

ISSN Online 2786-8478
ISSN Print 2786-846X

Міністерство освіти і науки України

Ніжинський
державний університет
імені Миколи Гоголя

**Наукові
записки.
Біологічні
науки**

(Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя)

№ 2



Ніжин – 2025

НАУКОВІ ЗАПИСКИ. БІОЛОГІЧНІ НАУКИ
(Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор: Шейко Віталій Ілліч, доктор біологічних наук, професор кафедри біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя.

Заступник головного редактора: Кучменко Олена Борисівна, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя.

Відповідальний секретар: Гавій Валентина Миколаївна, кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя.

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

Процькув Я., доктор габілітований, професор, департамент біології рослин, Інститут біології оточуючого середовища, факультет біології та наук про тварин, Університет природничих наук (м. Вроцлав, Польща).

Вержольська С., доктор філософії, департамент біології рослин, Інститут біології оточуючого середовища, факультет біології та наук про тварин, Університет природничих наук (м. Вроцлав, Польща).

Тулкан К., доктор габілітований, професор, факультет інженерії та прикладних технологій, Університет наук про життя «Король Михайло I» (м. Тімішоара, Румунія).

Гюрбюз М. Ф., доктор філософії, доцент, департамент біології, факультет науки та мистецтв, Університет Сулеймана Деміреля (м. Іспарта, Туреччина).

Давіташвілі Магда, доктор біологічних наук, професор, факультет аграрних, природничих наук і технологій, програмний координатор відділу забезпечення якості, Телавський державний університет (м. Телаві, Грузія).

Дерека Т. Г., доктор педагогічних наук, професор Тренчанського університету імені Олександра Дубчека (м. Тренчин, Словачька республіка).

Весельський С. П., доктор біологічних наук, старший науковий співробітник Інститут високих технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (м. Київ, Україна).

Кур'ята В. Г., доктор біологічних наук, професор кафедри біології Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (м. Вінниця, Україна).

Омельчук О. В., кандидат педагогічних наук, доцент кафедри здоров'язбережувальної освіти та фізичної рекреації Українського державного університету імені Михайла Драгоманова (м. Київ, Україна).

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 582 від 24.04.2024 (додаток 2) науковий журнал «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) внесений до переліку **наукових фахових видань України (категорії «Б»)** у галузі біологічних наук (091 «Біологія та біохімія»).

Наукове видання з біологічних наук, засноване у 2023 році Ніжинським державним університетом імені Миколи Гоголя. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 25398-15338 Р від 20.01.2023 р.

Періодичність: 4 рази на рік.

Зареєстрований Національною радою України з питань телебачення та радіомовлення (рішення № 1180, протокол № 13 від 11.04.2024 р., ідентифікатор медіа R30-03790).

Національною бібліотекою України імені В.І. Вернадського прийнято на репозитарне зберігання номери наукового журналу «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя), які представлені на порталі в інформаційному ресурсі «Наукова періодика України».

Рекомендовано Вченою радою Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Протокол № 12 від 30.06.2025 р.

НЗ4 Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) / за заг. ред. В. І. Шейко. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2025. – № 2. – 91 с.

Адреса видавництва: вул. Воздвиженська, 3^А, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600.
Тел.: (04631) 7–19–72
E-mail: vidavn_ndu@ukr.net, www.ndu.edu.ua

Адреса сайту журналу у друкованій версії: <http://lkr.ndu.edu.ua/index.php/bn>

Верстка та макетування – **О. В. Борщ**
Дизайн обкладинки – **В. М. Косяк**

Підписано до друку 05.09.2025 р.
Гарнітура Arial
Замовлення №

Формат 60x84/8
Обл.-вид. арк. 7,63
Ум. друк. арк. 11,16

Папір офсетний
Тираж 100 пр.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2137 від 29.03.05 р.

НДУ імені Миколи Гоголя, м. Ніжин, вул. Воздвиженська, 3^А

© В. І. Шейко, головний редактор, 2025
© НДУ ім. М. Гоголя, 2025

ISSN Online 2786-8478
ISSN Print 2786-846X

Ministry of Education and Science of Ukraine

Nizhyn Mykola Gogol
State University

Research Notes. biology research

(Nizhyn Mykola Gogol
State University)

ISSUE 2



Nizhyn – 2025

Research Notes. Biology Research (Nizhyn Mykola Gogol State University)

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief: Sheiko Vitaliy, Doctor of Biological Science, Professor, Professor at the Department of Biology of Nizhyn Mykola Gogol State University.

Deputy Editor-in-Chief: Kuchmenko Olena, Doctor of Biological Science, Professor, Head of the Department of Biology of Nizhyn Mykola Gogol State University.

Executive Secretary: Havii Valentyna, Candidate of Biological Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Biology of Nizhyn Mykola Gogol State University.

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Proćków Jarosław, Dr hab., prof. UPWr., Department of Plant Biology, Institute of Environmental Biology, Faculty of Biology and Animal Science, Wrocław University of Environmental and Life Sciences (Wrocław, Poland).

Wiercholska Sylwia, Dr, Department of Plant Biology, Institute of Environmental Biology, Faculty of Biology and Animal Science, Wrocław University of Environmental and Life Sciences (Wrocław, Poland).

Tulcan Camelia, Dr. hab., Professor, Faculty of Engineering and Applied Technologies, University of Life Sciences "King Michael I" from Timisoara (Timisoara, Romania).

Gürbüz Mehmet Faruk, PhD, Assistant Professor, Süleyman Demirel University, Arts and Science Faculty, Biology Department, Isparta (Isparta, Turkey).

Davitashvili Magda, Doctor of Biological Sciences, Professor at the faculty of Agrarian, Natural Sciences and Technologies, Program Coordinator of Quality Assurance Office, Iakob Gogebashvili Telavi State University (Telavi, Georgia).

Dereka Tetiana, Doctor of Pedagogical Science, Professor at the Faculty of Healthcare, Alexander Dubcek University of Trencin (Trencin, Slovak Republic).

Veselskiy Stanislav, Doctor of Biological Science, Senior Research Fellow at the Educational and Scientific Institute of High Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv, (Kyiv, Ukraine).

Kuryata Volodymyr, Doctor of Biological Science, Professor, Professor at the Department of Biology of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University (Vinnytsia, Ukraine).

Omelchuk Olena, Candidate of Pedagogical Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of health education and physical recreation of Dragomanov Ukrainian State University (Kyiv, Ukraine).

Journal "Research Notes. Biology Research (Nizhyn Mykola Gogol State University)" is included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine (category "B") in biology. Subject area: 091 Biology and Biochemistry pursuant to the Order of the MES of Ukraine dated 24.04.2024 № 582 (annex 2).

Scientific publication in biological sciences, founded in 2023 by Nizhyn Mykola Gogol State University. Certificate of registration – KV No. 25398-15338 R dated January 20, 2023.

Frequency: 4 times a year.

Registration of Print media entity: Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine: Decision No. 1180, protocol No.13 as of 11.04.2024, media identifier R30-03790.

The National Library of Ukraine named after V.I. Vernadsky accepted for repository issues of the scientific publication "Research Notes. Biological Sciences" (Nizhyn Mykola Gogol State University), which are presented on the portal in the information resource "Scientific Periodicals of Ukraine".

The Collection is approved by Scientific Board of Nizhyn Mykola Gogol State University
Record № 12 of June 30, 2025.

N34 Research Notes. Biology Research (Nizhyn Mykola Gogol State University) / ed. V. I. Sheiko. Nizhyn: Mykola Gogol NSU, 2025. № 2. 91 p.

Publisher's address: 3^A Vozdvyzhenska Str., Nizhyn, Chernihiv Oblast,
Ukraine, 16600
Tel.: (04631) 7–19–72
E-mail: vidavn_ndu@ukr.net, www.ndu.edu.ua

The website address of the magazine in the print version: <http://lcp.ndu.edu.ua/index.php/bn>

Page making: **O. V. Borshch**
Cover design: **V. M. Kosiak**

Signed to print 05.09.2025 p.
Typeface Arial
Order №

Format 60x84/8
publisher's signature 7,63
press sheet 11,16

offset paper
print run 100

Certificate of the Publishing Subject
DK 2137 Dated March 29, 2005

Mykola Gogol NSU, Nizhyn, 3^A Vozdvyzhenska Str.

© Vitaliy Sheiko, Editor-in-Chief, 2025
© Mykola Gogol NSU, 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАУКОВІ ЗАПИСКИ. БІОЛОГІЧНІ НАУКИ
(Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя)

Науковий журнал

Наукові записки. Біологічні науки, № 2, 2025 рік

ЗМІСТ

ЗООЛОГІЯ

- Левчик Н. Я.** Ювілейна конференція з нагоди 20-річчя міжнародного товариства *Euphorbia* у ботанічному саду Мейзе (Бельгія) – знакова міжнародна зустріч без кордонів науковців, любителів, однодумців 7
- Москалюк Б. І., Мелеш Є. А.** Сучасне поширення тирлича крапчастого (*Gentiana punctata* L.) в українських Карпатах..... 14
- Сокол О. В., Вакуленко Т. Б., Джуренко Н. І., Паламарчук О. П.** Карпологічні дослідження насіння рослин роду *Scutellaria* L. 24

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

- Броннікова Л. І.** Вплив засолення на склад хлорофілів у рослин тютюну, отриманих клітинною селекцією з іонами важких металів..... 33

БІОХІМІЯ

- Мостов'як М. П.** Роль ключових ензимів окисно-відновного балансу за контрольованої та резистентної артеріальної гіпертензії 43
- Черевко О. О., Кучменко О. Б.** Зміни коагуляційної системи та біохімічних показників крові у пацієнтів з облітеруючим атеросклерозом та цукровим діабетом 2 типу..... 50

НОРМАЛЬНА І ПАТОЛОГІЧНА АНАТОМІЯ ТА ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ І ТВАРИН

- Вовканич Л. С., Федьків М. Р.** Вплив когнітивного та емоційного навантаження на варіабельність серцевого ритму: нейрофізіологічні механізми та сучасні підходи до аналізу..... 58
- Карнаушенко Д. П.** Вплив екологічних стресорів на гематологічний профіль людини 71
- Ланскої А. Ю., Вакал Ю. С.** Метод emdr у терапії посттравматичних стресових розладів: теоретичний огляд та перспективи застосування в Україні 79

CONTENTS

BOTANY

- Levchyk N.** Conference on the 20th anniversary of the international Euphorbia society Meise botanic garden (Belgium) hosts a notable international meeting without borders – for scientists, amateurs, and like-minded people. 7
- Moskaliuk B., Melesh Ye.** Current distribution of the *Gentiana punctata* L. in the Ukrainian Carpathians. 14
- Sokol O., Vakulenko T., Dzhurenko N., Palamarchuk O.** Carpological studies of seeds of plants of the genus *Scutellaria* L. 24

PLANT PHYSIOLOGY

- Bronnikova L.** The salinity influence on chlorophylls content in tobacco plants obtained through cell selection with heavy metal ions. 33

BIOCHEMISTRY

- Mostovyyak M.** Role of key redox balance enzymes in controlled and resistant arterial hypertension 43
- Cherevko O., Kuchmenko O.** Changes in the coagulation system and blood biochemical indicators in patients with obliterating atherosclerosis and type 2 diabetes. 50

NORMAL AND PATHOLOGICAL ANATOMY, PHYSIOLOGY OF HUMANS AND ANIMALS

- Vovkanych L., Fedkiv M.** The impact of cognitive and emotional load on heart rate variability: neurophysiological mechanisms and modern approaches to analysis. 58
- Karnaushenko D.** Influence of environmental stressors on the human hematological profile. 71
- Lanskoy A., Vakal Y.** The emdr method in the therapy of post-traumatic stress disorders: a theoretical review and prospects for application in Ukraine. 79

БОТАНІКА

УДК 061.3:[582.682.1:061.2]:[712.253:58:069.029](493)
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-7-13

Левчик Н. Я.

кандидат біологічних наук, науковий співробітник
Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України, м. Київ
levchuk.n@ukr.net
orcid.org/0000-0001-8668-8763

**ЮВІЛЕЙНА КОНФЕРЕНЦІЯ З НАГОДИ 20-РІЧЧЯ
МІЖНАРОДНОГО ТОВАРИСТВА EURHORBIA У БОТАНІЧНОМУ САДУ
МЕЙЗЕ (БЕЛЬГІЯ) – ЗНАКОВА МІЖНАРОДНА ЗУСТРІЧ
БЕЗ КОРДОНІВ НАУКОВЦІВ, ЛЮБИТЕЛІВ, ОДНОДУМЦІВ**

Стаття присвячена знаковій події – ювілейній конференції з нагоди 20-ї річниці створення Міжнародного товариства Euphorbia (I.E.S.), яка відбулася у ботанічному саду Мейзе (Бельгія). На конференції були присутні члени товариства країн Західної та Східної Європи, США, Канади, Японії. Україна також приймала активну участь у роботі конференції. Діяльність товариства присвячена дослідженню, поширенню знань про рослини родини Молочаїв (Euphorbiaceae Juss.), їх розмноженню та вирощуванню. Товариство на сьогодні налічує понад 150 членів з 24 країн світу на 6 континентах. Його було засновано ентузіастами з Великої Британії Дафною і Альбертом Прітчард у співпраці із Сюзан Картер Холмс, яка тепер займає почесну посаду президента та наукового керівника товариства. Журнал товариства під назвою «Euphorbia World» висвітлює новини, результати досліджень, експедицій, повідомляє про нові види молочаю та є достовірним джерелом наукової інформації, схваленим Королівськими ботанічними садами в К'ю (Велика Британія). Програма ювілейної конференції включала змістовні, пізнавальні, ілюстровані доповіді про видове різноманіття Euphorbiaceae країн Африки, островів в Індійському океані, про видове та формове різноманіття секції Monadenium у країнах Африки. Конференція продовжилась відвіданням колекції сукулентів ботанічного саду Мейзе – однієї з найкращих колекцій родини Euphorbiaceae у світі. Учасники мали можливість спілкуватися, ділитися набутим досвідом, а також придбати численні унікальні види Euphorbiaceae для поповнення своїх колекцій. Конференція пройшла в дуже теплій дружній атмосфері однодумців, професіоналів, аматорів. А товариство I.E.S. продовжує нести місію об'єднання всіх однодумців, закоханих у рослини, їх біологію, систематику, збереження, розмноження, поширення та побутове використання, а також сприяти обміну інформацією на зібраннях, конференціях та сторінках журналу «Euphorbia World». Ключові слова: Міжнародне товариство Euphorbia (I.E.S.), конференція, ботанічний сад Мейзе (Бельгія), сукуленти Euphorbiaceae.

Нещодавно 24-25 травня 2025 р. у ботанічному саду Мейзе (Бельгія) відбулась знакова подія – конференція, присвячена 20-ій річниці створення Міжнародного товариства Euphorbia. На конференції зібрались члени товариства не тільки країн

Західної та Східної Європи, але й США, Канади, Японії. Україна також приймала активну участь у цьому заході в особі члена цього товариства та представниці Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України к.б.н. Н.Я. Левчик.

Міжнародне товариство *Euphorbia* або International *Euphorbia* Society (I.E.S.) присвячене дослідженню, поширенню знань про рослини родини Молочаїв *Euphorbiaceae* Juss., їх розмноженню та вирощуванню. Товариство було та залишається відкритим для професійних ботаніків, аматорів-ентузіастів з усього світу, плідно контактує з представниками міжнародної торгівлі рослин, а також з садівниками-аматорами (рис. 1-A).

На сьогодні I.E.S. налічує понад 150 членів з 24 країн світу, розташованих на 6 континентах (рис. 1-B).



Рис. 1. А – емблема I.E.S.; В – карта світу із зображенням країн членів I.E.S [1]

Членство в товаристві означає, що кожний учасник є частиною міжнародної групи численних експертів, які із захопленням досліджують рослини родини *Euphorbiaceae*, раді поділитися своїми знаннями з іншими членами товариства не тільки на конференціях, але й на сторінках унікального журналу «*Euphorbia World*» (рис. 2) [1].

