., O'Connor B., Watanabe R. Case series analysis of myopic progression control with a unique extended depth of focus multifocal contact lens. *Eye Contact Lens*. 2018. Vol. 44, No 5. P. e16-e24. <https://doi.org/10.1097/ICL.0000000000000440>.
11. Holden B. A., Fricke T. R., Wilson D. A., Jong M., Naidoo K. S., Sankaridurg P., Wong T. Y., Naduvilath T. J., Resnikoff S. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016. Vol. 123, No 5. P. 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>.
12. Ivasenko A. Yu. Lipid metabolism indices in individuals with acquired myopia. *Acta Carpathica*. 2023. T. 2(40), C. 44–50. <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.2.5>.
13. Kolesnyk Y., Sheiko V., Dereka T. Comparison of indicators of cellular and humoral immunity in acquired myopia mild and high degree. *Zdravotnicke listy. Laboratory Medicine; Public health*. 2020. Vol. 8, No 4. P. 36–42.
14. Moderní aspekty vědy Svazek XLVIII / Díl mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. 373 s. – Розд.: Вплив імуностимуляції на сприйняття та обробку інформації адресованої I та II сигнальним системам на фоні набуті короткозорості середнього ступеня. / Стрельцова В. В. С. 154–173. <https://doi.org/10.52058/48-2024>.
15. Sheiko Vitalii, Kuchmenko Olena, Kushch Yulia, Mkhitarayan Laura, Glazkov Eduard, Havii Valentyna State of psycho-physiological functions in persons with a weak degree of acquired myopia. *Notes in Current Biology*. 2022. № 2. C. 77–82. <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2022-2-10>.
16. Vitovska O. P., Savina O. M. Structure and frequency of diseases of the eye and adnexa in children in Ukraine. *Medicni perspektivy*. 2015, Vol. 20, No 3, P. 133–138.
17. Voronenko Yu. B., Holubchikov M. I., Vitovska O. P., Rykov S. O. Ophthalmic care in Ukraine for 2005–2014: Analytical and statistical report. Kyiv, 2015. 230 p.

¹V. V. Streltsova, ²O. S. Voloshyn, ²V. H. Omelyanenko

¹Aidarska School of General Secondary Education, Ukraine

²Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

NEURODYNAMIC FUNCTION AND SIGNAL SYSTEM PROCESSING IN INDIVIDUALS WITH HIGH-DEGREE ACQUIRED MYOPIA UNDER IMMUNOSTIMULATION

Modern society is characterized by an information-cybernetic nature; consequently, humans, as its integral components, experience considerable information-emotional stress accompanied by non-infectious, stress-related symptoms. Given that approximately 80% of information is perceived through the visual organ – primarily via the close-range observation of small symbols – the visual sensory system undergoes substantial functional strain. Prolonged close-range observation of minute objects triggers morpho-functional changes in ocular structure, which can be interpreted as an adaptive response that progresses toward a pathophysiological state, namely acquired myopia. Acquired myopia, as a pathophysiological process, is associated with varying degrees of immune dysfunction. Notably, neurodynamic indices in individuals with mild-to-moderate myopia (excluding high-degree myopia) are often superior to those of healthy controls, indicating heightened functional activity of the central nervous system (CNS). In contrast, high-degree acquired myopia is characterized by marked deterioration of both systemic immunity and neurodynamic function.

The study aimed to evaluate neurodynamic parameters and the processing of stimuli addressed to the primary (I) and secondary (II) signal systems in individuals with high-degree acquired myopia during immunostimulation with Nasoferon.

The study involved three groups of male volunteers: Group I (control), comprising 40 healthy individuals; Group II (placebo), comprising 21 individuals with high-degree acquired myopia who received a nasal saline spray; and Group III, comprising 21 individuals with high-degree acquired

myopia who were administered the immunostimulant Nasoferon as a nasal spray. Neurodynamic functions were assessed using the M. V. Makarenko methodology, with geometric figures serving as stimuli for the primary signal system and words serving as stimuli for the secondary signal system. The study was conducted in accordance with bioethical standards.

In individuals with high-degree acquired myopia, processing of figure stimuli showed a significantly longer latent period of simple sensory-motor reaction (LPSMR), by 9.13 % (24.1 ms), latent period of choice reaction (LPCR1-3), by 16.7 % (57 ms), and LPCR2-3, by 15.31 % (59.7 ms), relative to control values; the functional mobility of nervous processes (FMNP) during figure processing was also significantly lower than in controls. During processing of word stimuli, LPSMR was higher by 8.07 % (21.8 ms), LPCR1-3 by 6.46 % (30.2 ms), and LPCR2-3 by 9.53 % (49.2 ms) relative to controls, with FMNP likewise significantly impaired in this group.

Administration of Nasoferon did not produce significant changes in the latent periods of sensory-motor reactions of varying complexity, for either figure or word stimuli, relative to baseline values. However, FMNP values following Nasoferon treatment showed significant positive changes relative to baseline for both stimulus types.

These findings indicate that immunostimulation exerts a positive effect on FMNP indices during the processing of both primary and secondary signal system stimuli in individuals with high-degree acquired myopia.

Keywords: latent periods, sensory-motor reactions, functional mobility of nervous processes, immunostimulation, high-degree acquired myopia, primary and secondary signal systems.


Надійшла до редакції: 05.02.2026

Прийнята до друку: 04.03.2026

Опублікована: 30.03.2026

УДК: 612.122

doi: 10.25128/2078-2357.26.1.7

В. І. ШЕЙКО , Д. А. КАЗНАЧЕСВ 

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
E-mail: interliycin@ukr.net

МІКРОКРИСТАЛІЗАЦІЯ СЛИНИ НА ФОНІ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВРОДЖЕНОЇ ПАТОЛОГІЇ ОРГАНУ ЗОРУ (ТОТАЛЬНА АБО ЧАСТКОВА СЛІПОТА)

Особливу увагу привертає значний розвиток біології, медицини та біомедицини, який формує несподівані аспекти та підходи до вивчення та діагностування біологічних об'єктів. Одним із таких напрямків медико-біологічної науки є вивчення біологічних рідин, що отримані неінвазивними методами. Саме формування неінвазивних методів дослідження та діагностики утворює вектор передової біологічної та медичної науки. Значну увагу приділяють дослідженню такої біологічної рідини як слина, що створило науковий напрям слиноміка. Слина – унікальна біологічна рідина, що містить різноманітний спектр речовин, які віддзеркалюють функціонально-адаптаційні зміни функціональних систем організму. Мікрокристалізація слини є класичним неінвазивним методом дослідження. Зміни кристалізаційних особливостей висушеної слини є діагностичною ознакою певних видів патології або їх впливу на функціонування нервової системи.

Метою роботи було дослідити особливості архітекτονіки мікрокристалів слини під впливом фізичних навантажень на фоні вродженої патології зору (тотальна або часткова сліпота).

Дослідження проводили на групі волонтерів, яка складалася з 21 особи – контрольна/перша група (практично здорові), 21 особа – друга група (волонтери, які мають вроджену патологію: тотальна або часткова сліпота). Усі волонтери були чоловічої статі, середній вік яких становив $22,8 \pm 1,2$ року. Волонтери другої групи мали фізичне навантаження. Мікрокристалізацію слини досліджували за методикою П. А. Леуса. Дослідження мікрокристалізації слини було проведено в першій (контрольній) і в другій групах. У другій групі дослідження мікрокристалізації слини було проведено також після фізичних навантажень. Робота виконувалась у відповідності до біоетичних норм.

У контрольній групі були наявні I та II типи мікрокристалізації слини (75 % I тип мікрокристалів, 25 % – II тип), що відповідає нормальному фізіологічному стану. У волонтерів другої групи спостерігалась перевага мікрокристалів слини III та IV типів; відносний розподіл становив: I та II тип відсутні, III тип – 29,7 %, IV тип – 58,5 %, V тип – 11,8 %. Після фізичних навантажень у волонтерів другої групи мікрокристали були представлені I (33 %), II (19 %), III (29 %) та IV (19 %) типами, V тип був відсутній.

Результати нашого дослідження особливостей мікрокристалізації слини після фізичних навантажень на фоні вродженої патології зорового аналізатора (тотальна або часткова сліпота) створюють можливість розглядати метод мікрокристалізації слини як додатковий метод, що характеризує функціональні зміни та патофізіологічні процеси.

Ключові слова: вроджена патологія зору (тотальна або часткова сліпота), фізичні навантаження, мікрокристалізація слини.

На сучасному етапі розвитку людського суспільства спостерігається значний та високий темп прогресу в усіх галузях науки, що є фундаментом для інноваційної діяльності суспільства.