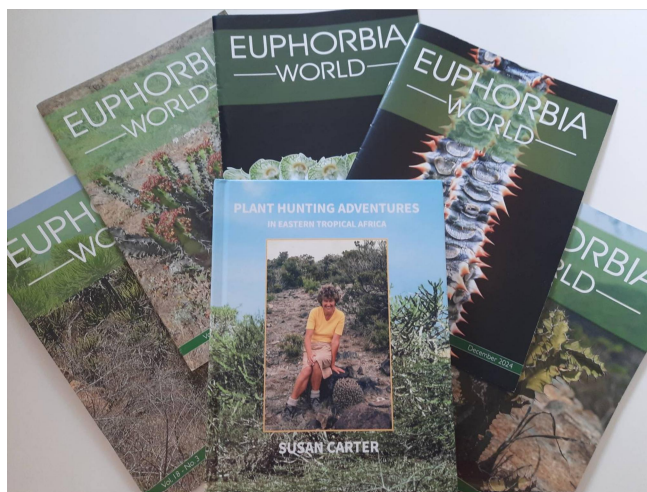


Рис. 2. Журнали «*Euphorbia World*» та монографія Сюзан Картер «Пригоди у пошуках рослин у східній тропічній Африці» (фото Н. Левчик)

Президентом та науковим керівником товариства є Сюзан Картер Холмс (Susan Carter Holmes) – британська ботанік і таксономіст позавідомчого державного органу, керує роботою Королівських ботанічних садів в К'ю (Велика Британія). Вона виявила та каталогізувала більш як 200 рослин родини *Euphorbiaceae*, зокрема сукуленти

родів *Euphorbia* та *Monadenium*, а також близько 20 видів алое [2]. Досвід та результати тривалих експедицій Сюзан Картер знайшли своє втілення у книзі дослідниці «Пригоди у пошуках рослин у східній тропічній Африці» «Plant hunting adventures in Eastern Tropical Africa», виданій у 2024 р. (рис. 2).

Сьогодні президент I.E.S. Сюзан Картер займає важливе місце в діяльності товариства та виданні журналу: переглядає подані статті, стежить за науковою коректністю та виправляє, де це необхідно, як технічні, так і лінгвістичні неточності. Крім того, вона збагачує вміст журналу «Euphorbia World» своїми неперевершеними статтями [3].

Історія товариства була розпочата в минулому столітті двома ентузіастами з Великої Британії Дафною та Альбертом Прітчард (Daphne and Albert Pritchard), які організували дослідницьку групу *Euphorbiaceae* та запросили Сюзан Картер бути головним консультантом. З 1988 р. вони самостійно готували та випускали регулярний бюлетень новин всього світу про ці рослини. У 2002 р. подружжя відійшло від цієї, на той час вже успішної, справи, але члени товариства з Європи вирішили продовжити їх справу та офіційно заснували Міжнародне товариство молочаїв (I.E.S.) із національними представниками Італії, Великої Британії, Франції, Австралії, Німеччини, Нідерландів, Бельгії, Австрії, Чехії, США та Австралії (рис.3) [4].

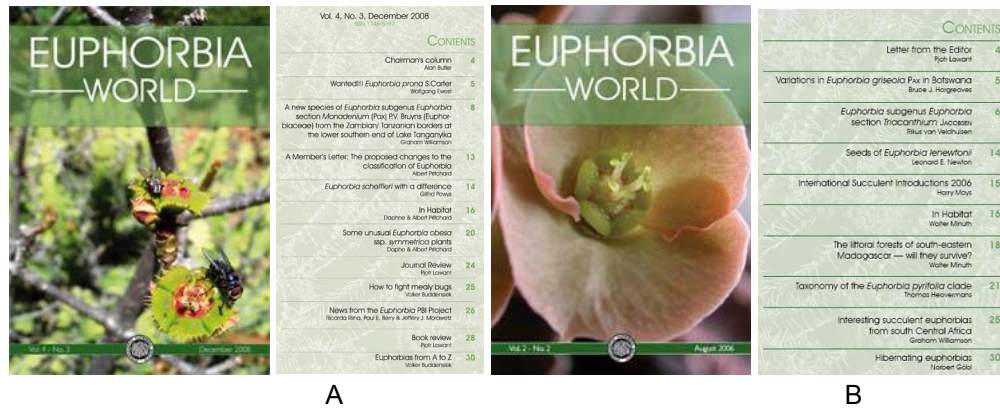


Рис. 3. А – перші установчі збори членів комітету I.E.S. у теплиці Рікуса ван Вельдхюзена 15 січня 2005 р. [3]; В – президент I.E.S. Сюзан Картер і голова Рікус ван Вельдхюзен обговорюють рослини колекції молочаїв ботанічного саду Мейзе на конвенції 2015 р. (фото: Detlef H. Schnabel) [4]

Перший номер журналу товариства під назвою «Euphorbia World» був опублікований у травні 2005 р. і з того часу традиційно кожного року публікується три його номери. Міжнародне видання журналу на той час швидко поширювалося, охопивши представників Індонезії, Малайзії, Сінгапуру, Брунею, Іспанії та Південної Африки [4].

Журнал повнокольоровий, повністю насичений ілюстрованими статтями про всі аспекти захоплюючої родини рослин *Euphorbiaceae*, що приваблює як початківців, так і фахівців. На 32 сторінках журналу зазвичай представлено вступний лист голови, нові книги та оглядові публікації, а також оригінальні фотографії та ілюстрації видів *Euphorbiaceae* природної та культурної флори, зроблені членами товариства в експедиціях та власних оранжереях.

З роками кількість сторінок журналу збільшувалась до 56, що відкривало більші можливості для розміщення масштабніших та інформативніших статей, а також ілюстрацій. Особливо багато надходило матеріалів від авторів з Європи. Знаковою подією стало опублікування у журналі у 2008 р. науковим співробітником гербарію Bolus Herbarium із Кейптаунського університету Південної Африки Грехамом Вілльямсоном (Graham Williamson) нового виду молочаю *E. maryrichardsiae* G.Will. (рис. 4-A) [4].



A

B

Рис. 4. Випуски журналу «Euphorbia World» із публікаціями Грехама Вілльямсона про нові види молочаю: А – *E. maryrichardsiae* G.Will. у номері 4(3) 2008 р.; В – *Euphorbia gammaranoi* G.Will. *Euphorbia World* у номері 2(3) 2006 р. [1]

Це стало важливим кроком та спонукало Королівський ботанічний сад у К'ю прийняти журнал як доповнення до своєї величезної ботанічної бібліотеки, як достовірне джерело наукової інформації. Крім того, Грехамом Вілльямсоном описаний цілий ряд видів *Euphorbia*, а повідомлення про *E. gammaranoi* G.Will. було опубліковано у 2(3) номері журналу «Euphorbia World» в 2006 р. (рис. 4–В).

Журнал друкується англійською мовою. Проте, тепер на сайті журналу можливо читати статті іспанською, німецькою, французькою та японською мовами.

Зібрання членів товариства традиційно відбувається один раз на рік у містечку Бланкенберге (Бельгія) на узбережжі Північного моря. Проте ювілейну конференцію було організовано в ботанічному саду Мейзе (Бельгія), який є базою для проведення морфолого-біологічних та систематичних досліджень рослин світової флори, для збереження біорізноманіття нашої планети, якому загрожують зміни клімату, діяльність людини та військові дії. Крім того, ботанічний сад містить всесвітньо відому бібліотеку та гербарій, є осередком навчально-виховної роботи з охорони природи, збагачення знань про навколишній світ та розвиток творчості у підростаючих поколіннях [5].

Це було зібрання однодумців, науковців, аматорів, тих, для кого родина Молочаїв є захопленням, об'єктом досліджень та справою всього життя. Два робочих дні серед учасників вирувало спілкування, обмін інформацією, обговорення доповідей. Спілкування було без кордонів, мовних перешкод, політичних та релігійних бар'єрів. Англійська офіційна мова спілкування змінювалась в обговореннях на французьку, нідерландську, чеську і навіть японську.

Програма конференції включала цікаві, пізнавальні, доповіді досвідчених членів товариства, відвідання колекції молочаю та сукулентів у оранжереях ботанічного саду Мейзе. Учасники конференції мали можливість спілкуватись, ділитись досвідом та придбати численні унікальні види молочаю для поповнення своїх колекцій.

Захоплюючими були виступи почесних членів товариства, які вивчають представників родини *Euphorbiaceae* в експедиціях, безпосередньо в їх природних умовах. Інформативними, науковими, ґрунтовними, чудово ілюстрованими були доповіді Петра Павелка (Petr Pavelka) із Чехії про *Euphorbia* о. Мадагаскар; Алана Ржепецького (Alain Rzepecky) з Португалії про *Euphorbia* з о. Сокотра та ряду йєменських островів в Індійському океані; Лена Ньютона (Len Newton) з Великої Британії про видове різноманіття *Euphorbiaceae* у Кенії, Танзанії, Уганді, Гані; Рікуса ван Вельдхюзена (Rikus van Veldhuisen) з Нідерландів про видове та формове різноманіття видів *Euphorbia* секції *Monadenum* у країнах Африки.

Крім того, важливо відмітити імена постійних членів та активних учасників товариства: Боба Поттера (Bob Potter) із Великої Британії, Томаса Каммаертса (Thomas Cammaerts) із Бельгії, Детлефа Шнабеля (Detlef H. Schnabel) – представника

Німеччини, Австрії, Південної Африки, Волкера Будденсіка (Volker Buddensiek) із Німеччини, Себастьяна Уелля (Sébastien Houyelle) із Франції, Вольфганґа Евеста (Wolfgang Ewest) з Німеччини, Томмі Ґудкіна (Tommy Goodkin) із США, Кона Тадайоші (Kono Tadayoshi) з Японії та багато інших.

Конференція продовжилась відвідуванням оранжерейного комплексу ботанічного саду Мейзе, де міститься одна з найкращих колекцій родини *Euphorbiaceae* у світі, куратором якої є Томас Каммаертс (Thomas Cammaerts).

Учасники конференції мали можливість ознайомитись із видовим різноманіттям рослин колекції, сфотографувати їх та придбати нові екземпляри рідкісних, зникаючих, унікальних рослин *Euphorbiaceae* для поповнення своїх колекцій (рис. 5).



Рис. 5. Учасники конференції відвідують оранжерейний комплекс ботанічного саду Мейзе (фото Н. Левчик)

Живе спілкування продовжувалось як в залі засідань, за чашкою кави, так і в оранжерейних умовах (рис. 6).



Рис. 6. Спілкування учасників конференції: А – Рікус ван Вельдхюзен із колегами; В – Н. Левчик, Рікус ван Вельдхюзен з колегою; С – адміністратор та скарбник I.E.S. Боб Поттер (Велика Британія) та Н. Левчик (фото Н. Левчик)

Конференція закінчилась, але залишились величезні плани на експедиції, роботу у гербаріях, теплицях, на наукову та експериментальну роботу в напрямку дослідження, збереження, розмноження та розповсюдження цих унікальних рослин родини *Euphorbiaceae*. Про втілення та реалізацію цих планів буде повідомлено у наступних випусках журналу «Euphorbia World» та на наступних конференціях (рис. 8).



Рис. 8. Учасники конференції біля замку Бушу (château de Bouchout) ботанічного саду Мейзе (Бельгія) (фото Н. Левчик)

Отже, товариство I.E.S. несе місію об'єднання науковців, аматорів, діячів бізнесу-вирощувачів сукулентні рослини, а отже всіх однодумців, закоханих у біологію, систематику, збереження, розмноження, поширення, побутове використання рослин родини *Euphorbiaceae*, а також організацію та здійснення обміну науково-дослідною інформацією на конференціях та на сторінках журналу «*Euphorbia World*».

Але найважливішими, за словами голови товариства Рікуса ван Вельдхюзена, є його члени, які за ці роки чітко дали зрозуміти, що товариство та його журнал «*Euphorbia World*» цінуються, і багато хто з них віддано залишаються з самого початку його заснування. Звісно, той факт, що товариство існує вже 20 років, є найкращим доказом того, що команда I.E.S. чудова, згуртована, вмотивована та дієва. І це справді варто було відзначити та відсвяткувати [3].

Дякуємо Міжнародному товариству *Euphorbiaceae* за його діяльність і до наступних зустрічей.

Література

1. International Euphorbia Society (I.E.S.). URL: <https://euphorbia-international.org/> (дата звернення 29.05.2025).
2. Сьюзен Картер Голмс. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%8C%D1%8E%D0%B7%D0%B5%D0%BD_%D0%9A%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B5%D1%80_%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BC%D1%81 (дата звернення 29.05.2025).
3. Rikus van Veldhuisen 20th anniversary of the I.E.S., mostly as Chairman. *Euphorbia World*. 2025. Vol. 20. № 1. P. 25-26.
4. Susan Carter I.E.S. 20th Anniversary, as President. *Euphorbia Worts*. 2025. Vol. 20. № 1. P. 4-5.
5. Jardin botanique de Meise. URL: <https://www.plantentuinmeise.be/fr/pQaO5iOI/-histoire-du-jardin-botanique-de-meise> (дата звернення 01.06.2025).

Referenses

1. International Euphorbia Society (I.E.S.). URL: <https://euphorbia-international.org/> (access date 29.05.2025) [in English].
2. Susan Carter Holmes. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%8C%D1%8E%D0%B7%D0%B5%D0%BD_%D0%9A%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B5%D1%80_%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BC%D1%81 (access date 29.05.2025) [in Ukrainian].
3. Rikus van Veldhuisen (2025). 20th anniversary of the I.E.S., mostly as Chairman. *Euphorbia World*, 20(1), 25-26 [in English].

4. Susan Carter (2025) I.E.S. 20th Anniversary, as President. *Euphorbia World*, 20 (1), 4-5 [in English].
5. Jardin botanique de Meise. URL: <https://www.plantentuinmeise.be/fr/pQaO5iO/-histoire-du-jardin-botanique-de-meise> (access date 01.06.2025) [in French].

Levchyk N.

PhD biological sciences, scientist
M.M. Gryshko National Botanical Garden of the
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
levchyk.n@ukr.net
orcid.org/0000-0001-8668-8763

**CONFERENCE ON THE 20TH ANNIVERSARY OF THE INTERNATIONAL
EUPHORBIA SOCIETY MEISE BOTANIC GARDEN (BELGIUM) HOSTS A
NOTABLE INTERNATIONAL MEETING WITHOUT BORDERS – FOR
SCIENTISTS, AMATEURS, AND LIKE-MINDED PEOPLE**

The article considers the notable conference on the 20th anniversary of the International Euphorbia Society (IES), which took place in Meise Botanic Garden (Belgium). The conference united IES members from Western and Eastern Europe, the US, Canada, and Japan. Ukraine also participated in the conference. The IES focuses on the study of the Euphorbiaceae family (Euphorbiaceae Juss.) plants, dissemination of knowledge about them, as well as their propagation and cultivation. The IES currently has over 150 members from 24 countries on six continents. It was founded by UK enthusiasts Daphne and Albert Pritchard together with Susan Carter Holmes, now holding the honorary position of the President and Research Director of the IES. Its Euphorbia World journal covers news and research and expedition results, reports on new Euphorbia species, and serves as a reliable source of scientific information approved by the Royal Botanic Gardens (Kew, England). The conference program included meaningful, informative, illustrated reports on the species diversity of Euphorbiaceae in African countries, islands in the Indian Ocean, on the species and form diversity of the Monadenium section in African countries. The conference continued with the visit to the succulent collection of the Meise Botanic Garden – one of the best collections of the Euphorbiaceae family in the world. Participants could communicate, share their experience, and purchase numerous unique species of Euphorbiaceae to replenish their collections. The conference had a very warm and friendly atmosphere of like-minded people, professionals, and amateurs. And the I.E.S. society continues to carry out its mission of uniting all like-minded people in love with plants, their biology, systematics, conservation, reproduction, distribution and domestic use, as well as promoting the exchange of information at meetings, conferences and the pages of the Euphorbia World magazine.

Key words: International Euphorbia Society (I.E.S.), conference, Meise Botanic Garden (Belgium), succulents Euphorbiaceae.

**Стаття до редакції надійшла 20.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 11.06.2025 року**

УДК 582.92 (581.9)

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-14-23

Москалюк Б. І.

кандидат біологічних наук,
начальниця редакційно-видавничого відділу наукових та
науково-популярних видань
Карпатський біосферний заповідник
bogdanamel2@gmail.com
orcid.org/0009-0009-5344-7440

Мелеш Є. А.

провідний інженер відділу науково-дослідної роботи
та міжнародної співпраці
Карпатський біосферний заповідник
evgeniamelesh1@gmail.com
orcid.org/0009-0004-3594-739X

**СУЧАСНЕ ПОШИРЕННЯ ТИРЛИЧА КРАПЧАСТОГО
(*GENTIANA PUNCTATA* L.) В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ**

За результатами аналізу власних польових досліджень, гербарних колекцій, даних інтернет-ресурсів Глобальної інформаційної системи з біорізноманіття, iNaturalist і UkrBIN та різних літературних джерел узагальнено відомості про поширення рідкісного високогірного виду *Gentiana punctata* L. в Українських Карпатах, який включено до Червоної книги України. На основі даних цього аналізу був складений загальний список відомих місцезнаходжень та карта поширення досліджуваного виду в Українських Карпатах.

Gentiana punctata – середньоєвропейський субальпійський вид на східній межі ареалу. Загальний ареал виду охоплює гори Середньої і Південної Європи від 1100 до 2600 м н.р.м., Карпати, Татри і гори Балканського півострова, Піренейський півострів, Корсика і Сардинія, розширений до Малої Азії та Індії.

За результатами аналізу сучасного поширення *G. punctata* в Українських Карпатах вид трапляється на Чорногорі, Свидовці, Мармароських Альпах, Горганах, Боржавських полонинах, а також відомий у Чивчино-Гринявських горах. У досліджуваному регіоні на сьогодні нами зареєстровано 68 місцезнаходжень *G. punctata*, з яких 54 – підтверджені гербарними зборами, польовими даними, фотознімками інтернет-ресурсів, а інші – за літературними даними. У п'ятьох локалітетах, що становить 7,4% від загальної кількості місцезнаходжень, вид знаходиться на межі зникнення або, ймовірно, є зниклим. Проте, ці місцезнаходження потребують додаткового обстеження. Зокрема на гг. Петрос і Шешул, а також – полонинах: Рогнеска та Шумнеска (Чорногора) і Драгобрат (Свидовець). Найбільша кількість локалітетів (23 пунктів) знаходиться у Чорногорі. Деяко менше локалітетів зосереджено у Свидовецькому масиві (17 пунктів) та у Горганах (17 пунктів). Шість місцезнаходжень *G. punctata* у Чивчинських горах, по два місцезнаходження у Боржавському масиві й Мармароських горах, а також одне місцезнаходження у Гринявських горах.

Отримані дані суттєво доповнюють наявні відомості про загальний ареал та поширення виду *G. punctata* в Українських Карпатах. Вони можуть використовуватися для організації моніторингу відомих місцезнаходжень *G. punctata*, вивчення стану популяцій і розроблення рекомендацій щодо його збереження.

Ключові слова: поширення, місцезнаходження, судинні рослини, Червона книга України, охорона.

Вступ. В умовах посиленого антропогенного навантаження на гірські екосистеми в останні десятиріччя все гостріше постає проблема охорони та збереження популяцій рідкісних видів судинних рослин.

Gentiana punctata L. – рідкісний високогірний вид, включений до Червоної книги України [12] як вразливий. Трапляється в субальпійському та альпійському поясах, росте на свіжих, кислих або слабокислих бідних на вапно гумусових кам'янистих ґрунтах [12]. Це цінна лікарська багаторічна рослина, росте нечисельними групами або поодинокі [2]. Основними причинами зменшення чисельності популяцій досліджуваного виду є випасання, витоптування, збирання підземної частини населенням [12] та масова заготівля лікарської сировини підприємцями заготівельниками.

З огляду на вищевикладене, збір, узагальнення та оприлюднення інформації щодо поширення рідкісного високогірного виду *G. punctata* в Українських Карпатах сприятиме не тільки його збереженню, але й слугуватиме фактологічною базою при розробці комплексної програми його моніторингу в умовах глобальних кліматичних змін.

Формулювання мети статті. Узагальнення та оприлюднення даних щодо поширення в Українських Карпатах рідкісного виду *G. punctata*, який включений до Червоної книги України [12] як вразливий, налагодження моніторингу для покращення збереження відомих місцезнаходжень.

Методи та організація дослідження. З метою вивчення географічного поширення високогірного виду *G. punctata* в Українських Карпатах, насамперед ми здійснили аналіз власних польових досліджень, проведених впродовж 2008-2025 рр. [9, 8, 10] наявних літературних джерел, відомих картосхем поширення *G. punctata* в Європі, проаналізували гербарні зразки у колекціях Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (KW), Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України (KWHN), Львівського національного університету імені Івана Франка (LW), Державного природознавчого музею НАН України (LWS), ДВНЗ "Ужгородський національний університет" (UU), Карпатського біосферного заповідника, Карпатського національного природного парку. Опрацьовані бази даних Глобальної інформаційної системи з біорізноманіття [18], iNaturalist [21], UkrBIN [27] та різних літературних джерел. На основі даних цього аналізу був складений загальний список місцезнаходжень та карта поширення дослідженого виду в Українських Карпатах. Особливу увагу звертали на локалітети підтверджені гербарним матеріалом, фотознімками і відмітками в польових щоденниках. Відомості про загальний ареал виду подані за інтернет-ресурсом POWO (Plant of the World Online) [26] та літературними даними.

Результати дослідження та їх обговорення. Загальний ареал тирлича крапчастого (*G. punctata*) – гори Середньої і Південної Європи від 1100 до 2600 м н.р.м., Карпати, Татри (до 2450 м н.р.м.) і гори Балканського півострова [13, 12], Піренейський півострів, Корсика і Сардинія, розширений до Малої Азії та Індії [17]. Картосхема ареалу наведена в роботі Н. Meusel [24] (рис. 1).

На сьогодні ареал *G. punctata* охоплює Францію, Італію [23], Албанію [14], Австрію, Швейцарію, Грецію, Чорногорію, Болгарію, Сербію [26], Румунію [15], Словаччину, Україну, Польщу, Чехію [19, 16], Німеччину, Хорватію [25], та країни Балканського півострова, а також розширений до М'янми [26] та Індії [17].

В.І. Чопик [13] вказує, що *G. punctata* має середньоевропейський тип ареалу, інші автори [3] вважають, що вид належить до альпійсько-карпатської групи рослин. За результатами хорологічного аналізу К.А. Малиновського [6] *G. punctata* належить до середньоевропейсько-монтаної групи, альпійської підгрупи, альпійського елемента флори. У характеристиці ареалу ми згідні з Н.М. Шиян [12] і відносимо *G. punctata* до середньоевропейських субальпійських видів на східній межі ареалу.

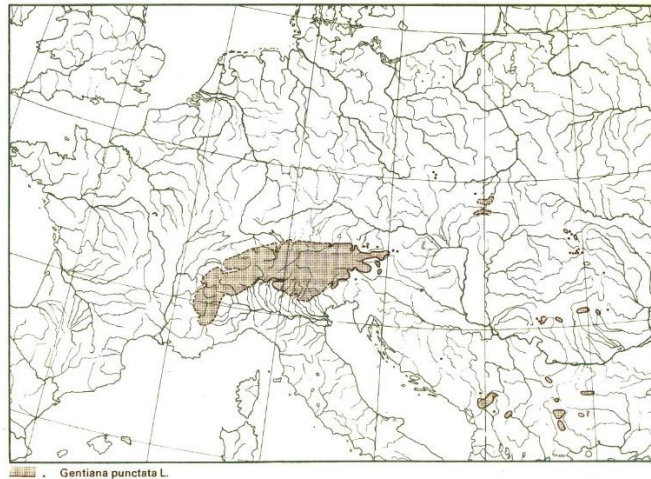


Рис. 1. Картохема ареалу *Gentiana punctata* [24]

Досліджений вид приурочений до гірських масивів Українських Карпат, які є частиною Східних Карпат, за рельєфом та характером флори й рослинності більшістю авторів [13, 6] визнаються такі райони: Чорногірське, Свидовецьке, Мармароське, Горганське, Чивчино-Гринявське, Боржавське, Бескидське та Красненське високогір'я (полонина Красна). Високогір'ям прийнято називати гірську територію, яка розташована над верхньою межею лісу.

В Українських Карпатах *G. punctata* трапляється у Горганах [1], Свидовці, Чорногорі, Чивчино-Гринявських горах та Мармароші [13, 7]. Поширений вид у субальпійському та альпійському поясах, на висоті 1500–1900 м н.р.м., на луках, у заростях криволісся, на кам'янистих осипах [13].

У Червоній книзі України [12] наведено 21 локалітети *G. punctata*, які підтверджені гербарними зборами, у субальпійському та альпійському поясах на висоті 1100–1900 м н.р.м.

Раніше ми розглянули місцезнаходження *G. punctata* в 31 пунктах високогір'я [8]. Ці дані покладені в основу нашої картохеми (рис. 2), проте вони суттєво доповнені новими узагальненими відомостями та матеріалами наших досліджень, а також новішими публікаціями [5, 4, 11, 22] та даними інтернет-ресурсів [18, 21, 27].

Аналіз сучасного поширення *G. punctata* в Українських Карпатах показує, що вид трапляється на Чорногорі, Свидовці, Мармароських Альпах, Горганах, на Боржавських полонинах, а також відомий і у Чивчино-Гринявських горах.

У досліджуваному регіоні на сьогодні нами зареєстровано 68 місцезнаходжень *G. punctata* (рис. 2). Найбільша кількість локалітетів (23 пунктів) знаходиться у Чорногорі: полонина Рогнеска (понад 1420 м н.р.м.), Гарманеска (понад 1420 м н.р.м.), Шумнеска (1590 м н.р.м.), Маришевська (1380 м н.р.м.), гори Шешул (1728 м н.р.м.), Петрос (2020 м н.р.м.), Говерла (2061 м н.р.м.), Мала Говерла (1762 м н.р.м.), Брескул (1911 м н.р.м.), Брескулець (1720 м н.р.м.), Пожижевська (1822 м н.р.м.), Бребенескул (1830 м н.р.м.), Гутин Томнатик (2016 м н.р.м.), Шпиці (1863 м н.р.м.), Кізі-Улоги (1820 м н.р.м.), Ребра (2001 м н.р.м.), Вухатий Камінь (1864 м н.р.м.), Великі Кізли (1730 м н.р.м.), Данцер (1855 м н.р.м.), Менчул Квасівський (1300 м н.р.м.), Туркул (1933 м н.р.м.), Піп Іван (2028 м н.р.м.), Гомул (1787 м н.р.м.).

Дещо менше локалітетів дослідженого виду зосереджено у Свидовецькому масиві (17 пунктів). Це місцезнаходження на горах Ворожеска (1731 м н.р.м.), Трояска (1702 м н.р.м.), Підпула (1634 м н.р.м.), Близниця Велика (1881 м н.р.м.), Жандарм (1763 м н.р.м.), Стіг (1704 м н.р.м.), Великий Котел (1771 м н.р.м.), Свидовець Центральний (1635 м н.р.м.), Крачуняска (1686 м н.р.м.), та полонинах Драгобрат (понад 1300 м н.р.м.), Свидовець (1635 м н.р.м.), Флантус (1400 м н.р.м.), Геришаска

(понад 1610 м н.р.м.), Ярошеська (1430 м н.р.м.), Апшинська (Апшинецька) (1500 м н.р.м.), Татул (понад 1410 м н.р.м.), Пересліп (Свидово-Прислоги) (1452 м н.р.м.).

Також 17 місцезнаходжень *G. punctata* зафіксовано у Горганах, а саме: гори Гропа (Грофа) (1748 м н.р.м.), Попадя (1452 м н.р.м.), Негровець (1709 м н.р.м.), Ігровець (1804 м н.р.м.), Сивуля (Велика Сивуля, Сива Гора) (1835 м н.р.м.), Горб (1687 м н.р.м.), Подини (1499 м н.р.м.), Побита (1498 м н.р.м.), Горган (1441 м н.р.м.), Синяк (1665 м н.р.м.), Гробок-Явір (близько 1260 м н.р.м.), Братківська Мала (1667 м н.р.м.), Перенизь (1200 м н.р.м.), Пантир (1213 м н.р.м.), Гечура (1423 м н.р.м.), Коза (950 м н.р.м.), та в околицях села Осмолода (понад 1000 м н.р.м.).

На інших гірських хребтах вид відмічений у кількох пунктах. Так, зафіксовано шість місцезнаходжень *G. punctata* у Чивчинських горах – це гори Гнетеса (1766 м н.р.м.), Чивчин (1766 м н.р.м.), Сулігул (Сулігуль) (1688 м н.р.м.), Команова (1734 м н.р.м.), Попадя (1380 м н.р.м.) та полонина Піре (1574 м н.р.м.). Відомо по два місцезнаходження виду у Боржавському масиві і Мармароських горах. У Боржаві – це гори Стій (1681 м н.р.м.) та Ряпецька (1210 м н.р.м.). У Мармароських горах – Ненєска (Велика Ненєска), (1815 м н.р.м.) та Піп Іван (1940 м н.р.м.). А також одне місцезнаходження у Гринявських горах – г. Скупова (1579 м н.р.м.).

Нами не виявлено жодного екземпляра рослини на г. Шешул, полонинах Рогнеска та Шумнеска. Разом з тим протягом 2012 та 2015 рр. ми підтвердили місцезнаходження *G. punctata* на г. Драгобрат та у 2013 році – на г. Петрос Черногірський, де нами виявлено поодинокі особини рослини. У серпні 2013 року ми виявили місцезнаходження виду під Туркулом, де рослини зустрічаються невеликими групами у зоні криволісся. Отже, вважаємо що наразі у п'ятьох місцезнаходженнях *G. punctata* знаходиться на межі зникнення, або, ймовірно, є зниклим через антропогенний вплив. Зокрема на г. Петрос і Шешул, а також – полонинах: Рогнеска та Шумнеска (Чорногора) і Драгобрат (Свидовець). Нещодавно О.Ю. Майорова зі співавторами [5] підтвердили деякі місцезнаходження, а саме дослідили шість субпопуляцій *G. punctata* на горах Гутин Томнатик, Брескул, Говерла (Чорногірський масив), Ворожеска, Татул (Свидовецький масив) та Піп Іван (Мармароський масив).

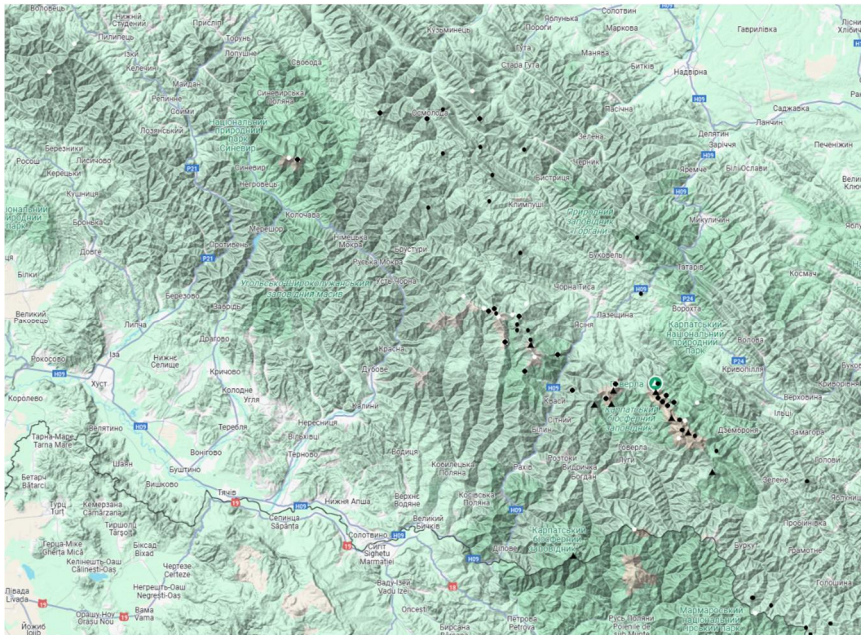


Рис. 2. Місцезнаходження *Gentiana punctata* в Українських Карпатах

Примітки: ▲ – вивчені нами місцезнаходження; ● – місцезнаходження за гербарними зборами та фотознімками інтернет-ресурсів; ○ – місцезнаходження за літературними даними; картографічна основа [20].