©2026 В. І. Шейко та співавт. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

Особливу увагу привертає значний розвиток біології, медицини та біомедицини, який формує несподівані аспекти та підходи до вивчення та діагностування біологічних об'єктів. Одним із таких напрямків медико-біологічної науки є вивчення біологічних рідин, що отримані неінвазивними методами. Саме формування неінвазивних методів дослідження та діагностики утворює вектор передової біологічної та медичної науки. Значну увагу приділяють дослідженню такої біологічної рідини як слина, що створило науковий напрям слиноміка [5, 8, 16, 17].

У медичній галузі, а саме в стоматології, дослідження слини використовується як додатковий діагностичний аспект, що характеризує різноманітні патологічні стани та процеси в ротовій порожнині. Поряд з біохімічними дослідженнями слини в стоматології з'явився новий аспект дослідження слини – це мікрокристалізація, що створило основу для формування нового методу в діагностиці, а саме вивчення особливостей мікрокристалізаційної картини слини на фоні різних патологічних процесів [16].

Мікрокристалізація слини є класичним неінвазивним методом дослідження, який базується на процесах дегідратації краплі слини з утворенням кристалів [4, 5, 7, 16].

Слина – унікальна біологічна рідина, що містить різноманітний спектр речовин, які віддзеркалюють функціонально-адаптаційні зміни функціональних систем організму [8, 10, 16].

Дегідратація слини супроводжується утворенням кристалів, які формуються під час взаємодії рідкої фракції з твердою фракцією. Саме утворення кристалів та їх особливості в будові та масштабах і є предметом вивчення мікрокристалізаційної картини слини. Зміни кристалізаційних особливостей висушеної слини є діагностичною ознакою певних видів патології або їх впливу на функціонування нервової системи [4, 7, 10, 11, 15, 16].

Спираючись на наукові публікації таких вчених, як Н. Ю. Ємельянова (2023), В. І. Шейко, Д. О. Сутормін (2023), Y. Cui, M. Yang, J. Zhu (2022), О. І. Залюбовська, Т. І. Тюпка, В. В. Зленко (2016), ми провели дослідження особливостей мікрокристалізаційної картини на тлі вродженої патології зорового аналізатора (тотальної або часткової сліпоти) при фізичних навантаженнях [4, 7, 8, 10, 12].

Метою було дослідити особливості архітекtonіки мікрокристалів слини під впливом фізичних навантажень на фоні вродженої патології зору (тотальна або часткова сліпота).

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили на групі волонтерів, яка складалася з 21 особи – контрольна/перша група (практично здорові), 21 особа – друга група (волонтери, які мають вроджені патології зорової сенсорної системи: тотальна або часткова сліпота). Усі волонтери були чоловічої статі, середній вік яких становив $22,8 \pm 1,2$ року. Волонтери другої групи мали фізичне навантаження у вигляді плавання в басейні протягом 1–2 годин, пропливаючи в середньому 1,5–2 км. Усі волонтери дали письмову згоду на участь в дослідженні.

Мікрокристалізацію слини досліджували за методикою П. А. Леуса Методика збору досліджуваного субстрату заснована на збиранні нестимульованої змішаної слини, яка акумулюється у порожнині рота до появи рефлексу ковтання слини, тобто річ іде саме про ротову рідину [2]. Забір слини здійснювали через 2 години після прийому їжі. До забору біологічних зразків волонтери прополоскали порожнину рота водою протягом 30 секунд. Проведення забору біологічного матеріалу здійснювали по мірі накопичення нестимульованої слини в порожнині рота, у нестерильні пробірки об'ємом 7 мл з герметичною заглушкою; отриманий біоматеріал був промаркований. Середній об'єм зібраної слини становив 1–1,5 мл. Транспортування біологічної рідини (слина) здійснювали у спеціальному термоконтейнері з охолоджуючими елементами. Термін зберігання при температурі $+2 - + 8$ °C – упродовж 1 доби [9].

Приготування нативних препаратів слини відбувалося після 12 годин від моменту їх збору, згідно з наказом МОЗ №662 від 30.07.2013 [9].

Алгоритм приготування нативного препарату слини за методом П. А. Леуса: предметне скло попередньо знежирене та промаркероване відповідно до номеру волонтера; нестерильною піпеткою Пастера 0,2 мл слини було нанесено на предметне скло зі збереженням перпендикулярного положення; висушування зразка відбувалось при кімнатній температурі протягом 6–8 годин після нанесення слини на предметне скло [2].

Наступний етап: отриману мікрокристалізаційну архітекtonіку вивчали за допомогою світлової мікроскопії мікроскопом MICROmed XS-3330 LED при збільшенні 4x10(40x) та

10x10(100x) з використанням методики світлого поля. Фотопротокол досліджуваних зразків отримували за допомогою камери MICROmed MDC-500. Відеоокуляр був приєднаний через трубку-адаптер на мікроскопі [3].

Дослідження мікрокристалізації слини було проведено як в першій (контрольна) групі, так і в другій групі (волонтери з вродженими патологіями зору). У другій групі дослідження мікрокристалізації слини також було проведено і відразу після фізичних навантажень.

Координацію досліджень здійснювали кафедрою загальної біології та методики навчання природничих дисциплін Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, кафедрою біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя, кафедрою фізичної терапії, фізичного виховання та біології Донбаського педагогічного університету (м. Дніпро).

Робота виконана у відповідності до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України [1, 6].

Результати досліджень та їх обговорення

У контрольній групі були наявні I та II типи мікрокристалізації слини (75 % I тип мікрокристалів, 25 % – II тип), що відповідає нормальному фізіологічному стану (рис. 1), згідно з даними Aurelia Spinei, Alina Monica Picos, Ina Romanciuc [17].

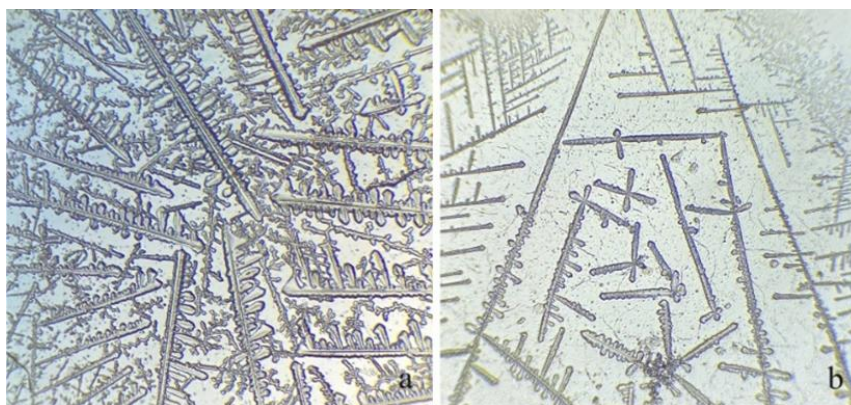


Рис. 1. I та II тип мікрокристалізації слини (контрольна група) 4x10: а – I тип, б – II тип.

У волонтерів другої групи спостерігали перевагу мікрокристалів слини III та IV типів (рис. 2); відносний розподіл типів мікрокристалів слини становив: I та II тип відсутні, III тип – 29,7 %, IV тип – 58,5 %, V тип – 11,8 % (рис. 3). Отримані результати перегукуються з науковими публікаціями [8, 10, 15].

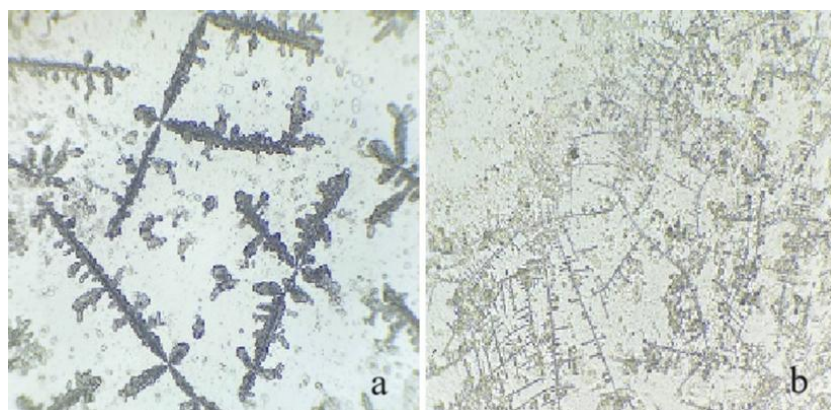


Рис. 2. III та IV тип мікрокристалізації слини (волонтери з вродженою патологією зору) 4x10: а – III тип, б – IV тип.

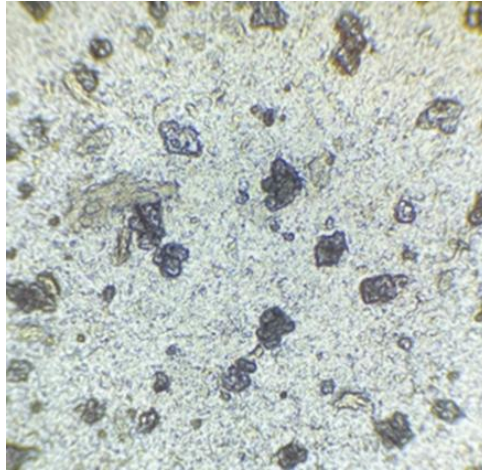


Рис. 3. V тип мікрокристалізації слини (волонтери з вродженою патологією зору) 4x10.

У другій групі волонтерів перевага кристалів III та IV типів може бути зумовлена вродженою патологією зору, яка супроводжується постійним стресом, що має соціальний та біологічний аспекти: соціальний – не повна соціалізація людей з тотальною або частковою сліпотою; біологічний – компенсаторне навантаження на фізіологічні системи, які забезпечують діяльність організму на фоні вродженої морфо-функціональної патології. Вроджена патологія зору супроводжується порушеннями різного ступеня психічних та психофізіологічних функцій, циркадальних ритмів, місцевої гемодинаміки та гомеостатичних показників [13, 14].

Після фізичних навантажень у волонтерів другої групи мікрокристали слини були представлені I, II, III та IV типами мікрокристалів, а мікрокристали V типу були відсутні. Співвідношення типів мікрокристалів слини становили: I тип кристалів – 33 %, II тип – 19,0 %, III тип – 29 %, IV тип – 19,0 %, V тип кристалів – 0 %.

Висновки

Таким чином, фізичні навантаження викликали значні зміни у відсотковому співвідношенні типів кристалів на фоні вродженої патології зору (тотальна або часткова сліпота), який характеризувався повною відсутністю кристалів V типу, переваженням кристалів I, II типів – 52 %, мікрокристали III та IV типу становили 48 %. Слід відмітити, присутність кристалів I та II типів після фізичних навантажень на фоні тотальної або часткової сліпоти (вроджена патологія) була не тривалою, кристали I та II були відсутні через добу після фізичного навантаження, а замість них знову з'являлися кристали V типу.

Результати дослідження особливостей мікрокристалізації слини після фізичних навантажень на фоні вродженої патології зорового аналізатору (тотальна або часткова сліпота) створюють можливість розглядати метод мікрокристалізації слини як додатковий метод, що характеризує функціональні зміни та патофізіологічні процеси.

1. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». [Інтернет]. Документ 990_005, редакція від 01.10.2008. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005.
2. Данильців Л. О., Рожко М. М., Назарук Р. М. Особливості мікрокристалізації ротової рідини в 15-річних підлітків із різним психоемоційним станом. *Терапевтика*. 2022. Т. 3, № 1. С. 30–34. <https://doi.org/10.31793/2709-7404.2022.3-1.30>.
3. Декларація про відповідність продукції вимогам технічного регламенту щодо медичних виробів, реєстраційний №UA.TR.754.D.38667476/MM/DEC-006 версія 2 від 08.01.2024 р.
4. Ємельянова Н. Ю. Стан ротової рідини пацієнтів, які перебувають в умовах тривалого хронічного стресу. *Український терапевтичний журнал*. 2023. № 3. С. 40–46. <https://doi.org/10.30978/UTJ2023-2-409>.

5. Жалдак А., Іванько О., Депутат Ю. Вивчення досвіду застосування неінвазивних методів для оцінки функціонального стану організму при фізичних та психоемоційних навантаженнях (огляд літератури). *Ukrainian Scientific Medical Youth Journal*. 2021. № 2(124). С. 53–63. <https://doi.org/10.32345/USMYJ.1.2021.53-63>.
6. Загальна декларація про біоетику та права людини. Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури: відділ етики науки і технології: сектор соціальних і гуманітарних наук [Інтернет]. 2005 жовт. 19; 12 с. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>.
7. Залюбовська О. І., Тюпка Т. І., Зленко В. В. Саліводіагностика: реалії та перспективи. *Теоретична і експериментальна медицина*. 2016. № 4 (73). С. 15–19.
8. Казначеев Д. А., Сутормін Д. О. Мікрокристалізація слини у людей що страждають на вроджені патології зору. *Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*. № 1–2 (2024). С. 103–112. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-1-2-103-112>.
9. Наказ №662 30.07.2013 «Про затвердження Методичних рекомендацій «Порядок забору, транспортування та зберігання матеріалу для дослідження методом полімеразної ланцюгової реакції». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0662282-13#Text>.
10. Сутормін Д. О., Шейко В. І. Мікрокристалізація слини як маркерний показник фізіологічних та патофізіологічних процесів. *Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*. 2023. № 2. С. 76–83. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2023-BN-2-76-83>.
11. Шнайдер С. А., Скиба В. Я., Скиба О. В., Бабеня Г. О., Варжапетян С. Д. Стан тканин порожнини рота в пацієнтів на цукровий діабет 2 типу. *Клінічна медицина*. 2020. № 25 (3). С. 153–160. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2020.3.214854>.
12. Cui Y., Yang M., Zhu J., Zhang H., Duan Z., Wang S., Liao Z., Liu W. Developments in diagnostic applications of saliva in human organ diseases. *Medicine in Novel Technology and Devices*. 2022. Vol. 13. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.medntd.2022.100115>.
13. Jammal H. M., Khader Y., Kanaan S.F., Al-Dwairi R., Mohidat H., Al-Omari R., Alqudah N., Saleh O. A., Alshorman H., Al Bdour M. The Effect of Visual Impairment and Its Severity on Vision-Related and Health-Related Quality of Life in Jordan: A Comparative Cross-Sectional Study. *J Multidiscip Healthc*. 2023. № 16. P. 3043–3056. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S431159>.
14. Lulu C., Xie H., Wang P., Zhang T. Impacts of visual impairment on pragmatic impairment: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*. 2023. № 18 (12): e0294326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294326>.
15. Modern ways of developing medicine, biology and psychology as methods of protecting humans: collective monograph / Tashchuk V., Malinevska-Bilichuk O., Al Salama M., Amelina T. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2025. 222 s. – Розд.: Мікрокристаліційна архітектоніка слини та гемодинамічні індекси на фоні вроджених патологій зору / Сутормін Д. О. S. 154–160. <https://doi.org/10.46299/ISG.2025.MONO.MED.1>.
16. Moderní aspekty vědy: LI. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. 433 s. – Розд.: Мета-аналіз аспектів слиноміки для медико-біологічних досліджень / Сутормін Д. О. S. 230–242. <https://doi.org/10.52058/51-2024>.
17. Spinei A., Picos A. M., Romanciuc I., Berar A., Mihailescu A.M. The Study of Oral Liquid Microcrystallization in Children with Gastro-Esophageal Reflux Disease. *Clujul Med*. 2014. № 87(4). P. 269–276. <https://doi.org/10.15386/cjmed-38728>.

References

1. Helsinska deklaratsiia Vsesvitnoi medychnoi asotsiatsii «Etychni pryntsyipy medychnykh doslidzhen za uchastiu liudyny u yakosti obiekta doslidzhennia». [Internet]. Dokument 990_005, redaktsiia vid 01.10.2008. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005. [in Ukrainian]
2. Danyltsiv L. O., Rozhko M. M., Nazaruk R. M. Osoblyvosti mikrokrystalizatsii rotovoi ridyny v 15-richnykh pidlitkiv iz riznym psykhoemotsiynym stanom. *Terapevtyka*. 2022. T. 3, No 1. S. 30–34. <https://doi.org/10.31793/2709-7404.2022.3-1.30>. [in Ukrainian]
3. Deklaratsiia pro vidpovidnist produktsii vymoham tekhnichnoho rehlamentu shchodo medychnykh vyrobiv, reistratsiynyi NoUA.TR.754.D.38667476/MM/DEC-006 versiia 2 vid 08.01.2024 r. [in Ukrainian]
4. Yemelianova N. Yu. Stan rotovoi ridyny patsientiv, iaki perebuvaiut v umovakh tryvaloho khronichnoho stresu. *Ukrainskyi terapevtychnyi zhurnal*. 2023. No 3. S. 40–46. <https://doi.org/10.30978/UTJ2023-2-40>. [in Ukrainian]
5. Zhaldak A., Ivanko O., Deputat Yu. Vyvchennia dosvidu zastosuvannia neinvazyvnykh metodiv dlia otsinky funktsionalnoho stanu orhanizmu pry fizychnykh ta psykhoemotsiynykh navantazhenniakh (ohliad