Наводимо список місцезнаходжень *G. punctata* в Українських Карпатах:

1. Чорногірський масив: *г. Черногора* – ?, 1954, LW; Федорчук, 1980, KW; Kozij, 1930, 075311 LWS, GBIF 4440456783; *г. Говерла* – Яновський, 1901, LWS; Janowski, 15.07.1905, 075290 LWS, GBIF 4440456454; Попов, 1946, LWS; Popov, 09.07.1946, 075288 LWS, GBIF 4440457223; Косець, 1946, KW; Доброчаєва, 1947, KW; Котов, 1947, KW; Лазуткін, 1981, гербарій КБЗ; Геник, 1987, гербарій КНПП; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /18.08.1955/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; Marcin Scelina, 04.07.2004, iNaturalist 244904444, GBIF 4952191562; marcin_scelina, 4.07.2004, iNaturalist 244904444; Andriy Kovalchuk, 16.07.2007, UkrBIN 108043; Москалюк, 2010 [8]; Максим Гаврилук, 21.06.2013, UkrBIN 142986; Майорова, 2014 [4]; dr_zamoroka, 26.06.2016, iNaturalist 168359874; Максим Мисак, 11.07.2020, UkrBIN 168344; Балух, 02.07.2023, UkrBIN 299881; olga81367, 5.07.2024, iNaturalist 227444312; *г. Мала Говерла* – q-10637283315, 30.06.2022, GBIF 3955825300; olga81367, 5.07.2024, iNaturalist 227444276; *г. Піп Іван Чорногірський* – Харкевич, 1946, KWHA; Попов, Хржановський, 1946, KW; Котов, 1947, KW; Москалюк, 2010 [8]; Тимчук, 13.0.2016, GBIF 4924710279; *г. Менчул Квасівський* – Брадїс, Зап'ятова, 1948, KW; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /07.08.1963/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; полонина Гарманеска – Комендар, 1952, KW; Тимчук, 28.06.2018, GBIF 4924710282; *г. Петрос* – Гринь, 1947, KW; Донська, 1957, KW; Харкевич, 1958, KWHA; Комендар, 1966, KW; Мельник, 1988, KWHA; Зеленчук, Півень, Півень, 1989, LW; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /1952, 1954/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; *гг. Пожижевська-Туркул* – Доброчаєва, 1976, KW; *г. Туркул* – Kozij, 04.08.1935, BR0000030227491, GBIF 4072717068; Коліщук, 1960, LWS; Малиновський, 1967, KW; Лазебна, 07.07.1967, 075299 LWS, GBIF 4440456478, 15.07.1971, 075301 LWS, GBIF 4440457514; Доброчаєва, 1976, KW; Kuzyarın, 12.07.1978, 115617, 075302 LWS, GBIF 4440457217, 4440457132; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /1963/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; *г. Туркул, о. Несамовите* – Кондрат 27.06.2019, UkrBIN 117363; Vorsukevych, 03.07.2017, UkrBIN 46535; *гг. Туркул-Данцер* – ?, 26.07.1977, 007106 LWS, GBIF 4440456804; *гг. Пожижевська-Данцер* – Блоцькі, 15.07.1899, 075293 LWS, GBIF 4440456929, 075294 LWS, GBIF 4440456427; Блоцький, 1839, LWS; hanna_kuzyo, 26.06.2022, iNaturalist 123884390; Hwozdetskiy, 02.07.2023, UkrBIN 352033; *г. Пожижевська* – Козій, 1930, KW; Любченко, 1971, KW; Шиян, 1992, KW; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /1959, 1963/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; *г. Брескул* – WiśniewskiTad, 10.08.1921, WA0000111585, GBIF 4858693122; /1960/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; Korzhynskiy, 17.07.1976, 110414 LWS, GBIF 4440457278; Сичак, 20.07.2006, UkrBIN46920, 46921; Майорова та ін., 2013 [5]; Майорова, 2014 [4]; Shoy Lola 20.06.2019, o-1004540758, GBIF 2645411594; *г. Брескулець* – Стопкань, 1969, KWHA; *г. Ребра* – dr_zamoroka, 2.07.2020, iNaturalist 168316546; demak, 22.06.2024, iNaturalist 224956147; *г. Шпиці* – Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; *г. Гомул* – Малиновський, 1958, LWS; *г. Великі Кізли* – Козій, 10.08.1928, LWS; *г. Кізли* – Kozij, 01.08.1928, 075307, 075308, 075309, 075310 LWS, GBIF 4440456942, 4440456742, 4440457299, 4440456531; Шевчук /24.08.1960/, LWS; Берко, 27.08.1961, 075318 LWS, GBIF 4440456844; Коліщук, 08.07.1963, LWS; Kuzyarın A.T., 10.07.2008, 116467 LWS, GBIF 4440456852; *гг. Данцер-Туркул* – Тасенкевич, 1977, LWS; Зеленчук, 1991, LW; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /1963/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; ?, 09.08.1921, WA0000111586, GBIF 4858693117; *г. Вухатий Камінь* – q-10210296241, 05.07.2020, GBIF 2977757714; *г. Шешул* – Лазебна, 1955, LWS; Коліщук, 1955, 075296 LWS 1965, KW, GBIF 4440457403; Бобієвич, 1977, LW; Куца, Боренько, 1982, LW; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /1953, 1954/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; Гончаренко, 2005, LW; *г. Шешул-Павлик* – Гончаренко, 2004, 2005, KW; *полонина Рогнєска* – Комендар, 1952, KW; /1963/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; *полонина Шумнеска* – Малиновський, 15.06.1954, 075314 LWS, GBIF; Malynovskiy, 075312, GBIF

4440456556, 4440456967, 4440456466; *полонина Маришевська* – /1961/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; *полонина Бребенеска* – Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; Москалюк, 2010 [8]; *г. Бребенескул* – Eugene Novosad, 21.06.2008, UkrBIN 59907; *г. Гутин Томнатик* – Майорова та ін., 2013 [5]; Майорова, 2014 [4]; *гг. Гутин Томнатик-Бребенескул, біля о. Бребенескул* – Andriy Kovalchuk, 16.07.2007, UkrBIN108040; Москалюк, 2010 [8]; *г. Кізі Улоги* – Shevchuk, 25.08.1960, 075317 LW, GBIF 4440457517.

2. Мармароський масив: *г. Піп Іван* – Хржановський, 1946, KW; Косець, 1946, KW; Роров, 09.07.1946, 075289 LW, GBIF 4440457329; Гринь, 1948, KW; Вагнер, 1854, LW; Чопик, 1966, KWHA; Климишин, 1987, LWS; Klymyshyn 07.1987, 075286 LWS, GBIF 4440457426; Шиян, 1992, KW; Вайнагій, 1992, гербарій КБЗ; Шиян, 1992, 1999, LW; /1963/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; Москалюк, 2010 [8]; Майорова, 2014 [4]; Kobiv et al., 2017 [22]; *г. Ненеска* – Царик та ін., 2009 [11].

3. Свидовецький масив: *г. Близниця* – Барбарич, Барбарич, 1947, KW; Гринь, 1947, KW; Брадїс, Зап'ятова, 1948, KW; Стопкань, 1970, KWHA; Кардаш, 1989, LW; *полонина Апшинська* – Зиман, 1973, KW; *полонина Герешаска* /1963/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; Zakharova 19.0.2024, 224558430 GBIF 4901418256; *полонина Герешаска-Татул* – Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; *г. Татул* – /1963/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; Майорова та ін., 2013 [5]; Майорова, 2014 [4]; *полонина Ярошецька* – Zakharova 18.0.2024, 224476675, GBIF 4901120010; *полонина Свидовець* – Федорович, 1910, LW; Харкевич, 1947, KWHA; *Свидовець Центральний* – lukas_kroca, 1.08.2023, iNaturalist 235334054; surmiiievichvaleriia 18.06.2024, 223527260, GBIF 4901163592; *полонина Свидово-Прислоги* – Брадїс, Зап'ятова, 1948, KW; *полонина Драгобрат* – Брадїс, 1947, KW; Ivanmoysiyenko, 21.06.2024, iNaturalist 224555181; *г. Жандарм* – Viktoria, 01.07. 2011, 36884809, GBIF 2540889657; katernapolianska, 21.06.2024, iNaturalist 224232889; davydovbotany, 13.07.2024, iNaturalist 254380397, GBIF 4994041047; *г. Флантус* – Малиновський, 1948, LWS; *г. Крачуняска* – Ivanmoysiyenko, 21.06.2024, iNaturalist 224252741; violetta_pokalyuk, 21.06.2024, iNaturalist 225054667; katia_suhodoieva 21.06.2024, iNaturalist 224458411; Karinakovalchuk, 21.06.2024, iNaturalist 224361003; *гг. Крачуняска-Великий Котел* – katernapolianska, 21.06.2024, iNaturalist 224158080; *гг. Крачуняска-Герешаска* – Люда Чабанова, 21.06.2024, iNaturalist 224158623, GBIF 4901110494; Nadiia Skobel, 21.06.2024, 224150355, GBIF 4901660988; *г. Великий Котел* – Кардаш, 1989, LW; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /1960/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; Ivanmoysiyenko, 21.06.2024, iNaturalist 224252815; violetta_pokalyuk, 21.06.2024, iNaturalist 225054300; Karinakovalchuk, 21.0.2024, iNaturalist 224361643; *г. Стїє* – karinakovalchuk, 18.06.2024, iNaturalist 223936127; *г. Ворожеска* – Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; Borsukevych, 15.07.2007, 116786 LWS, GBIF 4440456975; Майорова та ін., 2013 [5]; Майорова, 2014 [4]; Ivan moysiyenko 19.06.2024, iNaturalist 224120614; katernapolianska 19.06.2024, iNaturalist 223731185; *г. Трояска, г. Підпула* – Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6].

4. Горгани: *г. Сивуля* – ?, 1888, KW; Волощак /?/, LWS; Барбарич, Андрїєнко, 1959, KW; Брадїс, Андрїєнко, 1959, KW; Берко, 1962, LWS; Чопик, Дубовик, 1967, KW; *г. Попадя* – Бедей, 1962, LWS; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /1962/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; *г. Ігровець* – /1962/ Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; Balukh, 29.06.2022, UkrBin 251915; panko20, 4.08.2022, iNaturalist 2224222407893; dr_zamoroka, 3.08.2023, iNaturalist 178678235; ivan_senchak, 15.06.2024, iNaturalist 223924844; *г. Негровець* – /1962/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; *г. Горб* (хр. Негровець) – Зиман, Булах /04.07.2005, KW; *околиця с. Осмолода*, Берко, 1962, KW; *г. Подини* – dr_zamoroka, 08.2023, iNaturalist 168694072, 177470077; *г. Побита* – dr_zamoroka, 08.2023, iNaturalist 177512212; *г. Горган* – dr_zamoroka, 08.2023, iNaturalist 177512523; *г. Синяк* – katernapolianska, 06.2024, iNaturalist 225115406; *гг. Гробок-Явір* – dr_zamoroka, 08.2023, iNaturalist

178713638; *г. Братківська Мала* – katerynapolianska, 21.0.2024, iNaturalist 224158321; *г. Перенизь* – nazariy_driscoll, 6.07.2021, iNaturalist 86304052; *г. Гропа* – Харкевич, 1947, KW; Малиновський, Крічфалушій, 2000 [6]; /1962/ Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7]; *г. Гропа, урочище Гропівець* – ViktorShparyk, 06.07.2024, iNaturalist 227836325, GBIF 4908824561; *г. Пантур* – dr_zamoroka, 08.2023, iNaturalist 177637829; *г. Гечура* – dr_zamoroka, 08.2023, iNaturalist 177511553; *г. Коза, околиці с. Яблуниця* – romankish, 18.06.2024, iNaturalist 223817175;

5. **Чивчинські гори:** *г. Чивчин* – Чопик, 1964, KWHA; Загультський, 1987, LW; *г. Гнетеса* – Чопик, Орнст, 1970, KW; *Гнетеса-Команова* – Шиян, Чорней, 2009 [12], 2009; *г. Команова* – Мацап'як, 4.08.2023, GBIF 4924707406; *г. Сулігул* – Шиян, Чорней, 2009 [12]; *г. Попадя* – Мацап'як, 4.08.2023, GBIF 4924707216; *полонина Піре* – Vysochyn Maksym, 18.06.2024, o-1023134881, GBIF 5110320113; Мацап'як, 18.06.2024, GBIF 4924707220.

6. **Гринявські гори:** *г. Скупова, с. Зелена* – Чорней, 2002, KW.

7. **Боржавський масив:** *г. Стій (Стой)* – /1949/, *г. Ряпецька* /1959/ – Малиновський, Крічфалушій, 2002 [7].

Висновок. Таким чином, нині в Українських Карпатах ми відмічаємо 68 місцезнаходжень, з яких 54 – підтверджені гербарними зборами, польовими даними, фотознімками інтернет-ресурсів, а інші – за літературними даними. У п'ятьох локалітетах, що становить 7,4% від загальної кількості місцезнаходжень, вид знаходиться на межі зникнення або, ймовірно, є зниклим через антропогенний вплив. Проте, ці місцезнаходження потребують додаткового підтвердження.

Отримані дані суттєво доповнюють наявні відомості про загальний ареал та поширення виду *G. punctata* в Українських Карпатах. Вони можуть використовуватися для організації моніторингу відомих локалітетів *G. punctata*, вивчення стану популяцій і розроблення рекомендацій щодо збереження виду.

Література

1. Зиман С. М., Тях Ю. Ю. Рідкісні рослини флори НПП «Синевир». *Фіторізноманіття Карпат: сучасний стан, охорона та відтворення: матеріали міжнар. наук. конф., присвяченої 15-річчю МНДЛ УжНУ*, 11–13 вересня 2008 р. Синевир, 2008. С. 63–67.
2. Комендар В. І. Лікарські рослини Карпат. Дикорослі та культурні. Ужгород: Мистецька лінія, 2007. 504 с.
3. Крічфалушій В. В., Будніков Г. Б., Мигаль А. В. Червоний список Закарпаття: види рослин та рослинні угруповання, що знаходяться під загрозою зникнення. Ужгород, 1999. 196 с.
4. Майорова О. Ю. Екологічні основи збереження рідкісних видів роду *Gentiana* L. (*G. lutea* L., *G. punctata* L., *G. acaulis* L.) флори Українських Карпат: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. К., 2014. 25 с.
5. Майорова О. Ю., Грицак Л. Р., Мельник В. М., Терехова Г. І., Дробик Н. М. Поширення і стан популяцій *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L. та *G. acaulis* L. в Українських Карпатах. *Інтродукція рослин*, 2013. № 3. С. 21–28.
6. Малиновський К. А., Крічфалушій В. В. Високогірна рослинність. *Рослинність України*. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. Т.1. 230 с.
7. Малиновський К. А., Крічфалушій В. В. Рослинні угруповання високогір'я Українських Карпат. Ужгород, 2002. 244 с.
8. Москалюк Б. І. Сучасний стан популяцій високогірних видів роду *Gentiana* L. та наукові основи їх охорони в Українських Карпатах: автореф. дис. ... канд. біол. наук.: 03.00.05. К., 2010. 20 с.
9. Москалюк Б.І. До вивчення онтоморфогенезу високогірних рідкісних видів *Gentiana lutea* та *Gentiana punctata* (*Gentianaceae*) в Українських Карпатах. *Природа Карпат: науковий щорічний Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України*, 2016. № 1. С. 11–16.

10. Москалюк Б. І., Комендар В.І. Високогірні види роду *Gentiana* L. в Українських Карпатах та наукові основи їх охорони. *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту, сер. Біологія*, 2008. 24. С. 234–243.
11. Царик Й., Жилияев Г., Кияк В. та ін. Життєздатність популяцій рослин високогір'я Українських Карпат. Львів: Меркатор, 2009. 172 с.
12. Червона книга України. Рослинний світ. Відп. ред. Я. П. Дідух. К.: Глобалконсалпінг, 2009. 900 с.
13. Чопик В. І. Високогірна флора Українських Карпат. К.: Наукова думка, 1976. 269 с.
14. Varina Z. 2017. Distribution atlas of vascular plants in Albania. Budapest: Hungarian Natural History Museum. 492 p.
15. Butiuc-Keul A., Suteu A., Deliu C. 2005. In vitro organogenesis of *Gentiana punctata*. *Not. Bot. Hort. Agrobot XXXIII*. Pp/ 38-41. ISSN 0255-965X
16. Danihelka J., Chrtěk J. & Kaplan Z. 2012. Checklist of vascular plants of the Czech Republic. *Preslia* 84: 647–811.
17. Evstatieva L. 2015. In: Red Data Book of the Republic of Bulgaria. Volume 1 – Plants & Fungi. [*Gentiana punctata* – The Bulgarian flora online (bgflora.net)]
18. GBIF. URL: <https://www.gbif.org/>
19. *Gentiana punctata*. Pladias: База даних чеської флори і рослинності. 2014-2023.
20. Google maps. <https://www.google.com/maps/>
21. iNaturalist. URL: <https://www.inaturalist.org/>
22. Kobiv Y., Prokopiv A., Nachychko V., Borsukevych L., Helesh M. Distribution and population status of rare plant species in the Marmarosh Mountains (Ukrainian Carpathians). *Укр. бот. журн.*, 2017, 74 (2). С. 163–176.
23. Marhold K. 2011. *Gentianaceae. Gentiana punctata* | Euro+Med-Plantbase (euoplusmed.org)
24. Meusel H. Vergleichende Chorologie der Zentraleuropäishhen flora. Jena: Fischer. 1978. Bd. II. Karten. 421 s.
25. Nikolić, T. 2020. Flora Croatica. Vaskulama flora Republike Hrvatske 3. Zagreb.
- Olaczek R. 1992. Rośliny chronione w Polsce. Liga ochrony przyrody. Warszawa. 12.
26. Plant of the Word Online. *Gentiana punctata* L. | Plants of the World Online | Kew Science. 2023-09-06.
27. UkrBIN. URL: <https://www.ukrbin.com/>

References

1. Zyman, S. M. & Tiukh, Yu. Yu. (2008). Ridkisini roslyny flory NPP «Synevyr» [Rare plants of the flora of the «Synevyr» National Nature Park]. *Fitoriznomanittia Karpat: suchasnyi stan, okhrona ta vidtvorennia: materialy mizhnar. nauk. konf., prysviachenoj 15-richchiu MNDL UzhNU [Phytodiversity of the Carpathians: current state of protection and reproduction: International research and practice conference]. Synevyr: 63-67 (in Ukr.)*.
2. Komendar, V. I. (2007). Likarski roslyny Karpat. Dykorosli ta kulturni. [*Medicinal plants of the Carpathians. Wild and cultural*]. Uzhhorod: Mystetska liniia (in Ukr.)
3. Krichfalushii, V. V., Budnikov, H. B. & Myhal, A. V. (1999). *Chervonyi spysok Zakarpattia: vydy roslyn ta roslynni uhrupovannia, shcho znakhodiatsia pid zahrozoju znyknennia [Red List of Transcarpathia: species of plants and plant communities endangered to extinction]*. Uzhhorod (in Ukr.)
4. Maiorova, O. Yu. (2014). Ekolohichni osnovy zberezhenia ridkisnykh vydiv rodu *Gentiana* L. (*G. lutea* L., *G. punctata* L., *G. acaulis* L.) flory Ukrainy Karpats [Ecological basis for conservation of rare species of the genus *Gentiana* L. (*G. lutea* L., *G. punctata* L., *G. acaulis* L.) flora of the Ukrainian Carpathians]. *Avtoreferat kandydats'koi dysertatsii [Abstract of thesis candidate's dissertation]*. Kyev (in Ukr.)
5. Maiorova, O. Yu., Hrytsak, L. R., Melnyk, V. M., Terekhova, H. I. & Drobyk, N. M. (2013). Poshyrennia i stan populiatsii *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L. ta *G. acaulis* L. v Ukrainy Karpatakh [Distribution and status of populations of *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L. and *Gentiana acaulis* L. in the Ukrainian Carpathians]. *Introduktsiia roslyn [Introduction of plants]*, 3, 21-28 (in Ukr.)
6. Malynovskyi, K. A. & Krichfalushii, V. V. (2000). *Vysokohirna roslynnist. Roslynnist Ukrainy [High mountain vegetation. Vegetation of Ukraine]*. Kyiv: Fitosotsiotsentr (in Ukr.)