- literatury). *Ukrainian Scientific Medical Youth Journal*. 2021. No 2(124). S. 53–63. <https://doi.org/10.32345/USMYJ.1.2021.53-63>. [in Ukrainian]
6. Zahalna deklaratsiia pro bioetyku ta prava liudyny. Orhanizatsiia Obiednanykh Natsii z pytan osvity, nauky i kultury: viddil etyky nauky i tekhnolohii: sektor sotsialnykh i humanitarnykh nauk [Internet]. 2005 zhovt. 19; 12 s. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>. [in Ukrainian]
 7. Zaliubovska O. I., Tiupka T. I., Zlenko V. V. Salivodiagnostyka: realii ta perspektyvy. *Teoretychna i eksperymentalna medytsyna*. 2016. No 4 (73). S. 15–19. [in Ukrainian]
 8. Kaznacheiev D. A., Sutormin D. O. Mikrokrystalizatsiia slyny u liudei shcho strazhdaiut na vrodzheni patolohii zoru. *Naukovi zapysky. Biolohichni nauky (Nizhynskyi derzhavnyi universytet imeni Mykoly Hoholia)*. No 1–2 (2024). S. 103–112. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-1-2-103-112>. [in Ukrainian]
 9. Nakaz No662 30.07.2013 «Pro zatverdzhennia Metodychnykh rekomendatsii «Poriadok zaboru, transportuvannia ta zberihannia materialu dlia doslidzhennia metodom polimeraznoi lantsiuhovoi reaksii». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0662282-13#Text>. [in Ukrainian]
 10. Sutormin D. O., Sheiko V. I. Mikrokrystalizatsiia slyny yak markernyi pokaznyk fiziolohichnykh ta patofiziolohichnykh protsesiv. *Naukovi zapysky. Biolohichni nauky (Nizhynskyi derzhavnyi universytet imeni Mykoly Hoholia)*. 2023. No 2. S. 76–83. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2023-BN-2-76-83>. [in Ukrainian]
 11. Shnayder S. A., Skyba V. Ya., Skyba O. V., Babenia H. O., Varzhapetian S. D. Stan tkanyn porozhnyny rota v patsientiv na tsukrovyi diabet 2 typu. *Klinichna medytsyna*. 2020. No 25 (3). S. 153–160. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2020.3.214854.12>. [in Ukrainian]
 12. Cui Y., Yang M., Zhu J., Zhang H., Duan Z., Wang S., Liao Z., Liu W. Developments in diagnostic applications of saliva in human organ diseases. *Medicine in Novel Technology and Devices*. 2022. Vol. 13. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.medntd.2022.100115>.
 13. Jammal H. M., Khader Y., Kanaan S.F., Al-Dwairi R., Mohidat H., Al-Omari R., Alqudah N., Saleh O. A., Alshorman H., Al Bdour M. The Effect of Visual Impairment and Its Severity on Vision-Related and Health-Related Quality of Life in Jordan: A Comparative Cross-Sectional Study. *J Multidiscip Healthc*. 2023. № 16. P. 3043–3056. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S431159>.
 14. Lulu C., Xie H., Wang P., Zhang T. Impacts of visual impairment on pragmatic impairment: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*. 2023. № 18 (12): e0294326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294326>.
 15. Modern ways of developing medicine, biology and psychology as methods of protecting humans: collective monograph / Tashchuk V., Malinevska-Biliichuk O., Al Salama M., Amelina T. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2025. 222 s. – Розд.: Мікрокристаліційна архітектоніка слини та гемодинамічні індекси на фоні вроджених патологій зору / Сутормін Д. О. S. 154–160. <https://doi.org/10.46299/ISG.2025.MONO.MED.1>.
 16. Moderní aspekty vědy: LI. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. 433 s. – Розд.: Мета-аналіз аспектів слиноміки для медико-біологічних досліджень / Сутормін Д. О. S. 230–242. <https://doi.org/10.52058/51-2024>.
 17. Spinei A., Picos A. M., Romanciuc I., Berar A., Mihailescu A.M. The Study of Oral Liquid Microcrystallization in Children with Gastro-Esophageal Reflux Disease. *Clujul Med*. 2014. № 87(4). P. 269–276. <https://doi.org/10.15386/cjmed-38728>.

V. Sheiko, D. Kaznacheiev

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

MICROCRYSTALLIZATION OF SALIVA AGAINST THE BACKGROUND OF PHYSICAL ACTIVITY AND CONGENITAL VISUAL IMPAIRMENTS (TOTAL OR PARTIAL BLINDNESS)

Particular attention is currently drawn to significant advances in biology, medicine, and biomedicine, which have opened unexpected aspects and approaches to the study and diagnosis of biological objects. One such direction in biomedical science is the study of biological fluids obtained via non-invasive methods. The development of non-invasive research and diagnostic methods constitutes a key vector of advanced biological and medical science. Considerable attention has been devoted to the study of saliva as a biological fluid, giving rise to a distinct scientific field known as salivomics. Saliva is a unique biological fluid containing a diverse range of substances that reflect functional-adaptive changes within the body's functional systems. Saliva microcrystallization is a classic non-invasive research method; changes in the crystallization patterns of dried saliva serve as a diagnostic marker for certain pathologies or for their impact on the functioning of the nervous system.

The study aimed to investigate the features of saliva microcrystal architectonics under the influence of physical exertion against the background of congenital visual pathology (total or partial blindness).

The study was conducted on a group of 42 male volunteers: 21 individuals comprised the control (first) group (practically healthy), and 21 individuals comprised the second group (volunteers with congenital total or partial blindness). The mean age of participants was 22.8 ± 1.2 years. Volunteers in the second group were subjected to physical exertion. Saliva microcrystallization was assessed using the P. A. Leus method, in both the control group and the second group; in the latter, assessment was conducted both before and after physical exertion. The study was conducted in accordance with bioethical standards.

In the control group, saliva microcrystals of types I and II were observed (75% type I, 25% type II), corresponding to a normal physiological state. In the second group, types III and IV microcrystals predominated, with the following distribution: types I and II were absent, type III accounted for 29.7%, type IV for 58.5%, and type V for 11.8%. Following physical exertion, microcrystals in the second group were redistributed across types I (33%), II (19%), III (29%), and IV (19%), with type V no longer present.

These findings on saliva microcrystallization following physical exertion in individuals with congenital pathology of the visual analyser (total or partial blindness) suggest that the saliva microcrystallization method may serve as an additional tool for characterizing functional changes and pathophysiological processes.

Keywords: congenital visual pathology (total or partial blindness), physical exertion, saliva microcrystallization.

Надійшла до редакції: 12.02.2026

Прийнята до друку: 10.03.2026

Опублікована: 30.03.2026

ОГЛЯДИ

УДК 582.998.1:581.192

doi: 10.25128/2078-2357.26.1.8

С. Р. БУРИН , О. В. СОРОКА , М. З. ПРОКОП'ЯК , Н. М. ДРОБИК 

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2, Тернопіль, 46015
E-mail: svyrom123@gmail.com

БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ ВИДІВ РОДУ *ASTER* L.

Стаття присвячена аналізу біологічно активних речовин (БАР) рослин роду *Aster* L. та їхнього фармакологічного значення. У результаті узагальнення наукових даних встановлено, що рослини роду *Aster* містять флавоноїди, фенольні кислоти, терпеноїди, сапоніни, ефірні олії, кумарини, стероли та інші сполуки. Ці речовини проявляють антиоксидантну, протизапальну, антимікробну, цитотоксичну, імуномодулюючу та гепатопротекторну активність. Представники цього роду здавна використовують в традиційній медицині для лікування запальних захворювань, хвороб дихальної системи та інших патологій, що зумовлено багатим вмістом вторинних метаболітів.

Однією з основних груп БАР у рослинах роду *Aster* є флавоноїди, серед яких найчастіше виявляються кверцетин, кемпферол, апігенін і лютеолін. Вони забезпечують антиоксидантний захист рослин та мають виражені протизапальні й протипухлинні властивості. Важливу роль також відіграють фенольні кислоти, зокрема хлорогенова, кавава та ферулова, які характеризуються антиоксидантною, антивірусною та гепатопротекторною дією. Серед терпеноїдів найбільше значення мають тритерпенові сапоніни, що виявляють відхаркувальні, протизапальні, імуномодулюючі та цитотоксичні властивості. Окрему групу становлять циклічні пептиди (астини), які проявляють протипухлинну активність. Значний інтерес також викликають ефірні олії та кумарини, що мають антимікробну, антиоксидантну, спазмолітичну й протизапальну дію.

У статті проаналізовано накопичення БАР видами роду *Aster*. Так, у *Aster subulatus* (Michx.) Hort. ex Michx виявлено значну кількість флавоноїдів і фенольних кислот, зокрема похідні апігеніну, лютеоліну, кемпферолу та кверцетину, що зумовлюють високий антиоксидантний потенціал рослини. Вид *Aster tataricus* L. f. є одним із найбільш досліджених представників роду: у ньому ідентифіковано понад 80 флавоноїдних та понад 70 терпенових сполук, а також циклічні пептиди й сапоніни, які проявляють відхаркувальну, протизапальну та протипухлинну активність. У *Aster lingulatus* Franch. виявлено специфічні тритерпенові сапоніни – астерлінгулатозиди, що демонструють цитотоксичну дію щодо клітин лейкемії людини. Для *Aster batangensis* Bureau & Franch характерна наявність унікальних астербатанозидів, які виділяють переважно з коренів рослини; цей вид традиційно використовують у народній медицині для лікування укусів змій. У надземній частині *Aster bellidiastrum* (L.) Scop. також виявлено тритерпенові сапоніни, що свідчить про перспективність виду як джерела БАР.