7. Malynovskyi, K. A. & Krichfalushii, V. V. (2002). *Roslynni uhrupovannia vysokohiria Ukrainy Karpats [Plant communities of the highlands of the Ukrainian Carpathians]*. Uzhhorod (in Ukr.).
8. Moskaliuk, B. I. (2010). Suchasnyi stan populatsii vysokohirnykh vydiv rodu *Gentiana* L. ta naukovi osnovy yikh okhorony v Ukrainy Karpatakh [The current state of populations of alpine species of the genus *Gentiana* L. and the scientific basis of their protection in the Ukrainian Carpathians]. Avtoreferat kandydats`koi dysertatsii [Abstract of thesis candidate`s dissertation]. Kyev (in Ukr.).
9. Moskaliuk, B. I. (2016). Do vuvchennia ontomorfogenezu vysokohirnykh ridskykh vydiv *Gentiana lutea* ta *Gentiana punctata* (*Gentianaceae*) v Ukrainy Karpatakh [On the study of ontomorphogenesis of highland rare species *Gentiana lutea* and *Gentiana punctata* (*Gentianaceae*) in the Ukrainian Carpathians]. *Pryroda Karpats: naukovyi shchorichnyi Karpatskoho biosferneho zapovidnyka ta Instytutu ekolohii Karpats NAN Ukrainy [Nature of the Carpathians: Annual Scientific Journal of CBR and the Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine]*, 1. 11-16 (in Ukr.).
10. Moskaliuk, B. I. & Komendar, V. I. (2008). Vysokohirni vydy rodu *Gentiana* L. v Ukrainy Karpatakh ta naukovi osnovy yikh okhorony [Highland species of the genus *Gentiana* L. in the Ukrainian Carpathians and the scientific basis of their protection]. *Nauk. visn. Uzhhorod. Un-tu, ser. Biolohiia [Scientific bulletin of Uzhhorod University, series Biology]*, 24. 234-243 (in Ukr.).
11. Tsaryk, Y., Zhyliaiev, H., Kyiak, V. et al. (2009). *Zhyttiezdatnist populatsii roslyn vysokohiria Ukrainy Karpats [The viability of plant populations in the highlands of the Ukrainian Carpathians]*. Lviv: Merkator (in Ukr.).
12. Didukh, Ya. P. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit [Red Book of Ukraine. Plant world]*. Kyiv: Hlobalkonsalpinh (in Ukr.).
13. Chopyk, V. I. (1976). *Vysokohirna flora Ukrainy Karpats [Highland flora of the Ukrainian Carpathians]*. Kyiv: Naukova dumka, 1976 (in Ukr.).
14. Barina, Z. (2017). Distribution atlas of vascular plants in Albania. Budapest: Hungarian Natural History Museum. 492.
15. Butiuc-Keul, A., Suteu, A., Deliu, C. (2005). In vitro organogenesis of *Gentiana punctata*. *Not. Bot. Hort. Agrobot XXXIII*. P. 38-41. ISSN 0255-965X
16. Danihelka, J., Chrtek, J. & Kaplan, Z. (2012). Checklist of vascular plants of the Czech Republic. *Preslia* 84: 647-811.
17. Evstatieva, L. (2015). In: Red Data Book of the Republic of Bulgaria. Volume 1 – Plants & Fungi. [*Gentiana punctata* – The Bulgarian flora online (bgflora.net)]
18. GBIF. URL: <https://www.gbif.org/>
19. *Gentiana punctata*. Pladias: Baza danykh cheskoj flory i roslynosti. 2014-2023.
20. Google maps. <https://www.google.com/maps/>
21. iNaturalist. URL: <https://www.inaturalist.org/>
22. Kobiv, Y., Prokopiv, A., Nachychko, V., Borsukevych, L., Helesh, M. Distribution and population status of rare plant species in the Marmarosh Mountains (Ukrainian Carpathians). *Ukr. bot. zhurn. [Ukrainian botanical journal]*, 2017, 74 (2). С. 163-176.
23. Marhold, K. (2011). *Gentianaceae. Gentiana punctata* | Euro+Med-Plantbase (euoplusmed.org)
24. Meusel, H. (1978). Vergleichende Chorologie der Zentraleuropäishhen flora. Jena: Fischer. // Karten. 421 s.
25. Nikolić, T. (2020). Flora Croatica. Vaskularna flora Republike Hrvatske 3. Zagreb.
26. Plant of the Word Online. *Gentiana punctata* L. | Plants of the World Online | Kew Science. 2023-09-06.
27. UkrBIN. URL: <https://www.ukrbin.com/>

Moskaliuk B.

PhD in Biology,
Head of the Editorial and Publishing Department of Scientific and Popular Science Publications
Carpathian Biosphere Reserve
bogdanamel2@gmail.com
orcid.org/0009-0009-5344-7440

Melesh Ye.

Leading Engineer of the Scientific and Research Work and international cooperation department
evgeniamelesh1@gmail.com
orcid.org/0009-0004-3594-739X

**CURRENT DISTRIBUTION OF THE *GENTIANA PUNCTATA* L.
IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS**

*Based on the results of the analysis of our own field research, herbarium collections, data from online-resources Global Biodiversity Information System, iNaturalist, and UkrBIN, and various literature sources, we summarized the information about the distribution of the rare alpine species *Gentiana punctata* in the Ukrainian Carpathians, which is included in the Red Data Book of Ukraine. Based on this analysis, a general list of known locations and a distribution map of the studied species in the Ukrainian Carpathians were compiled. *Gentiana punctata* is a Central European subalpine species at the eastern limit of its range. The general range of *G. punctata* includes the mountains of Central and Southern Europe from 1100 to 2600 m, the Carpathians, the Tatras (up to 2450 m), and the mountains of the Balkan Peninsula, the Iberian Peninsula, Corsica, and Sardinia, and is extended to Asia Minor and India.*

*Based on the results of the analysis of the current distribution of *G. punctata* in the Ukrainian Carpathians the species occurs on Chornohora, Svydovets, the Marmarosh Alps, the Gorgany, Borzhava meadows, and is also known in the Chyvchyno-Hryniava Mountains. To date, we have recorded 68 localities of *G. punctata* in the study region, 54 of which are confirmed by herbarium collections, field data, and photographs from online resources, and the rest are based on literature data. In five localities, which is 7,4% of the total number of locations, the species is endangered or probably extinct. However, these locations require additional surveys. In particular, on the Petros and Sheshul mountains, as well as in the meadows: Rogneska and Shumneska (Chornohora) and Dragobrat (Svydovets). The largest number of localities (23 sites) in Chornohora. Somewhat fewer localities are concentrated in the Svydovets (17 sites) and in the Gorgany (17 sites) massifs. Six localities of *G. punctata* in the Chivchyn Mountains, two localities in the Borzhava massif and the Marmarosh Mountains, and one locality in the Hryniava Mountains.*

*The data obtained significantly supplement the available information on the general range and distribution of *G. punctata* in the Ukrainian Carpathians. They will be used to organize monitoring of known localities of *G. punctata*, study the status of populations and develop recommendations for its conservation.*

Key words: distribution, location, vascular plants, Red Data Book of Ukraine, protection.

**Стаття до редакції надійшла 10.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 02.06.2025 року**

УДК 633.88

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-24-24-32

Сокол О. В.

кандидат біологічних наук, науковий співробітник,
Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України
sokoloksana23@ukr.net
orcid.org/0000-0002-6297-7912

Вакуленко Т. Б.

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України
botanicukr@gmail.com
orcid.org/0000-0002-9541-4462

Джуренко Н. І.

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України
medbotanica@ukr.net
orcid.org/0000-0001-8210-445X

Паламарчук О. П.

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України
pastinacase@gmail.com
orcid.org/0000-0002-8649-6806

КАРПОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕЯКИХ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *SCUTELLARIA* L

Більшість рослин видів *Scutellaria* є однорічними або багаторічними трав'янистими рослинами які становлять інтерес завдяки своїм лікарським властивостям. У Східній Азії деякі види *Scutellaria* L. широко використовуються в традиційній медицині, особливо в Китаї, Кореї та Японії, завдяки своїм протизапальним, протівірусним та заспокійливим властивостям. Рослини роду *Scutellaria* широко поширені в Європі, США та Східній Азії. Морфологічні дослідження роду *Scutellaria* зосереджені тільки на ідентифікації квітки, тому виявленні додаткові ознаки можуть бути використані для ідентифікації рослин роду *Scutellaria*. Карпологічне дослідження роду *Scutellaria* L. показало, що їхні плоди характеризуються як спільними, так і відмінними ознаками. Так, у всіх досліджених видів еремів виявлений вентральний язичковий виступ над зародковим корінцем. У *S. ovata* він чітко окреслений з боків по всій довжині; в інших видів коротший, окреслений лише на кінці, у верхній частині згладжений. Ці ознаки можуть бути додатковими діагностичними на рівні роду. До відмінних ознак належать: форма плодів; тип рельєфу оплодня. Перелічені ознаки слід використовувати як діагностичні на видовому рівні. У рослин видів *S. galericulata* *S. brevibracteata* форма ереми широкоовальна, *S. ovata*, *S. columnae* – оберненояйцеподібна. Макрорельєф оплодня у *S. serrata*, *S. brevibracteata*, *S. subvelutina*, *S. columnae*, *S. rubicunda* – бородавчатий, у *S. galericulata* – сосочкоподібний. Підковоподібний валик навколо плодового рубчика добре виражений у *S. galericulata*, *S. columnae*, *S. rubicunda*. У *S. serrata* валик огортає рубчик повністю. Для *S. subvelutina* характерне доволі значне опушення прозорими криючими волосками, у *S. brevibracteata* та *S. columnae* криючі волоски розміщені пучками у виїмках периклінальних поверхонь бородавок. Інші види характеризуються незначним опушенням.

Ключові слова: лікарські рослини, шоломниця, насіння, плодівий рубчик, форма плодів.

Вступ. Згідно сучасної системи APG IV рослини роду *Scutellaria* L. належать до порядку *Lamiales*, родини *Lamiaceae*, підродино *Scutellarioidea*. У світовій флорі цей рід представлений близько 476 видами [1], які поширені у помірних регіонах і тропічних горах, включаючи Європу, Північну Америку та Східну Азію [2], окрім того, східне Середземномор'я та Анди служать значними центрами його видоутворення [3]. У номенклатурному списку судинних рослин України [4] рід представлений сьома видами (*S. albida* L., *S. altissima* L., *S. cretica* Juz., *S. duhia* Taliev & Sirj., *S. galericulata* L., *S. hastifolia* L., *S. heterochroa* Jux). Згідно поширення та ресурсної бази лікарських рослин в Україні рід *Scutellaria* нараховує *шість видів рослин* [5]. Сучасні фармакологічні дослідження підтвердили, що екстракти або мономерні сполуки рослин роду *Scutellaria* мають протипухлинні, гепатопротекторні, антиоксидантні, протизапальні, протисудомні, антибактеріальні та противірусні властивості [6,7,8,9].

Морфологічні дослідження роду *Scutellaria* зосереджені тільки на ідентифікації квітки. Так на родовому рівні рослини роду *Scutellaria* можна чітко ідентифікувати за чашечкою, яка має дві нерозділені губи та придаток, який складається в пряму, схожу на вітрило структуру на верхній губі [10].

Мета дослідження нашої роботи було на підставі макроморфологічного дослідження плодів представників роду *Scutellaria* надати уточнені детальні характеристики і за результатами порівняльного аналізу отриманих даних виявити додаткові карпологічні ознаки для ідентифікації таксонів роду.

Методи. Для дослідження використовували зрілі ереми семи видів *Scutellaria*: *S. galericulata* L., *S. serrata*, *S. ovata* Hill, *S. brevibracteata* Stapf, *S. subvelutina* Rech.f., *S. columnae* All., *S. rubicunda* Hornem, отримані за Міжнародною базою обміну насіння «Делектус». Дослідження карпологічних ознак проводилось за допомогою бінокулярного мікроскопа «Stemmi-2000», описи ознак наведені за загальноприйнятими методиками, обробка цифрових даних здійснена в програмі «Axio Vision». При складанні морфологічних характеристик плодів використана загальноприйнята термінологія і схема опису [11].

Результати дослідження та їх обговорення. Плід у губоцвітих – ценобій, різновид ценокарпної роздрібною коробочки, що утворюється з двочленного двогніздового гінецею. У подальшому розвивається чотиринасінний плід, що складається з чотирьох половинок двох мерикарпіїв. Кожна половинка по суті є напівмерикарпій, який для губоцвітих отримав спеціальну назву – ерем (*eremus*). Ценобій розміщений на дні чашечки, яка не опадає, і повністю нею прихований. Оскільки ценобій при дозріванні швидко розпадається, діагностичного значення при вивченні карпології губоцвітих набувають морфологічні особливості лише еремів [11, 12].

Досліджені ереми за загальним планом будови схожі з описаними раніше плодами інших видів *Scutellaria* [12].

Оплодень у досліджених видів шкаралупоподібний, крихкий, досить щільно огортає насінину, але не зростається з її екзотестою. Ереми в дорзальній проекції округлі, еліптичні чи широкоовальні. В латеральній проекції видовжені оберненояцеподібні (як правило, з розширеною верхівкою та звуженою основою), напівкулясті чи неправильно округлі. Дорзальна сторона опукла. Вентральна більш плоска, часом ввігнута, з язичкоподібним виступом посередині, де розміщений добре розвинений виступаючий зародковий корінець. Це позначається на структурі оплодня, котрий, піднімаючись над корінцем, утворює широкий язичковий виступ, що простягається від вершини до основи. Довжина та ширина виступу корелюють з розмірами зародкового корінця [12]. Наявність язичкового виступу в центрі вентральної сторони зумовлює овально-тупо-тригранну проекцію еремів на поперечному зрізі. Плодовий рубчик вентральний, розміщений на піднятому базальному кінці язичкового виступу. Макрорельєф еремів бородавчастий або горбкуватий, сформований як поверхневими шарами оплодня (екзокарпом), так і глибинними (мезо- та ендокарпом).

Насіннева оболонка більш-менш щільно прилягає до оплодня, але не зростається з ендокарпом рудувато-коричнева, плівчата, доволі редукована, без помітної диференціації, що характерно для однонасінних нерозкривних плодів, у яких функції, пов'язані із захистом зародка та розповсюдженням насіння, покладаються переважно на оплодень.

Ереми *S. galericulata* широкоовальні, ледь сплющені у дорзально-вентральній площині, завдовжки 1,23–1,33 мм, завширшки 1,09–1,17 мм.

Дорзальна сторона широкоокругла, випукла. Вентральна сторона доволі опукла. Язичковий виступ округлий, слабко окреслений з боків, звужується до основи й сягає половини довжини ерему. На його кінці добре помітний виступаючий округлий плодовий рубчик, оточений з базального боку вузьким слабко помітним валиком. Макрорельєф утворений видовженими (0,05–0,1 мм завдовжки) сосочками з округлою верхівкою, між якими густо розміщені прозорі округлі залозисті трихоми. Навколо плодового рубчика сосочки коротші та дрібніші. Поверхня матова, забарвлення жовтувато-коричнева або солом'яна (рис. 1).



Рис. 1. Ерему *S. galericulata*

Ереми *S. serrata* яйцеподібні, завдовжки 1–,812,09 мм, завширшки 1,64–1,74 мм, верхівка злегка звужена, основа розширена. Дорзальна та вентральна сторони опуклі. Язичковий виступ у верхній частині не очерчений, його базальний кінець піднятий над поверхнею ерему. Плодовий рубчик білуватий, округлий, оточений широким піднятим валиком, що повністю його огортає. Поверхня матова, бородавчаста. На спинці бородавки різного розміру, 4–6, зрідка 3-гранні при основі з вентрального боку навколо рубчика бородавки більш видовжені, часто сосочко подібні. При використанні нами збільшення помітні лише поодинокі криючі та залозисті трихоми. Забарвлення сіро- чи зеленувато-коричневе (рис. 2).



Рис. 2. Ерему *S. serrata*

Ереми *S. ovata* оберненояйцеподібні, завдовжки 1,29–1,55 мм, завширшки 1,0–1,27 мм. Верхівка округла, ледь звужена. Дорзальна сторона опукла. Вентральна – ввігнута, посередині з округлим язичковим виступом. Виступ розширений в апікальній частині плоду, в базальній – трохи звужений, з боків по всій довжині чітко окреслений глибокими борозенками. Плодовий рубчик розташований на базальному піднятому кінці виступу, слабо помітний, округлий, заглиблений. Поверхня матова, з короткими прозорими криючими трихомами та головчастими залозистими. З дорзальної сторони бородавки 5–6 гранні, приплюснуті, з невеличким округлим горбчком посередині, рідко з виїмкою. З вентрального боку навколо язичкового виступу бородавки більш видовжені, часто сосочкоподібні. Вздовж бічних граней бородавки часто зливаються між собою, утворюючи доволі широку окантовку, що оперізує ерем по периметру. Валик навколо рубчика не виражений. Забарвлення коричневе, рудувато-коричневе, екзотеста між бородавками темніша, темно-коричнева чи майже чорна (рис. 3).



Рис. 3. Ерему *S. ovata*

Ереми *S. brevibracteata* широко-овальні, округлі з усіх боків, завдовжки 1,7–1,91 мм, завширшки 1,4–1,5 мм. Спинка широкоовальна. Вентральна сторона без виражених граней. Язичковий виступ короткий, з боків чітко не окреслений, його базальний кінець припіднятий. Плодовий рубчик округлий, виступаючий. оточений знизу вузьким підковоподібним валиком. Поверхня матова, бородавчаста. бородавки в основі 4–5–8-гранні, зверху ледь приплюснуті, із заглибинами посередині, в яких розміщені кілька коротких прозорих криючих волосків. Такі ж волоски можуть бути розміщені і між бородавками, проте опушення помірне. Забарвлення чорне, плодовий рубчик та валик рудувато-чорний (рис. 4).

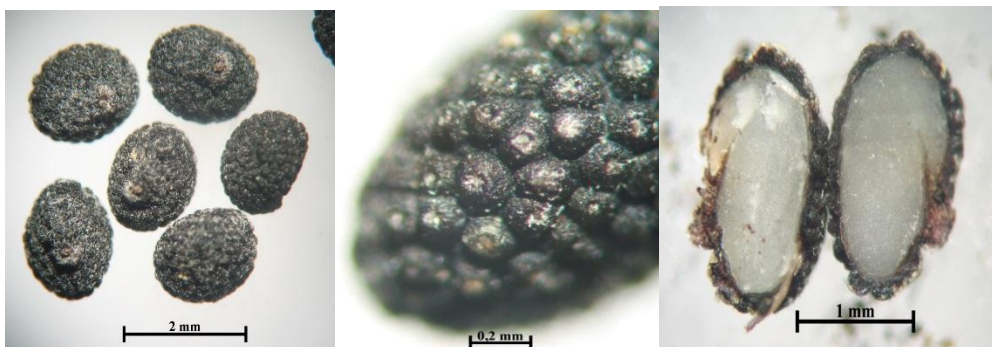


Рис. 4. Ерему *S. brevibracteata*

Ереми *S. subvelutina* округлі, завдовжки 1,82–1,95 мм, завширшки 1,45–1,65 мм. Верхівка та основа широкоокруглі. Дорзальна сторона опукла, вентральна – ледь ввігнута. Язичковий виступ слабо очерчений, його нижня частина піднята над поверхнею ерему, з виступаючим округлим плодовим рубчиком на кінці. Пілковоподібний

валик, що оточує знизу рубчик, доволі широкий, опуклий, але через опушення проглядається не завжди. Поверхня матова. Макрорельєф бородавчастий, бородавки в основі 5-6 гранні або округлі, з виїмкою по центру. Ереми опушені значною кількістю прозорих криючих волосків різної довжини, які розташовуються у виїмках бородавок та на латеральних поверхнях. Зрідка помітні залозисті головчасті трихоми. Забарвлення майже чорне (рис. 5).

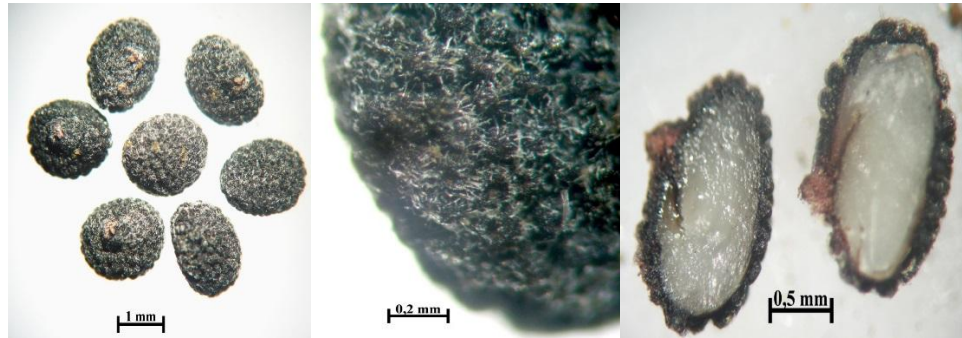


Рис. 5. Ерему *S. subvelutina*

Ереми *S. columnae* обернено яйцеподібні, завдовжки 1,26–1,52 мм, завширшки 1,03–1,17 мм. Верхівка округло звужена, основа ледь розширена. Дорзальна сторона опукла, вентральна – більш пряма. Язичковий виступ добре виражений, розширений зверху, звужений до основи, з боків різко очерчений глибокими борозенками, його нижня частина піднята над поверхнею ерему, з виступаючим округлим плодовим рубчиком на кінці, оточеним знизу нешироким опуклим валиком підковоподібної форми. Поверхня матова. Макрорельєф бородавчастий, бородавки в основі 5-6 гранні, з приплюснутою периклінальною поверхнею, по центру якої знаходиться заглиблення з пучечком прозорих криючих волосків. Забарвлення коричневе, темно-коричневе до майже чорного (рис. 6).

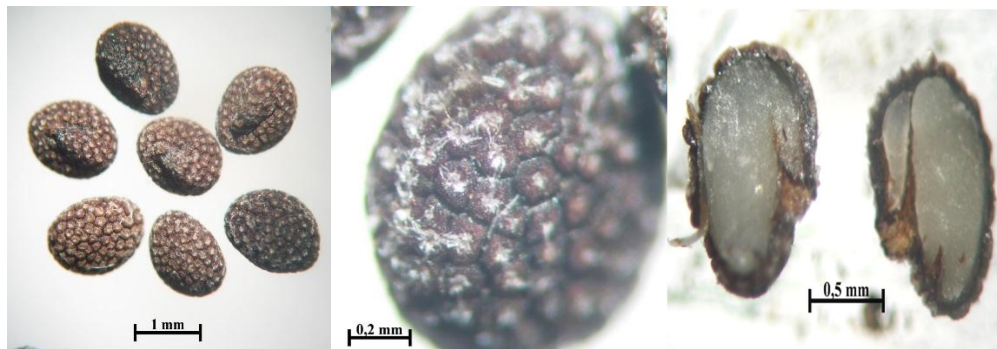


Рис. 6. Ерему *S. columnae*

Ереми *S. rubicunda* еліптичні, завдовжки 1,88–2,10 мм, завширшки 1,35–1,59 мм. Дорзальна та вентральна сторони слабо опуклі. Язичковий виступ у верхній частині очерчений слабо, його базальна частина ледь припіднята над поверхнею ерема. Поверхня матова, бородавчата. Бородавки 4–6 кутні в основі, приплюснуті, на спинці майже ізодіаметричні, навколо ячкового виступу часто видовжені, ромбічні. Периклінальна поверхня бородавок часто з невеличким крапкоподібним заглибленням посередині. Поверхня майже гола, зрідка трапляються поодинокі криючі та залозисті трихоми. Забарвлення світло-коричневе (рис. 7).

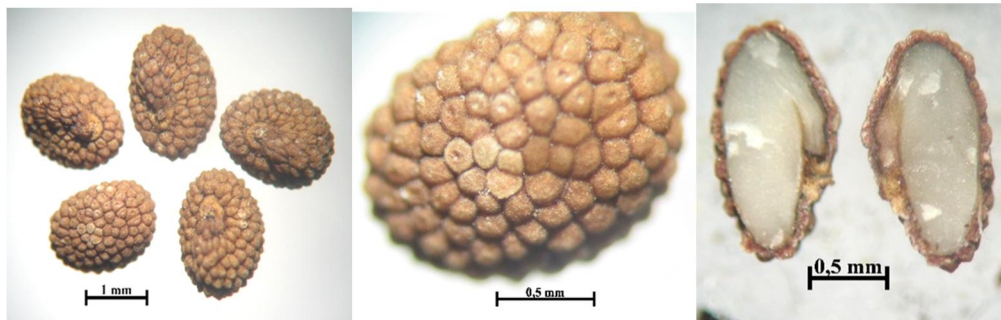


Рис. 7. Ерему *S. rubicunda*

В результаті дослідження виявлено комплекс діагностичних ознак, що можуть мати важливе значення при розмежуванні видів.

I. За формою ереми:

A – широкоовальні (*S. galericulata* *S. brevibracteata*),

B – оберненояйцеподібні (*S. ovata*, *S. columnae*),

C – еліптичні (*S. rubicunda*),

D – округлі (*S. subvelutina*).

II. За характером макрорельєфу оплодня:

A – бородавчастий (*S. serrata*, *S. brevibracteata*, *S. subvelutina*, *S. columnae*, *S. rubicunda*),

B – сосочко подібний (*S. galericulata*),

C – змішаний (*S. ovata*).

У всіх досліджених видів еремів виявлений вентральний язичковий виступ над зародковим корінцем. у *S. ovata* він чітко окреслений з боків по всій довжині; в інших видів коротший, окреслений лише на кінці, у верхній частині згладжений.

Підковоподібний валик навколо плодового рубчика добре виражений у *S. galericulata*, *S. columnae*, *S. rubicunda*. У *S. serrata* валик огортає рубчик повністю. Для *S. subvelutina* характерне доволі значне опушення прозорими криючими волосками, у *S. brevibracteata* та *S. columnae* криючі волоски розміщені пучками у виїмках периклінальних поверхонь бородавок. Інші види характеризуються незначним опушенням.

Висновки. Отримані дані можуть бути використані для вирішення спірних питань систематики, сприяти встановленню закономірностей спеціалізації плодів представників роду *Scutellaria*.

Література

1. Kew Royal Botanic Gardens / Plants of the World Online. *Scutellaria* L. [Electronic resource]. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/um:lsid:ipni.org:names:30003498-2>. (access date 09.03.2025)
2. Bruno M., Piozzi F., & Rosselli S. Natural and hemisynthetic neoclerodane diterpenoids from *Scutellaria* and their antifeedant activity. *Natural Product Reports*, 19(3), 2002. 357-378. <https://doi.org/10.1039/B111150G>
3. Akbarova Mukhayyo Khusanovna. (2024). Analysis of areal types of species of the genus *Scutellaria*, distributed in the flora of the Ferghana Valley. *Web of Agriculture: Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2(12), 23–28. Retrieved from <http://webofjournals.com/index.php/8/article/view/2422>
4. Федорончук М. М. (2021). Чекліст флори України. 1: родина Lamiaceae (Lamiales, Angiosperms). *Chornomorski botanical journal*, 18(1), 5–27. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2022-18-1-1> DOI:10.32999/ksu1990-553X/2022-18-1-1
5. Мінарченко В. М. Лікарські судинні рослини України (медичне та ресурсне значення). Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 324 с.

6. Sato Y., Suzaki S., Nishikawa T., Kihara M., Shibata H., Higuti T. Phytochemical flavones isolated from *Scutellaria barbata* and antibacterial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *J Ethnopharmacol.* 2000;72(3):483–8. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00265-8](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00265-8)
7. Dong Q., Chu F., Wu C., Huo Q., Gan H., Li X. *Scutellaria baicalensis* Georgi extract protects against alcohol-induced acute liver injury in mice and affects the mechanism of ER stress. *Mol Biol Evol.* 2016;13:3052–62. <https://doi.org/10.3892/mmr.2016.4941>.
8. Jia-Wen Song, Jia-Ying Long, Long Xie, Lin-Lin Zhang, Qing-Xuan Xie, Hui-Juan Chen, Mao Deng & Xiao-Fang Li Applications, phytochemistry, pharmacological effects, pharmacokinetics, toxicity of *Scutellaria baicalensis* Georgi. and its probably potential therapeutic effects on COVID-19 *Chin Med* (2020) 15:102 <https://doi.org/10.1186/s13020-020-00384-0>
9. Shen J., Li P., Liu S., Liu Q., Li Y., Sun Y., Xiao P. Traditional uses, ten-years research progress on phytochemistry and pharmacology, and clinical studies of the genus *Scutellaria*. *Journal of Ethnopharmacology*, 265, 2021. 113198.
10. Pool A. (2006). New species of *Scutellaria* (Lamiaceae) from Mesoamerica. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature*, 16(3), 2006. 388-403.
11. Зиман С. М., Мосякін С. Л., Булах О. В., Царенко О. М., Фельбаба-Клушина Л. М. Ілюстрований довідник з морфології квіткових рослин: Навч. посібник. Ужгород, 2004. 82 с.
12. Коваль І. В., Вакуленко Т. Б. Порівняльна карпология видів роду *Scutellaria* L. (Lamiaceae) // Scientific development of Ukraine and EU in the area of natural sciences: collective monograph. Part 2 / Cuiavian University in Wloclawek, Institute of irrigated agriculture of NAAS of Ukraine. Riga: Baltija Publishing, 2020. pp. 393–411 . ISBN 978-9934-588-73-0. <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/2.1>

Referenses

1. Kew Royal Botanic Gardens / Plants of the World Online. *Scutellaria* L. [Electronic resource]. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/um:lsid:ipni.org:names:30003498-2>. (access date 09.03.2025) [in English].
2. Bruno M., Piozzi F., & Rosselli S. (2002). Natural and hemisynthetic neoclerodane diterpenoids from *Scutellaria* and their antifeedant activity. *Natural Product Reports*, 19(3), 357-378. <https://doi.org/10.1039/B111150G> [in English].
3. Akbarova Mukhayyo Khusanovna. (2024). Analysis of areal types of species of the genus *Scutellaria*, distributed in the flora of the Ferghana Valley. *Web of Agriculture: Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2(12), 23–28. Retrieved from <http://webofjournals.com/index.php/8/article/view/2422> [in English].
4. Федорончук М. М. (2021). Чекліст флори України. 1: родина Lamiaceae (Lamiales, Angiosperms). *Chornomorski botanical journal*, 18(1), 5–27. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2022-18-1-1> [in Ukrainian].
5. Minarchenko V. M. (2005). *Likarski sudynni roslyny Ukrainy (medychne ta resursne znachennia)*. (Medicinal vascular plants of Ukraine (medical and resource value). Kyiv: Fitosotsiotsentr, 324 с. [in Ukrainian].
6. Sato Y., Suzaki S., Nishikawa T., Kihara M., Shibata H., Higuti T. (2000). Phytochemical flavones isolated from *Scutellaria barbata* and antibacterial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *J Ethnopharmacol.* 72(3):483–8. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00265-8](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00265-8) [in English].
7. Dong Q., Chu F., Wu C., Huo Q., Gan H., Li X. (2016). *Scutellaria baicalensis* Georgi extract protects against alcohol-induced acute liver injury in mice and affects the mechanism of ER stress. *Mol Biol Evol.* 13:3052–62. <https://doi.org/10.3892/mmr.2016.4941>. [in English].
8. Jia-Wen Song, Jia-Ying Long, Long Xie, Lin-Lin Zhang, Qing-Xuan Xie, Hui-Juan Chen, Mao Deng & Xiao-Fang Li (2020). Applications, phytochemistry, pharmacological effects, pharmacokinetics, toxicity of *Scutellaria baicalensis* Georgi. and its probably potential therapeutic effects on COVID-19 *Chin Med* 15:102 <https://doi.org/10.1186/s13020-020-00384-0> [in English].