©2026 С. Р. Бурин та співавт. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

Окремо наголошено на необхідності подальшого вивчення *Aster alpinus* L. – рідкісного карпатського виду, який залишається недостатньо дослідженим у фітохімічному аспекті та потребує охорони.

Ключові слова: види роду *Aster* L., біологічно активні речовини, флавоноїди, сапоніни, ефірні олії, фенольні кислоти, терпеноїди, кумарини, стероли.

Рослинний світ є невичерпним джерелом біологічно активних речовин (БАР) – вторинних метаболітів, що формувалися мільйонами років як механізми хімічного захисту, сигналізації та адаптації до стресових умов середовища.

Особливу цінність у контексті пошуку нових БАР становлять рідкісні та ендемічні рослини гірських екосистем. Адаптація до екстремальних умов – значного ультрафіолетового випромінювання, різких перепадів температури, бідних субстратів – стимулює синтез різноманітних і нерідко унікальних вторинних метаболітів. Водночас скорочення ареалів таких видів під впливом кліматичних змін та антропогенного тиску ставить під загрозу не лише їхнє існування, але й доступність пов'язаних з ними хімічних ресурсів.

Серед рослин родини Айстрових (*Asteraceae*), однієї з найбільших родин квіткових рослин, що налічує понад 30 тис. видів, особливе місце займають представники роду *Aster* L. Вони характеризуються здатністю синтезувати широкий спектр біологічно активних сполук, зокрема флавоноїди, терпеноїди, поліпептиди та ефірні олії [11].

Рід *Aster* L. об'єднує значну кількість багаторічних трав'янистих видів рослин, поширених переважно в помірних регіонах Європи, Азії та Північної Америки. Представники роду здавна використовують в традиційній медицині різних народів для лікування запальних захворювань, патологій дихальної системи, шлунково-кишкових розладів та інфекційних процесів [11]. Такий широкий спектр фармакологічної активності зумовлений наявністю у рослин численних БАР різної хімічної природи.

Сучасні фітохімічні дослідження свідчать, що види роду *Aster* є перспективним джерелом вторинних метаболітів, серед яких особливу увагу привертають тритерпенові сапоніни, флавоноїди, фенольні кислоти, поліпептиди, стероли, ефірні олії та інші біологічно активні компоненти [3, 4, 9, 13, 14, 17, 19, 20]. Багато з цих речовин проявляють антиоксидантну, протизапальну, антимікробну, цитотоксичну, імуномодулюючу, гепатопротекторну активність тощо (табл. 1).

Зростаючий інтерес до природних джерел БАР зумовлює необхідність систематизації наявних даних щодо фітохімічного складу представників роду *Aster*. Аналіз результатів досліджень дозволяє оцінити перспективність окремих видів як джерел цінних метаболітів і визначити напрями подальших фармакогностичних, фітохімічних і біотехнологічних досліджень.

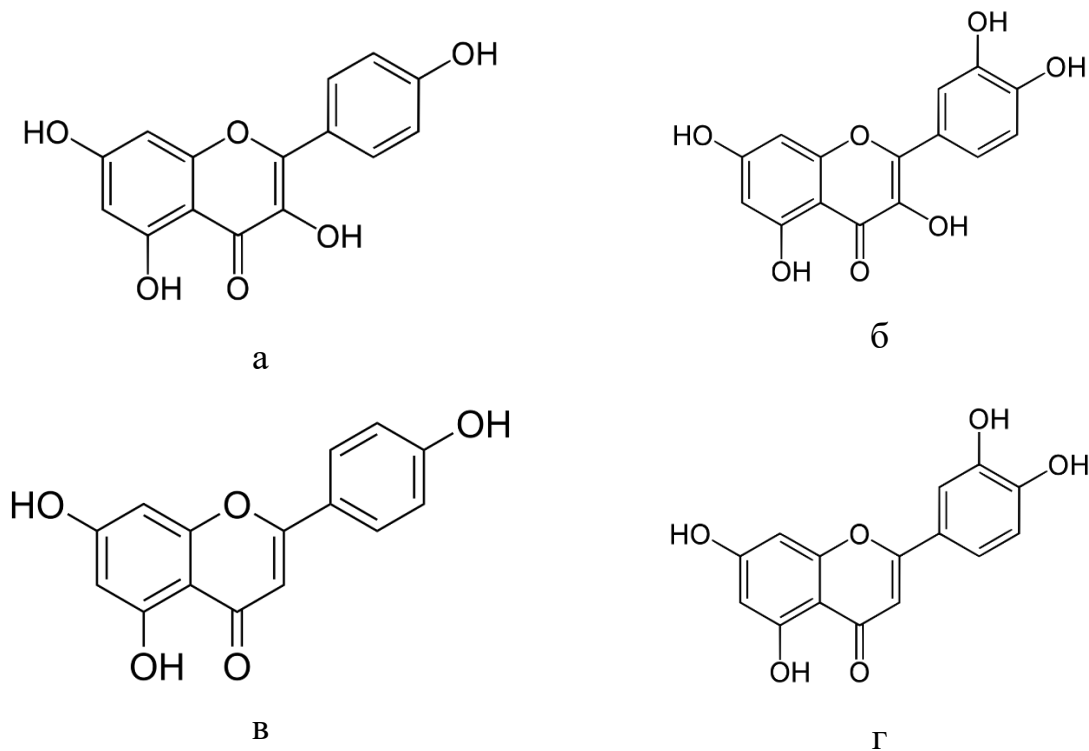
Метою роботи є узагальнення відомостей про БАР різних видів роду *Aster* та визначення груп сполук, характерних для окремих його представників.

Флавоноїди є провідною групою БАР у рослинах роду *Aster*. У різних видах роду ідентифіковано флаволи, флавоноли, їхні глікозиди та інші [17, 19]. Ці сполуки відіграють ключову роль в антиоксидантному захисті рослин, зумовлюючи їхню здатність виживати в умовах підвищеного УФ-випромінювання, характерного для альпійської зони [17]. У надземних органах *Aster subulatus* (Michx.) Hort. ex Michx. виявлено широкий спектр фенольних сполук, серед яких аглікони апігеніну, лютеоліну, кемпферолу та кверцетину, а також їхні глікозидні похідні. Зокрема, ідентифіковано апігенін-7-О-β-D-глюкозид, апігенін-7-О-β-D-галактозид, лютеолін-7-О-β-D-глюкозид, кемпферол-3-О-β-D-глюкозид, кемпферол-3-О-β-D-галактозид, кемпферол-3-О-β-D-галактозид-О-α-L-рамнозид та кверцетин-3-О-β-D-глюкозид. Крім того, у рослинній сировині встановлено наявність хлорогенової кислоти.

Виявлення як вільних агліконів, так і глікозильованих форм флавоноїдів свідчить про різноманітність вторинного метаболізму у рослинах цього виду. Найбільше значення мають похідні кемпферолу, кверцетину, апігеніну та лютеоліну (рис. 1), які відомі своїми антиоксидантними, протизапальними та захисними властивостями. Наявність хлорогенової кислоти також вказує на високий потенціал рослини щодо нейтралізації вільних радикалів та участі у захисних механізмах рослинного організму [3].

Основні групи біологічно активних речовин видів роду *Aster* L. та їх фармакологічна дія

Група БАР	Речовини	Фармакологічна дія
Флавоноїди [3, 4, 20]	апігенін-7-О-β-D-глюкозид, апігенін-7-О-β-D-галактозид, лютеолін-7-О-β-D-глюкозид, кемпферол-3-О-β-D-глюкозид, кемпферол-3-О-β-D-галактозид, кемпферол-3-О-β-D-галактозид-О-α-L-рамнозид, кверцетин-3-О-β-D-глюкозид, кверцетин, кемпферол, лютеолін, апігенін, гесперидин	антиоксидантна, протизапальна, антипроліферативна, антимікробна
Фенольні кислоти [7, 20]	хлорогенова, кавова, галова, ванілінова, гентизинова, ферулова кислоти	антиоксидантна, гепатопротекторна, антивірусна, антигіпертензивна
Терпеноїди [7]	шіонон	відхаркувальна
Ефірні олії [2, 13, 14, 17, 20]	α-пінен, β-пінен, лімонен, каріофілен, гермакрен D	антимікробна, протигрибкова, антиоксидантна
Сапоніни [7, 9, 13–17, 19, 20]	астерсапоніни А–D, астерлінгулатозиди, астербатанозиди	відхаркувальна, нейротрофічна, гіполіпідемічна, адаптогенна
Кумарини [5, 6]	кумарин, скополетин та умбелітон	спазмолітична, антикоагулянтна, протизапальна
Поліпептиди [20]	астини	протиухлинна

Рис. 1. Структурні формули флавоноїдів роду *Aster*: кемпферолу (а), кверцетину (б), апігеніну (в) та лютеоліну (г).

В *Aster tataricus* L. f. виявлено понад 80 флавоноїдних метаболітів, включаючи 31 флавонол, 29 флавонів, 6 ізофлавонів, 5 дигідрофлавоноїдів, 5 антоціанів, 2 С-глікозидні флавоноїди, один дигідрофлавонол і один флаванол. Серед них найбільше значення мають кверцетин, кемпферол, лутеолін, апігенін та гесперидин. Вміст кверцетину в коренях і кореневищах значно перевищує його концентрацію у квітках. Окрім відомих флавоноїдів, із метанольного екстракту рослини було виділено новий біфлавоноїд, що свідчить про високий потенціал виду як джерела нових природних сполук [20].

Флавоноїди *A. tataricus* відіграють важливу роль у формуванні антиоксидантних властивостей рослини, забезпечують захист клітин від окиснювального стресу, беруть участь у пригніченні запальних процесів та можуть проявляти цитотоксичну активність щодо пухлинних клітин [10, 20].

Флавоноїди виявляють широкий спектр фармакологічної активності: нейтралізують активні форми кисню та беруть участь у хелатуванні іонів металів змінної валентності; протизапальну – через інгібування циклооксигенази (ЦОГ-1 та ЦОГ-2) і синтезу простагландинів; антимікробну – проти грампозитивних та грамнегативних бактерій; антипроліферативну – щодо пухлинних клітинних ліній (MCF-7, HeLa, HepG2). Кверцетин, кемпферол та апігенін є ефективними інгібіторами топоізомерази II і кіназних сигнальних шляхів, пов'язаних із канцерогенезом [20].

Однією з найбільш унікальних груп сполук *A. tataricus* є циклічні поліпептиди. На сьогодні з рослин виду виділено 28 пептидів, серед яких циклічні галогеновані пентапептиди, циклічні тетрапептиди, лінійні пептиди та діамідна сполука.

Найбільш дослідженими є астини, які накопичуються переважно у коренях. Встановлено, що їхня біологічна активність безпосередньо пов'язана з циклічною структурою молекули. Циклічні форми демонструють виражену протипухлинну активність. Особливістю астинів є наявність незвичайних амінокислотних залишків, зокрема дихлорпроліну та ізотреоніну. Водночас саме ця група речовин може бути причетною до гепатотоксичності рослини через структурну подібність до токсичних циклічних пептидів інших природних джерел [20].

Фенольні кислоти є важливою групою фенольних сполук у рослинах роду *Aster*, представленою як гідроксибензойними (галова, гентизинова, ванілінова), так і гідроксикоричними кислотами (хлорогенова, кавава, ферулова та ін.) [18]. Хлорогенова кислота (5-кавоїлхінна кислота) є одним із провідних компонентів фенольного комплексу. Вона характеризується вираженою антиоксидантною, гепатопротекторною, антидіабетичною та антигіпертензивною активністю. Ферментативно окислені форми хлорогенової кислоти виявляють антивірусну активність щодо вірусів герпесу. Кавава кислота відома протиоксидативними, антимікробними та протипухлинними властивостями, а також здатністю пригнічувати агрегацію тромбоцитів [10, 18].

Терпеноїди є одними з основних БАР роду *Aster* у представників роду *Aster* виявлено монотерпеноїди, сесквітерпеноїди, дитерпеноїди та тритерпеноїди, серед яких найбільше значення мають тритерпенові сапоніни. Особливо добре терпеноїдний склад вивчений для *A. tataricus*, у якому ідентифіковано понад 70 терпенових сполук, що становлять основну частину біологічно активних компонентів рослини [15, 16].

Основними представниками терпеноїдів *A. tataricus* є тритерпени шіонанового типу, серед яких найбільш досліджено шіонон. Ця сполука вважається характерним маркером виду та проявляє відхаркувальну і протикашльову активність, що пояснює багатовікове використання кореневищ і коренів *A. tataricus* при захворюваннях дихальної системи [4, 20].

У роді *Aster* сапоніни є однією з найважливіших груп БАР, що визначають їхній фармакологічний потенціал. Встановлено, що відмінності між окремими сапонінами зумовлені переважно будовою та складом вуглеводних ланцюгів, тоді як агліконова частина молекул залишається відносно консервативною. До видів, у яких було виявлено та охарактеризовано сапоніни, належать *Aster ageratoides* Turcz., *Aster auriculatus* Franch., *Aster batangensis* Bureau & Franch., *Aster bellidiastrum* (L.) Scop., *Aster lingulatus* Franch., *A. tataricus* та *Aster yunnanensis* Franch [9].

Незважаючи на значне генетичне та морфологічне різноманіття представників, для більшості видів характерна наявність тритерпенових сапонінів олеананового типу. У коренях

A. tataricus були ідентифіковані астерсапоніни А–D та інші похідні олеанової кислоти. Дані сполуки характеризуються складною глікозидною будовою та можуть брати участь у формуванні протизапальної, антиоксидантної та імуномодулюючої активності рослини [19].

Для виду *A. lingulatus* описано цитотоксичні тритерпенові сапоніни астерлінгулатозиди, які виявляють активність щодо клітин лейкемії людини лінії HL-60. Встановлено, що цитотоксичний ефект значною мірою залежить від будови вуглеводної частини молекули: включення залишку ксилози підсилює цитотоксичну активність, тоді як наявність рамнози призводить до її зниження.

Особливим класом природних тритерпеноїдних сапонінів, які виділяються переважно з коренів альпійської рослини *A. batangensis* є астербатанозиди (рис. 2). *A. batangensis* здавна використовується в народній медицині, зокрема для лікування укусів змій [17].

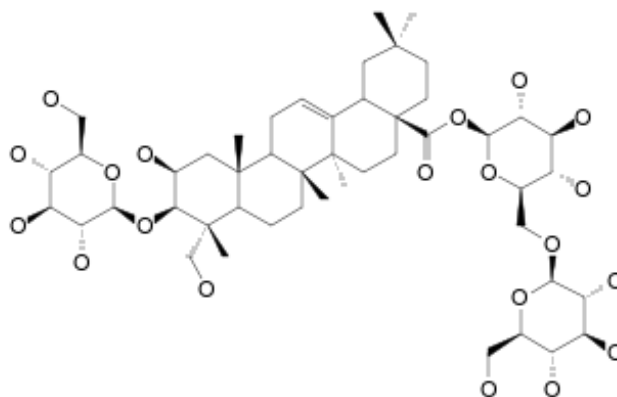


Рис. 2. Структурна формула астербатанозиду-D.

Також у надземній частині *A. bellidiastrum* виявлено тритерпеноїдні сапоніни [13].

Загалом досліджено, що сапоніни представників роду *Aster* характеризуються значною структурною подібністю агліконів та різноманітністю вуглеводних залишків. Для них характерні цитотоксичні, антипроліферативні та протигрибкові властивості, що робить їх перспективними об'єктами для подальших досліджень. Окрім цього, у традиційній медицині відвари рослин, що містять сапоніни, застосовуються при захворюваннях дихальних шляхів, серцево-судинної системи та як адаптогени [9, 14, 19].

Ефірні олії являють собою суміш легких ароматичних сполук, до складу яких входять переважно монотерпени, сесквітерпени та їх кисневмісні похідні. Найбільш поширеними компонентами ефірних олій представників роду *Aster* є α -пінен, β -пінен, лімонен, каріофілен, гермакрен D та інші терпеноїдні сполуки. Ефірні олії локалізуються переважно у квітках, листках і надземній частині рослин та забезпечують характерний аромат представників роду *Aster*. Завдяки високому вмісту біологічно активних компонентів вони захищають рослини від мікроорганізмів, комах і несприятливих факторів навколишнього середовища [2].

Фармакологічні дослідження свідчать, що ефірним оліям рослин роду *Aster* властиві антимікробна, протизапальна, антиоксидантна та спазмолітична активність. Окремі компоненти ефірних олій здатні пригнічувати ріст патогенних бактерій і грибів, зменшувати інтенсивність запальних процесів і захищати клітини від оксидативного стресу [4, 20].

Кумарини є похідними бензо- α -пірону та належать до групи фенольних вторинних метаболітів і виявлені серед біологічно активних компонентів рослин роду *Aster*, зокрема *A. tataricus*. Серед ідентифікованих сполук описані кумарин, скополетин та умбелітон, які локалізуються переважно у коренях і кореневищах рослини [5, 6].

Фармакологічне значення кумаринів пов'язане насамперед з їхньою протизапальною, антиоксидантною та антимікробною активністю. Встановлено, що вони здатні зменшувати інтенсивність запальних реакцій, пригнічувати утворення вільних радикалів та проявляти помірну антибактеріальну дію. Крім того, окремі кумарини характеризуються спазмолітичними

та ангіопротекторними властивостями, сприяючи покращенню мікроциркуляції та функціонального стану судинної стінки [5].