9. Shen J., Li P., Liu, S., Liu Q., Li Y., Sun Y., Xiao P. (2021). Traditional uses, ten-years research progress on phytochemistry and pharmacology, and clinical studies of the genus *Scutellaria*. *Journal of Ethnopharmacology*, 265, 113198. [in English].

10. Pool A. (2006). New species of *Scutellaria* (Lamiaceae) from Mesoamerica. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature*, 16(3), 388-403. [in English].

11. Zyman C. M., Mosiak S. L., Bulakh O. V., Tsarenko O. M., Felbaba-Klushyna L. M. (2004). Iliustrovanyi dovidnyk z morfolohii kvitkovykh roslin (Illustrated guide to the morphology of flowering plants). Uzhhorod, 82 c. [in Ukrainian].

12. Koval I. V., Vakulenko T. B. (2020). Porivnialna karpolohiia vydiv rodu *Scutellaria* L. (Lamiaceae) (Comparative carpology of species of the genus *Scutellaria* L. (Lamiaceae)) Scientific development of Ukraine and EU in the area of natural sciences: collective monograph. Part 2 / Cuiavian University in Wloclawek, Institute of irrigated agriculture of NAAS of Ukraine. Riga: Baltija Publishing, pp. 393–411. ISBN 978-9934-588-73-0. <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/2.1> [in Ukrainian].

Sokol O.

Candidate of Biological Sciences, Research,
M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine,
sokoloksana23@ukr.net
orcid.org/0000-0002-6297-7912

Vakulenko T.

Candidate of Biological Sciences,
Senior Research,
M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine,
botanicukr@gmail.com
orcid.org/0000-0002-9541-4462

Dzhurenko N.

Candidate of Biological Sciences, Senior Research,
M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine,
medbotanica@ukr.net
orcid.org/0000-0001-8210-445X

Palamarchuk O.

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine,
pastinacase@gmail.com
orcid.org/0000-0002-8649-6806

CARPOLOGICAL STUDIES OF SOME REPRESENTATIVES OF THE GENUS *SCUTELLARIA* L

The genus Scutellaria has about 476 species, which are distributed in temperate regions and tropical mountains, including Europe, North America and East Asia. In East Asia, some species of Scutellaria L. are widely used in traditional medicine, especially in China, Korea and Japan, due to their anti-inflammatory, antiviral and sedative properties. Morphological studies of the genus Scutellaria have focused only on the identification of the flower, so the discovery of additional characters can be used to identify plants of the genus Scutellaria. Carpological studies of the genus Scutellaria L. have shown that their fruits are characterized by both common and distinctive features. Thus, in all studied species of skullcap, a ventral ligule protrusion above the germinal root was found. In S. ovata, it is clearly outlined laterally along its entire length; in other species, it is shorter, outlined only at the tip, and smoothed in the upper part. These characters can be additional diagnostic at the genus level. Distinctive characters include: fruit shape; type of

pericarp relief. The listed characters should be used as diagnostic at the species level. In plants of the species S. galericulata S. brevibracteata the shape of the erema is broadly oval, S. ovata, S. columnae – obovate. The macrorelief of the pericarp in S. serrata, S. brevibracteata, S. subvelutina, S. columnae, S. rubicunda – warty, in S. galericulata – papillary. The horseshoe-shaped roller around the fruit scar is well expressed in S. galericulata, S. columnae, S. rubicunda. In S. serrata the roller completely envelops the scar. S. subvelutina is characterized by a rather extensive pubescence with transparent covering hairs, in S. brevibracteata and S. columnae the covering hairs are arranged in tufts in the recesses of the periclinal surfaces of the warts. Other species are characterized by a slight pubescence.

Key words: medicinal plants, Scutellaria, seeds, fruit scar, fruit shape.

**Стаття до редакції надійшла 19.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 17.06.2025 року**

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

УДК 581.132

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-33-42

Броннікова Л. І.^{1,2}

Аспірант кафедри фізіології та інтродукції рослин

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Молодший науковий співробітник відділу генетичної інженерії

²Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

Zlenko_lora@ukr.net

orcid.org/0000-0002-8103-0548

**ВПЛИВ ЗАСОЛЕННЯ НА СКЛАД ХЛОРОФІЛІВ У РОСЛИН ТЮТЮНУ,
ОТРИМАНИХ КЛІТИННОЮ СЕЛЕКЦІЄЮ З ІОНАМИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ**

Засолення гальмує життєдіяльність рослини, змінює його в процесі онтогенезу. Початкові стадії визначають характеристики інтегрального метаболізму, дозволяють розрізняти генотипи за рівнем стрес-стійкості. Метою експерименту був аналіз реакцій генотипів тютюну на модельоване засолення.

60-ти добові рослини тютюну генотипів Самсун і Дюбек були отримані методом клітинної селекції з катіонами Ba^{2+} і Cd^{2+} . Вони являли собою насіннєві покоління R1 і R2 регенерантів R0 стійких клітинних ліній і тестувались у водному розчині за умов модельованого засолення. Стрес створювали додаванням природної комплексної речовини – солей морської води, 20,0 г/л, а також чистих сполук – NaCl або Na_2SO_4 . Їхня концентрація містила однакову кількість токсичного катіону Na^+ і відрізнялась величиною осмотичної складової стресу. Для оцінки впливу модельованого засолення було обрано показники якісного та кількісного складу зелених хлорофілів a і b. Хлорофіліа і b та їхнє співвідношення $Chla/Chlb$ є динамічними параметрами, залежними від впливу оточуючих факторів. Вони фіксують зміни активності систем синтезу в широкому діапазоні хвиль поглинання. Стійкість тестованих форм тютюну проявлялась на 3-тю добу у формі амплітудних флуктуацій, характерних для генотипу. Стійкі форми відзначались синхронними генотипово обумовленими модифікаціями, а саме: зміщенням співвідношення $Chla/Chlb$ бік підвищеної акумуляції хлорофілу b. При цьому така тенденція проявлялась в рослинах обох насіннєвих поколінь. У контрольних варіантів спостерігали індивідуальні неупорядковані дії. Переваги довільних якісних і кількісних даних були проявом патологічного процесу.

Отже, клітинна селекція з іонами Ba^{2+} і Cd^{2+} є креативною системою для виділення генетично змінених форм тютюну із підвищеним рівнем стійкості до засолення. Селективна ознака експресується як на клітинному рівні, так і у інтактних рослин.

***Ключові слова:** тютюн, клітинна селекція з іонами барію, Ba^{2+} і кадмію, Cd^{2+} , засолення, стійкість.*

Вступ. Абіотичні стреси довкілля спричиняють широкий шкодочинний вплив на генофонд всієї планети. Одним із найбільш різноспрямованих факторів є засолення [1, 2]. Воно може бути первинним в окремих типах ґрунтів або вторинним. Останнє особливо небезпечне, оскільки виникає внаслідок господарської діяльності людини, є непрогнозованим за якісним та кількісним складом і темпом поширення. З огляду на це особливо актуальним є моделювання та порівняльні дослідження різних типів засолення. Загальновідомим фактом є ступінь стійкості рослин до засолення. У широкому спектрі генотипи розподіляються від глікофітів (дуже чутливі) до галофітів – солестійких. Типовим глікофітом є тютюн (*Nicotana tabacum* L.). Тютюн посідає виняткове місце серед рослин. Ця рослина є важливою непродовольчою культурою за матеріальним внеском [3, 4]. З теоретичної точки зору цю рослину поряд із арабідопсисом залучають як модельний об'єкт при дослідженні фізіологічних, біохімічних, молекулярно-біологічних показників життєдіяльності за нормальних умов, а також за дії біотичних та абіотичних стресів [5, 6]. В той же час на противагу арабідопсису тютюн не має природного аналогу за рівнем стрес-стійкості. Тому порівняльні дослідження із залученням тютюну коректні при використанні аналогових рослинних систем, отриманих із рослин дикого типу.

Методом клітинної селекції були отримані генетично змінені форми *Nicotiana tabacum* L. Цей метод передбачає послідовну низку маніпуляцій, спрямованих на виділення об'єкту інтересу.

Ключовим моментом загального протоколу методу є створення селективної системи із токсичним чинником заздалегідь запрограмованої дії. Нами вперше запропонована та практично опрацьована гіпотеза про можливість використання деяких іонів важких металів (IBM) для отримання клітинних ліній рослин, стійких до осмотичних стресів – засолення та водного дефіциту. З огляду на певні фізіологічні властивості були обрані катіони барію, Ba^{2+} і кадмію, Cd^{2+} [7, 8]. Були виділені стійкі до цих іонів клітинні лінії тютюну. При тестуванні (вирощуванні) в умовах прямої дії осмотичних стресів клітинні культури росли та розвивались. В подальшому із стійких клітинних варіантів були регенеровані рослини R0.

Із рослин регенерантів R0 були отримані насіннєві покоління R1 і R2, які були об'єктами дослідження. Нерідко рослини, отримані методом клітинної селекції, не відзначаються характеристиками клітинної культури. В іншому разі показники є властивістю інтактною рослини. Це стосується комплексу пігментів фотосинтезу, особливо хлорофілів *a* і *b* – Chla, Chlb.

Встановлено, що кількісний та якісний склад пігментів обумовлений функціональним станом організму рослин, котрий, у свою чергу, залежить від зовнішнього впливу – нормальні умови (н.у.) vs стрес.

З огляду на це **метою дослідження було** вивчення динаміки акумуляції хлорофілів *a* і *b*, *a/b*–співвідношення в листках експериментальних рослин тютюну за умов модельованого засолення різного складу, а також порівняння активності синтезу пігментів у різних насіннєвих поколіннях.

Методика проведення експерименту охоплює декілька незалежних напрямків. Першим етапом був відбір насіння. Суміш насіння декількох рослин згідно правил зберігається у сухому вигляді для запобігання псуванню. Для досліду насіння тонким шаром розкладали на зволоженому дистильованою водою фільтрувальному папері при звичайному освітленні та кімнатній температурі. За таких умов насіння витримувалось впродовж 60 діб. За цей період молоді рослини формували вегетативні органи – кореневу систему та хлорофілоносні наземні органи. Оскільки розмір рослин потребував попередження механічних ушкоджень, то рослини вертикально розміщували у спеціальних ємностях із рідкою водно-ґрунтовою суспензією. Після завершення пророщування (60-та доба) проростки аналогічного розміру переносили на 3 доби на водний розчин солей різного складу та концентрації.

Модельне засолення створювали додаванням солей морської води (морська сіль) 20,0 г/л. Морська сіль за хімічним складом є сульфатно-хлоридним засоленням із додатковим включенням ряду інших мінерних іонів. Морська сіль найбільш адекватно імітує природне засолення. Для отримання спеціальної інформації були обрані чисті сполуки, а саме: хлорид натрію (NaCl) і сульфат натрію (Na₂SO₄). Це робилось із наступною метою. До цього часу дискутується питання про пріоритетність впливу засолення – осмотичне навантаження або токсична дія катіонів натрію (Na⁺). В цьому разі порівнянню підлягала лише осмотична складова.

Після витримування за стресових умов із дослідних рослин відокремлювались висічки хлорофіловмісних тканин однакового розміру. З урахуванням загальної маси їх переносили у пробірки, заливали однакоим об'ємом диметилсульфоксиду (ДМСО) та витримували без освітлення до повного екстрагування пігментів (обезбарвлення тканин). По закінченню екстрагування процес зупиняли нагріванням. Після охолодження з кожної пробірки відбирали рівні об'єми рідини для встановлення розведення. В нашому досліді воно склало 1:5 (V/V). Після проведення розведення аналітичної суміші з кожної пробірки відбирали ідентичні за об'ємом проби у кювету для визначення пігментів.

Вимірювання та аналіз зелених пігментів організовували за методом A.Wellburn, 1994 [9]. Серед чисельних методів було обрано саме його. Суть цього методу полягає у створенні сольвентної системи, котра водночас є системою вимірювання. У такий спосіб втрати практично відсутні. Серед досліджених автором розчинників найбільші переваги має ДМСО, оскільки без наведених помилок спрацьовує у широкому діапазоні хвиль поглинання. Даний факт є вельми коректним при визначенні хлорофілів *a* і *b*, для яких застосовуються хвилі різної довжини. Додатковим позитивом ДМСО є його безпека для вимірювача [10].

Пігменти вимірювали на аналітичному приладі SPECORD – 200 (Німеччина). Дане устаткування оснащено спеціальним пакетом програм для автоматичного нівелювання стандартних відхилень, які завжди мають місце при порівняльному вимірюванні кількісних параметрів біологічних повторюваностей (похибки методу та похибки окремої проби). Тому дані таблиць, котрі наводяться у тексті, є автоматично обробленими програмою приладу.

Результати аналізу пігментів викладено у таблицях. Хлорофіл *a*, Chl *a* вимірювався при довжині хвилі поглинання 480 нм та 649 нм; хлорофіл *b* – 665 нм почергово в одній пробі.

Характерні індивідуальні особливості структури і функції хлорофілів *a* і *b* наразі встановлені. Так, хлорофіл *a* є основним пігментом. Він головним чином поглинає опромінення у оранжевій і фіолетово-голубій областях спектру. Як складова антенного комплексу він передає резонансну енергію допоміжним хлорофілам, а саме хлорофілу *b* [11 - 13]. Цей пігмент поглинає світло переважно у синій частині спектру, оскільки забарвлений у жовто-зелений колір. Форми хлорофілів різняться за типом групи замісника, а саме: в структурі хлорофілу *a* розташована метильна група, а в другому випадку – альдегідна. Співвідношення Chl*a*/Chl*b*, як 3:1, як правило порушується при зниженні вмісту азоту у листових хлорофілоносних тканинах. Ця подія виникає як результат несприятливого впливу зовнішніх факторів на активність синтезу пігментів. Табличні дані відтворюють пігментний статус рослин тютюну за дії модельованого засолення; генотипи Самсун і Дюбек. Дані представлені з урахуванням маси хлорофілоносних тканин і розведення. Чисельні показники заокруглені до четвертого знаку.

Таблиця 1 представляє параметри рослин дикого типу (контроль); солі морської води, 20,0 г/л.

Таблиця 1

Вміст хлорофілів *a* і *b* в рослинах дикого типу за дії короткочасного модельованого засолення; солі морської води, 20,0 г/л.

Генотипи	Варіанти	Форми пігментів		
		Chla	Chlb	Chla+b
Самсун, К	1	1,1533	0,4799	1,6333
	2	1,1491	0,4633	1,6124
	3	0,9749	0,2997	1,2746
Дюбек, К	1	1,3366	0,5538	1,9004
	2	1,3063	0,5545	1,8608
	3	1,3339	0,5301	1,8641

Тиск жорсткого засолення проявлявся вже на третю добу – співвідношення Chla\Chlb, як 3:1 порушено у рослин дикого типу. Відмічено різницю між генотипами, а саме: у генотипу Самсун спостерігали певні флуктуації вмісту хлорофілу *b*. У генотипу Дюбек цього на той час не відбувалось. На нашу думку цей факт може свідчити на користь розбалансування систем синтезу пігментів у рослин Самсун, що проявлялось у перевазі індивідуальних неупорядкованих змін над генотиповим спрямуванням.

Серед недоліків методу клітинної селекції вище ми вказували на відсутність експресії характеристики клітинної лінії у інтактної рослини. Тому, ми аналізували вміст пігментів у насінневих поколіннях R1 і R2. Отримані числові показники були ідентичними як для генотипу Самсун так і для генотипу Дюбек. Тобто генотипової різниці не проявлялось. Тому, в **таблиці 2** ми обмежились наведенням лише параметрів генотипу Самсун.

Таблиця 2

Вміст хлорофілів *a* і *b* в рослинах тютюну, отриманих методом клітинної селекції з іонами важких металів, за дії короткочасного модельованого засолення, солі морської води; 20,0 г/л

Генотипи, покоління	Варіанти	Форми пігментів		
		Chla	Chlb	Chla+b
Самсун, R1	1	0,6439	0,2967	0,9405
	2	0,7090	0,3001	1,0100
	3	0,5120	0,2252	0,7372
Самсун, R2	1	0,7716	0,3659	1,1374
	2	0,7445	0,3429	1,0873
	3	0,7321	0,3278	1,0599

Аналіз отриманих показників може вказувати на зміну характеру функціонування біологічного об'єкту. Підтверджується динамізм організації процесів синтезу хлорофілів та їх відображення на акумуляції пігментів.