На території України зростають два дикорослі представники роду *Aster* – айстра волове око (*Aster amellus* L.), поширена у степовій та лісостеповій зонах, і айстра альпійська (*Aster alpinus* L.). Крім природних видів, численні сорти айстр широко культивують як декоративні садові рослини [11].

Значний інтерес щодо синтезу БАР має айстра альпійська, яка поширена виключно в Карпатах, де відомо близько 10 локалітетів у межах двох адміністративних областей. Через нечисленні та ізольовані популяції вид занесений до Червоної книги України (2009) зі статусом «рідкісний» і відповідає категорії NT (Near Threatened) за класифікацією МСОП [1]. У 2021 році у «Переліку видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ)», затверджену наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, категорію виду *A. alpinus* змінено з «рідкісний» на «вразливий». Загальна чисельність особин виду залишається малою, а слабе насіннєве поновлення не забезпечує ефективного природного відновлення популяцій у разі порушення місцезростань.

Природоохоронний статус, критично мала чисельність природних популяцій, відсутність насінного поновлення та цінний маловивчений склад БАР є вагомим обґрунтуванням для дослідження *A. alpinus* і пошуку підходів для збереження виду та отримання його цінної рослинної сировини.

Висновки

Проведений аналіз літературних джерел показав, що представники роду *Aster* є продуцентами широкого спектра біологічно активних сполук, серед яких тритерпенові сапоніни, флавоноїди, фенольні кислоти, поліпептиди, стероли, ефірні олії та інші вторинні метаболіти. Наявність зазначених компонентів зумовлює виражені фармакологічні властивості рослин цього роду, зокрема антиоксидантну, протизапальну, антимікробну, цитотоксичну, імуномодулюючу та гепатопротекторну активність. Водночас *A. alpinus* – карпатський представник роду – належить до найменш вивчених у фітохімічному аспекті видів. Це, у поєднанні з потенційною здатністю виду до синтезу в умовах високогір'я широкого спектра вторинних метаболітів, обумовлює доцільність подальших фундаментальних і прикладних досліджень, спрямованих на з'ясування його фітохімічного профілю та фармакологічного потенціалу.

1. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Глобалколсантинг, 2009. 900 с.
2. Chu S., Liu L., Liu Z., Jiang H., Liu L. Chemical composition and insecticidal activities of the essential oil of *Aster ageratoides* flowering aerial parts. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2013. Vol. 78, no. 2. P. 209–216. <https://doi.org/10.2298/jsc120130043c>.
3. El-Sayed N. H., Lenherr A., Sunberg S., Mabry T. J. Flavonoids of *Aster subulatus*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 1987. Vol. 15, No. 5. P. 549–550. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(87\)90104-9](https://doi.org/10.1016/0305-1978(87)90104-9).
4. Fan X.-L., Qin Z.-P., Wen J.-H., Wang Z.-Z., Xiao W. An updated and comprehensive review of the morphology, ethnomedicinal uses, phytochemistry, and pharmacological activity of *Aster tataricus* L. f. 2024. Vol. 10, No 15. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35267>.
5. Flores-Morales V., Villasana-Ruíz A. P., Garza-Veloz I., González-Delgado S., Martínez-Fierro M. L. Therapeutic Effects of Coumarins with Different Substitution Patterns. *Molecules*. 2023. Vol. 28, No 5. <https://doi.org/10.3390/molecules28052413>.
6. Gao X.-Y., Li X.-Y., Zhang C.-Y., Bai C.-Y. Scopoletin: a review of its pharmacology, pharmacokinetics, and toxicity. *Frontiers in Pharmacology*. 2024. Vol. 15. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1268464>.
7. Kim W. S., Seo J. H., Lee J.-I., Ko E.-S., Cho S.-M., Kang J.-R., Jeong J.-H., Jeong Y. J., Kim C. Y., Cha J.-D., Ryu Y.-B. The Metabolite Profile in Culture Supernatant of *Aster yomena* Callus and Its Anti-Photoaging Effect in Skin Cells Exposed to UVB. *Plants*. 2021. Vol. 10, no. 4. P. 659. <https://doi.org/10.3390/plants10040659>.
8. Kumar A., Ahmad F., Zaidi S. Importance of Bioactive Compounds Present in Plant Products and Their Extraction – A Review. *Agricultural Reviews*. 2019. Vol. 40, No. 4. P. 249–260. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1926>.
9. Lanzotti V. Bioactive Saponins from *Allium* and *Aster* Plants. *Phytochemistry Reviews*. 2005. Vol. 4, no. 2-3. P. 95–110. <https://doi.org/10.1007/s11101-005-1254-1>.

10. Li L., He L., Su X., Amu H., Li J., Zhang Z. Chemotaxonomy of Aster species from the Qinghai-Tibetan Plateau based on metabolomics. *Phytochemical Analysis*. 2022. Vol. 33, No 1. P. 23–39. <https://doi.org/10.1002/pca.3058>.
11. Meier T. *Aster alpinus* L. an den Kleinen Rabenklippen oberhalb der Rappbodetalsperre nördlich von Trautenstein (Landkreis Harz). *Mitteilungen zur floristischen Kartierung in Sachsen-Anhalt*. Vol. 28. P.49–54. <https://doi.org/10.21248/mfk.436>.
12. Morris L. J., Marshall M. O., Hammond E. W. Therans-3-enoic acids of *Aster alpinus* and *Arctium minus* seed oils. *Lipids*. 1968. Vol. 3, no. 1. P. 91–95. <https://doi.org/10.1007/bf02530976>.
13. Schöpke T., Al-Tawaha C., Wray V., Nimtz M., Meyer A., Hiller K. Triterpenoid saponins from the aerial parts of *Aster bellidiastrum*. *Phytochemistry*. 1995. Vol. 40, No. 5. P. 1489–1492. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00432-7](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00432-7).
14. Shao Y., Ho C.-T., Chin C.-K., Rosen R. T., Hu B., Qin G.-W. Triterpenoid saponins from *Aster lingulatus*. *Phytochemistry*. 1997. Vol. 44, no. 2. P. 337–340. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(96\)00551-1](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(96)00551-1).
15. Shao Y., Zhou B., Ma K., Wu H., Lin L., Cordell G. A. Medicagenic acid saponins from *Aster batangensis*. *Phytochemistry*. 1995. Vol. 39, No 4. P. 875–881. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00016-z](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00016-z).
16. Shao Y., Zhou B.-N., Lin L.-Z., Cordell G. A. Triterpenoid saponins from *Aster batangensis*. *Phytochemistry*. 1995. Vol. 38, No 4. P. 927–933. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00744-E](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00744-E).
17. Shao Y., Zhou B.-N., Ma K., Wu H.-M. New Triterpenoid Saponins, Asterbatanoside D and E, from *Aster batangensis*. *Planta Medica*. 1995. Vol. 61, no. 03. P. 246–249. <https://doi.org/10.1055/s-2006-958065>.
18. Sim H.-S., Kwon H. J., Jang S.-N., Lee G. O., Kang I.-J., Yang G.-S., Nam G.-H., Park J. E., Byun H. Y., You Y.-H., Son K.-H. Aster × chusanensis Growth and Phenolic Acid Composition under Different Cultivation Temperature. *Plants*. 2024. Vol. 13, No. 13. <https://doi.org/10.3390/plants13131855>.
19. Su X.-D., Jang H.-J., Wang C.-Y., Lee S. W., Rho M.-C., Kim Y. H., Yang S. Y. Anti-inflammatory Potential of Saponins from *Aster tataricus* via NF-κB/MAPK Activation. *Journal of Natural Products*. 2019. Vol. 82, no 5. P. 1139–1148. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.8b00856>.
20. Zhang X., Liu M., Zhang X., Ma L., Song S., Pan M., Huang S., Ren W., Ma W. *Aster tataricus* L. f.: a review on the botany, phytochemistry, ethnopharmacology, pharmacology, toxicology and comprehensive utilization. *Frontiers in Pharmacology*. 2025. Vol. 16. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1581505>.

References

1. Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit / za red. Ya. P. Didukha. Kyiv : Hlobalkonsaltnyh, 2009. 900 s. [in Ukrainian]
2. Chu S., Liu L., Liu Z., Jiang H., Liu L. Chemical composition and insecticidal activities of the essential oil of *Aster ageratoides* flowering aerial parts. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2013. Vol. 78, no. 2. P. 209–216. <https://doi.org/10.2298/jsc120130043c>.
3. El-Sayed N. H., Lenherr A., Sunberg S., Mabry T. J. Flavonoids of *Aster subulatus*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 1987. Vol. 15, No. 5. P. 549–550. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(87\)90104-9](https://doi.org/10.1016/0305-1978(87)90104-9).
4. Fan X.-L., Qin Z.-P., Wen J.-H., Wang Z.-Z., Xiao W. An updated and comprehensive review of the morphology, ethnomedicinal uses, phytochemistry, and pharmacological activity of *Aster tataricus* L. f. 2024. Vol. 10, No 15. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35267>.
5. Flores-Morales V., Villasana-Ruiz A. P., Garza-Veloz I., González-Delgado S., Martínez-Fierro M. L. Therapeutic Effects of Coumarins with Different Substitution Patterns. *Molecules*. 2023. Vol. 28, No 5. <https://doi.org/10.3390/molecules28052413>.
6. Gao X.-Y., Li X.-Y., Zhang C.-Y., Bai C.-Y. Scopoletin: a review of its pharmacology, pharmacokinetics, and toxicity. *Frontiers in Pharmacology*. 2024. Vol. 15. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1268464>.
7. Kim W. S., Seo J. H., Lee J.-I., Ko E.-S., Cho S.-M., Kang J.-R., Jeong J.-H., Jeong Y. J., Kim C. Y., Cha J.-D., Ryu Y.-B. The Metabolite Profile in Culture Supernatant of *Aster yomena* Callus and Its Anti-Photoaging Effect in Skin Cells Exposed to UVB. *Plants*. 2021. Vol. 10, no. 4. P. 659. <https://doi.org/10.3390/plants10040659>.
8. Kumar A., Ahmad F., Zaidi S. Importance of Bioactive Compounds Present in Plant Products and Their Extraction – A Review. *Agricultural Reviews*. 2019. Vol. 40, No. 4. P. 249–260. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1926>.
9. Lanzotti V. Bioactive Saponins from *Allium* and *Aster* Plants. *Phytochemistry Reviews*. 2005. Vol. 4, no. 2-3. P. 95–110. <https://doi.org/10.1007/s11101-005-1254-1>.
10. Li L., He L., Su X., Amu H., Li J., Zhang Z. Chemotaxonomy of Aster species from the Qinghai-Tibetan Plateau based on metabolomics. *Phytochemical Analysis*. 2022. Vol. 33, No 1. P. 23–39. <https://doi.org/10.1002/pca.3058>.

11. Meier T. *Aster alpinus* L. an den Kleinen Rabenklippen oberhalb der Rappbodetalsperre nördlich von Trautenstein (Landkreis Harz). *Mitteilungen zur floristischen Kartierung in Sachsen-Anhalt*. Vol. 28. P.49–54. <https://doi.org/10.21248/mfk.436>.
12. Morris L. J., Marshall M. O., Hammond E. W. Therans-3-enoic acids of *Aster alpinus* and *Arctium minus* seed oils. *Lipids*. 1968. Vol. 3, no. 1. P. 91–95. <https://doi.org/10.1007/bf02530976>.
13. Schöpke T., Al-Tawaha C., Wray V., Nimtz M., Meyer A., Hiller K. Triterpenoid saponins from the aerial parts of *Aster bellidiastrum*. *Phytochemistry*. 1995. Vol. 40, No. 5. P. 1489–1492. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00432-7](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00432-7).
14. Shao Y., Ho C.-T., Chin C.-K., Rosen R. T., Hu B., Qin G.-W. Triterpenoid saponins from *Aster lingulatus*. *Phytochemistry*. 1997. Vol. 44, no. 2. P. 337–340. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(96\)00551-1](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(96)00551-1).
15. Shao Y., Zhou B., Ma K., Wu H., Lin L., Cordell G. A. Medicagenic acid saponins from *Aster batangensis*. *Phytochemistry*. 1995. Vol. 39, No 4. P. 875–881. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00016-z](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00016-z).
16. Shao Y., Zhou B.-N., Lin L.-Z., Cordell G. A. Triterpenoid saponins from *Aster batangensis*. *Phytochemistry*. 1995. Vol. 38, No 4. P. 927–933. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00744-E](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00744-E).
17. Shao Y., Zhou B.-N., Ma K., Wu H.-M. New Triterpenoid Saponins, Asterbatanoside D and E, from *Aster batangensis*. *Planta Medica*. 1995. Vol. 61, no. 03. P. 246–249. <https://doi.org/10.1055/s-2006-958065>.
18. Sim H.-S., Kwon H. J., Jang S.-N., Lee G. O., Kang I.-J., Yang G.-S., Nam G.-H., Park J. E., Byun H. Y., You Y.-H., Son K.-H. *Aster × chusanensis* Growth and Phenolic Acid Composition under Different Cultivation Temperature. *Plants*. 2024. Vol. 13, No. 13. <https://doi.org/10.3390/plants13131855>.
19. Su X.-D., Jang H.-J., Wang C.-Y., Lee S. W., Rho M.-C., Kim Y. H., Yang S. Y. Anti-inflammatory Potential of Saponins from *Aster tataricus* via NF- κ B/MAPK Activation. *Journal of Natural Products*. 2019. Vol. 82, no 5. P. 1139–1148. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.8b00856>.
20. Zhang X., Liu M., Zhang X., Ma L., Song S., Pan M., Huang S., Ren W., Ma W. *Aster tataricus* L. f.: a review on the botany, phytochemistry, ethnopharmacology, pharmacology, toxicology and comprehensive utilization. *Frontiers in Pharmacology*. 2025. Vol. 16. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1581505>.

S. R. Buryń, O. V. Soroka, M. Z. Prokopiak, N. M. Drobyk

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS OF *ASTER* L. SPECIES

This article is devoted to the analysis of biologically active compounds (BACs) of *Aster* L. plants and their pharmacological significance. It has been established that plants of the genus *Aster* contain flavonoids, phenolic acids, terpenoids, saponins, essential oils, coumarins, sterols, and other compounds. These substances exhibit antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, cytotoxic, immunomodulatory, and hepatoprotective activity. Species of this genus have long been used in traditional medicine for the treatment of inflammatory diseases, respiratory disorders, and other pathologies, owing to their rich content of secondary metabolites.

One of the principal groups of BACs in plants of the genus *Aster* is flavonoids, among which quercetin, kaempferol, apigenin, and luteolin are most frequently detected. They provide antioxidant protection to plants and exhibit pronounced anti-inflammatory and antitumor properties. Phenolic acids, in particular chlorogenic, caffeic, and ferulic acids, also play an important role, being characterized by antioxidant, antiviral, and hepatoprotective effects. Among the terpenoids, triterpene saponins are of the greatest significance, exhibiting expectorant, anti-inflammatory, immunomodulatory, and cytotoxic properties. A separate group is formed by cyclic peptides (astins), which display antitumor activity. Essential oils and coumarins, which possess antimicrobial, antioxidant, spasmolytic, and anti-inflammatory effects, are also of considerable interest.

In *Aster subulatus* (Michx.) Hort. ex Michx, a significant amount of flavonoids and phenolic acids has been detected, in particular derivatives of apigenin, luteolin, kaempferol, and quercetin, which determine the plant's high antioxidant potential. The species *Aster tataricus* L.f. is one of the best-studied representatives of the genus: more than 80 flavonoid and more than 70 terpene compounds have been identified in it, along with cyclic peptides and saponins that exhibit expectorant, anti-inflammatory, and antitumor activity. In *Aster lingulatus* Franch., specific triterpene saponins – asterlingulosides – have been detected, which demonstrate cytotoxic activity against human leukemia cells. *Aster batangensis* Bureau & Franch is characterized by the presence of unique asterbatanosides, which are isolated predominantly from the plant's roots; this species is traditionally used in folk medicine for the treatment of snake bites. Triterpene saponins have also been detected in

the aerial part of *Aster bellidiastrum* (L.) Scop., indicating the promising potential of this species as a source of BACs.

Special emphasis is placed on the necessity of further studying *Aster alpinus* L. – a rare Carpathian species that remains insufficiently investigated from a phytochemical standpoint and requires conservation.

Keywords: species of the genus Aster L., biologically active compounds, flavonoids, saponins, essential oils, phenolic acids, terpenoids, coumarins, sterols.

Надійшла до редакції: 19.02.2026

Прийнята до друку: 10.03.2026

Опублікована: 30.03.2026



**TERNOPIL VOLODYMYR HNATIUK
NATIONAL PEDAGOGICAL UNIVERSITY**

Підписано до друку 26.03.2026. Формат 60 x 84/18. Папір друкарський.
Умовних друківаних аркушів – 8,14. Обліково-видавничих аркушів – 5,5. Замовлення № 29
Наклад 300 прим.
Віддруковано у видавничому центрі «Вектор»
46018, м. Тернопіль, вул. Львівська, 12. Тел.: (0352) 40-18-12

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ТР № 46 від 07 березня 2013р.
ФО Осадца Ю.В.

Signed for printing 26.03.2026. Format 60 x 84/18. Printing paper.
Number of conventional printing sheets – 8.14. Number of accounted and published pages – 5.5. Order № 29.
Edition 300 copies. Published in the publishing centre “Vector”
46018, Ternopil, st. Lvivska, 12. Phone: (0352) 40-18-12

Certificate of enlisting the subject of publishing in the State Register of publishers,
manufactures and distributors of publishing products
Series TP № 46 from 07 March 2013
Name and surname Osadtsa Yu. V.