Навіть короткочасний тиск засолення викликав порушення співвідношення Chla/Chlb = 3:1. Можливо це було наслідком збільшення активності системи синтезу хлорофілу *b*, оскільки ця форма входить у світлозбиральний комплекс фотосистеми II [13]. Різниці у формуванні пігментного статусу між рослинами R1 і R2 не відмічали, що на нашу думку, може вказувати на системне (упорядковане) спрямування реакцій. Причому цей тренд зберігався у поколіннях досліджуваних форм. Так, співвідношення Chla\Chlb у R2 рослин генотипу Самсун (в таблиці 2) було порядку ~ 2, аналогічні показники були отримані і для генотипу Дюбек.

Додатковим аргументом на користь цього припущення може бути інформація про спосіб виділення стійкої клітинної лінії. Так, до процедури клітинної селекції були залучені катіони Va^{2+} та Cd^{2+} . Їхні властивості суттєво відрізняються.

За н.у. метаболізм (функціонування) інтактної рослини залежить від осмотичного потенціалу, величина якого змінюється в границях рослини, а саме: в кореневій зоні потенціал перебуває на рівні $-0,5 \sim -1,0$ мПа. Такий стан обумовлює транспорт води та мінеральних осмотично активних сполук. Останні акумулюються в вакуолях клітин, вони є продуктом інтегрального метаболізму. В загальному випадку величина осмотичного потенціалу залежить від температури та інтенсивності освітлення.

З іншого боку ступінь інсоляції впливає на активність систем синтезу хлорофілів *a* і *b* та співвідношення $Chla/Chlb$. Таким чином, виникає координація осмос – інсоляція. Оскільки осмотичний потенціал водних розчинів завжди від'ємний із збільшенням концентрації цей параметр знижується.

Зрозуміло, що засолення суттєво впливає на транспорт вологи. З огляду на це були створені модельні системи, котрі мали однакову концентрацію токсичних іонів Na^+ . Для цього залучались чисті речовини $NaCl$ і Na_2SO_4 . За нашим припущенням такі модельні системи спрямовані на визначення ролі первинного модератора осмотичного тиску. Невеликий термін впливу (3 доби) мінімально торкався переміщення аніонів Cl^- і SO_4^{2-} [4].

Як відомо, при засоленні токсичні катіони Na^+ заміщують в клітинах фізіологічно актуальні катіони K^+ (витискують назовні де вони можуть зв'язуватись з аніонами Cl^- та SO_4^{2-}) [14].

Аналіз показників пігментів в таблиці 3 виявив певні аналогії між генотипами. По-перше, відзначаються динамічні коливання, незалежні від типу чистої сполуки. По-друге, співвідношення $Chla/Chl b$ зміщено в бік хлорофілу *b*.

Таблиця 3

Вміст хлорофілів *a* і *b* в експериментальних рослинах тютюну генотипів Самсун і Дюбек за дії короточасного засолення, створеного однаковою кількістю катіонів натрію Na^+

Генотип, чиста сполука	Варіанти	Форми пігментів		
		Chla	Chlb	Chla+b
Самсун, NaCl	1	1,1442	0,4368	1,5810
	2	1,0018	0,3822	1,3839
	3	0,9964	0,4022	1,3486
Самсун, Na ₂ SO ₄	1	3,1266	1,0178	2,1443
	2	2,5025	0,9932	3,3956
	3	2,5687	0,9766	3,5452
Дюбек, NaCl	1	1,8393	0,7111	2,5504
	2	1,0098	0,3889	1,3987
	3	0,8921	0,3502	1,2423
Дюбек, Na ₂ SO ₄	1	2,1455	0,7495	2,8950
	2	1,8841	0,7234	2,6063
	3	1,7212	0,6602	2,3814

Є літературні дані, в яких відмічено наявність суттєвих коливань хлорофілів. Так О.Присяжнюк і І.Коровко, 2015 зафіксували такі події у цукрових буряків на різних стадіях онтогенезу. У першій половині вегетації у листках переважав синтез хлорофілу *b*, тоді як у другій половині, навпаки, хлорофілу *a* [15]. В іншій публікації відзначалося залежність розподілу пігментів в залежності від фізіологічного спрямування певних органів [16].

Отже, явище зміни складу - співвідношення хлорофілів є проявом динамічного спрямування загального метаболізму.

Таким чином, на нашу думку, коливання чисельних показників (варіантів в межах генотипу) можливо є швидкою реакцією на тиск стресового чинника. Подібні факти отримані при дослідженні рослин сосни різного ступеня ураження грибним патогеном соснового вертуна. Так, співвідношення між зеленими та жовтими пігментами знижувалася в межах 10,5 ~ 22, % при зростанні масштабів грибного патогенезу [17].

У такий спосіб можуть проявлятися як особливості дискретного пігменту, так і інтегральні показники пігментного статусу.

Н.Левчик із співав., 2023 визначали вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів а також співвідношення вмісту пігментів між собою. Дане вимірювання дозволило зробити висновок про особливість фотосинтетичної та метаболічної активності рослин. Зміна співвідношення пігментів може бути пов'язана з проявом стресової відповіді на біотичні та абіотичні чинники. Екстракція ДМСО при температурі 65°C з подальшою фотометрією на трьох довжинах хвиль 480, 649, 665 нм дозволила провести надійний кількісний аналіз хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у трьохтижневих проростків гірчиці сарептської, крес-салату, шпинату городнього масою 10,0 мг. У проростків оброблених наночастинками срібла були відзначені зміни у співвідношенні пігментів, характерні для розвитку стресової відповіді [10].

У загальному випадку кожний окремий пігмент працює із оптимальною активністю у конкретній області спектру. Сумісно в процесі фотосинтезу рослини поглинають енергію у широкому діапазоні хвиль від 380 до 710 нМ, який має назву зона активної радіації (ФАР) [13]. Така активність можлива у випадку динамічної організації систем синтезу пігментів, а також швидкої переорієнтації напрямків реакцій. Особливого значення це набуває за умов змін характеру зовнішніх факторів. У свою чергу зовнішній пресинг може модифікувати як поступове посилення дії конкретного агента додаванням інших чинників. В останньому випадку існує вірогідність кардинальних змін. Тому адекватність реакцій дискретної структури забезпечує інтегральну поведінку цілісного організму [18 - 20].

Природне засолення є стресором, котрий одночасно порушує як осмотичний, так і іонний баланси рослинного організму. Однак, цей дуалізм проявляється виключно у вегетуючої рослини, оскільки насіння – це консервативна стадія, а за стресових умов всі фізіологічні реакції, спрямовані на проростання, ріст і розвиток, загальмовані повністю. Розкриття особливостей генотипу (фенотипові прояви) можливі за умов модельованого засолення. У такий спосіб створюються передумови для розділення патологічних складових засолення. Швидкість сприйняття стресового сигналу, може в подальшому сприяти спрямуванню онтогенезу, а у випадку дії жорсткого засолення, навіть виживанню організму.

При аналізі фенотипових реакцій важливо розрізняти реакції стресу та реакції адаптації. Для цього доцільно залучати показники, які адекватно відображають *modus vivendi*. Характер акумуляції хлорофілів *a* і *b* а також співвідношення $Chla/Chlb$, на нашу думку, створюють можливість охарактеризувати генотип з боку чутливості – стійкості до засолення. Вибір об'єкту експерименту та організація комплексної модельної системи є гарантованою умовою відбору генетично змінених форм.

В процесі росту та розвитку рослина зазнає суттєвих змін в акумуляції пігментів. Тому доцільно заздалегідь визначати стадію онтогенезу, в ході якої генотипові різниці будуть найбільш виразними. Порівняльний аналіз, здійснений за н.у. та за умов засолення надасть інформацію стосовно послідовного формування адаптивних модифікацій у стійких варіантів.

Якщо розглядати продукт фотосинтезу з боку дії на біологічний організм, то встановлено, що хлорофіли (хлорофіл *a*) є природним антиоксидантом. У практиці нативний хлорофіл застосовується як харчовий барвник E-140, а його похідна сполука як харчовий барвник E-141. У 2015 році Європейське Агентство із Безпеки продуктів харчування EFSA зробило висновок про відсутність фактів про небезпеку хлорофілів для людини.

Висновки.

1. Модельоване засолення – експериментальна тест-система, спрямована на оцінку сукупного стресового тиску, а також для визначення осмотичної та іонної складових стресора.
2. 60-ти добові рослини тютюну генотипів Самсун і Дюбек зі сформованими вегетативними органами є початковою аналітичною точкою диференціації стійких і чутливих форм.
3. Стійкість генотипів тютюну до модельованого засолення проявляється у формі швидких реакцій на дію стресового чинника на 3-тю добу.
4. Вміст зелених пігментів, хлорофілів *a* і *b*, а також співвідношення *a/b* є динамічним показником характеру загальних змін метаболізму за дії засолення. Амплітуди коливань є відображенням особливостей генотипу. Перевага індивідуальних якісних і кількісних даних над генотиповими є показником патологічного процесу.
5. Клітинна селекція з іонами важких металів – креативна модельна система для виділення генетично змінених форм тютюну із підвищеним рівнем стійкості до засолення. Селективна ознака експресується як на клітинному рівні, так і на рівні інтактної рослини, не втрачаючись у насінневих поколіннях.

Література

1. Cook B.I., Mankin J.S., Anchukaitis K.J. Climate change and drought: from past to future. *Curr. Clim Change Rep.* 2018, 4, 164 – 179 <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0093-2>
2. Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., Tran L.S. Response of plants to water stress. *Front. Plant Sci.* 2014. <https://doi.org/3389/fpls.2014.00086>
3. Yang P., Drohan P.J., Long H., Yang M., Bian Y., Ma E. Water use efficiency, yield and quality of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) using negative pressure irrigation. *Industrial Crops and Products.* 2022. 178, 114552 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114552>
4. Ding H., Wang S., Zhang Y., Dong J., Zhang R., Zhng B., Ma S., Liu D., Cui R., Chen B., Wang Q., Sun J., Xing S., Wang Z., Zhang H. Investigation into the impact of chloride ion uptake inhibitors on tobacco plants. *Frontiera in Soil Science.* 2025. 5.1554922 <https://doi.org/10.3389/fsoil.2025.1554922>
5. Seung - A Baek, Taejun Han, Soon – Kil, Ahn, Hara Kang, Myung Chao, Suk-Chan Lee, Kyung – Hoanlm. Effects of heavy metal on plant growth and pigment contents in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Pathol. J.* 2012, 28(4), 446 – 452 <https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.01.2012.0006>
6. Yavary N., Gazestani V.H., Wu B.S., MacPherson S., Kushalappa A., Lefsrn M.G. Comperative proteomics analysis of *Arabidopsis thaliana* response to light emitting diode of narrow wavelength 450nm, 595 nm, and 650 nm. *J. Proteomics.* 2022. 265, 104635 <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104635>
7. Sergeeva L.E., Bronnikova L.I. Cadmium ions in cell selection for obtaining wheat cell forms tolerant to water stress. *Cherkasy University Bulletin: Biological Science Series.* 2019. 2, 74 – 80 <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2019-2-74-80>
8. Sergeeva L.E., Bronnikova L.I. Cell selection with barium ions for obtaining genetically modified tobacco. *Cherkasy University Bulletin: Biological Science Series.* 2020. 1, 71 – 78 <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2020-1-71-78>
9. Ashenafi E.L., Nyman M.C., Shelley J.T., Mattson N.S. Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems. *Food Chemistry Advances.* 2023. 2, 100178 <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100178>
10. Левчик Н.Я., Скрипка Г.І., Левон В., Любінська А.В. Закрасов О.В., Горбенко Н.Є. Зміна вмісту фотосинтетичних пігментів у листках *Plox paniculata* L. під впливом збудника борошнистої роси в умовах НБС М.М.Гришка НАН України. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2023. 33, 1, 22 – 35 <https://doi.org/10.36930/40330104>
11. Zhu X.-G., Long S.P., Ort D.R. Improving photosynthesis efficiency for greater yield. *Annu.Rev.Plant Biol.* 2010. 61, 35 – 261 <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112206>

12. Zhu X.-G., Long S.P., Ort D.R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass. *Curr.Opin.Biotechnol.* 2008. 19, 153 – 159 <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.004>
13. Shevchenko V.V., Bondarenko O. Yu., Korniyev D.Yu. Short-term heating causes thylakoid restructuring in pea chloroplasts and modifies spectral properties of pigment – protein complexes. *Фізіологія рослин і генетики.* 2022. 54(2), 34 – 147 <https://doi.org/10.15407/frg2022.02.134>
14. Liu H.Y., Sun W.-H., Su W.A., Tang Z.C. Cu-Regulation of water channels and potassium channels in rice. *Physiologia Plantarum.* 2006, 128, 58 – 69 n complexes. *Фізіологія рослин і генетики.* 2022. 54(2), 34 – 147 <https://doi.org/10.15407/frg2022.02.134>
15. Присяжнюк О. І. Коровко І.І. Динаміка вмісту хлорофілів у листках цукрового буряку. *Новітні агротехнології.* 2015, 1(3), 11 – 29 [https://doi.org/10.21498/na.1\(3\).2015.118908](https://doi.org/10.21498/na.1(3).2015.118908)
16. Бабенко Л.М., Косаківська І.В. Особливості пігментного складу та ультраструктурної будови хлоропластів рослин різних таксонів. *Фізіологія рослин і генетика.* 2017. 49(1)б 25 – 35 <https://doi.org/10.15407/frg.2017.01.025>
17. Рибак І.О., Шепелюк М. Вміст пластидних пігментів у дерев сосни звичайної уражених сосновим вертуном в умовах Західного Полісся. *Нотатки сучасної біології.* 2024. 7, 26 – 30 <https://doi.org/10.29038.NBIO.24.1-3>
18. DeRosa A., McGaughey, S., Magratthl., Byrt C. Molecular membrane separations: plants inspire new technologies. *New Phytol.* 2023. 238, 33 – 54 <https://doi.org/10.1111/nph.18762>
19. Moshelion M., Halperin O., Wallach R., Oren R.A., Way D.A. Role of aquaporins in determining transpiration and photosynthesis in water – stressed plants crop water use efficiency, growth and yield. *Plant Cell Environ.* 2015. 38, 1785 – 1793 <https://doi.org/10.1111.pce.12410>
20. Munne-Bosch S., Jubany – Mari T., Alegre L. Drought – induced senescence is characterized by a loss of antioxidant defence in chloroplasts. *Plant Cell Environ.* 2001. 24(12), 13 – 19 <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00794.x>

References

1. Cook B.I., Mankin J.S., Anchukaitis K.J. Climate change and drought: from past to future. *Curr. Clim Change Rep.* 2018, 4, 164 – 179 <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0093-2> [in English]
2. Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., Tran L.S. Response of plants to water stress. *Front. Plant Sci.* 2014. <https://doi.org/3389/fpls.2014.00086> [in English]
3. Yang P., Drohan P.J., Long H., Yang M., Bian Y., Ma E. Water use efficiency, yield and quality of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) using negative pressure irrigation. *Industrial Crops and Products.* 2022. 178, 114552 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114552> [in English]
4. Ding H., Wang S., Zhang Y., Dong J., Zhang R., Zhng B., Ma S., Liu D., Cui R., Chen B., Wang Q., Sun J., Xing S., Wang Z., Zhang H. Investigation into the impact of chloride ion uptake inhibitors on tobacco plants. *Frontiera in Soil Science.* 2025. 5.1554922 <https://doi.org/10.3389/fsoil.2025.1554922> [in English]
5. Seung - A Baek, Taejun Han, Soon – Kil, Ahn, Hara Kang, Myung Chao, Suk-Chan Lee, Kyung – Hoanlm. Effects of heavy metal on plant growth and pigment contents in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Pathol. J.* 2012, 28(4), 446 – 452 <https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.01.2012.0006> [in English]
6. Yavary N., Gazestani V.H., Wu B.S., MacPherson S., Kushalappa A., Lefsrn M.G. Comparative proteomics analysis of *Arabidopsis thaliana* response to light emitting diode of narrow wavelength 450nm, 595 nm, and 650 nm. *J.Proteomics.* 2022. 265, 104635 <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104635> [in English]
7. Sergeeva L.E., Bronnikova L.I. Cadmium ions in cell selection for obtaining wheat cell forms tolerant to water stress. *Cherkasy University Bulletin: Biological Science Series.* 2019. 2, 74 – 80 <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2019-2-74-80> [in English]
8. Sergeeva L.E., Bronnikova L.I. Cell selection with barium ions for obtaining genetically modified tobacco. *Cherkasy University Bulletin: Biological Science Series.* 2020. 1, 71 – 78 <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2020-1-71-78> [in English]

9. Ashenafi E.L., Nyman M.C., Shelley J.T., Mattson N.S. Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems. *Food Chemistry Advances*. 2023. 2, 100178 <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100178> [in English]
10. Levchyk N.Y., Skrypka G.I., Levon V., Liubinska A.V., Zakrasov O.V., Horbenko N.E. Changes in the content of photosynthetic pigments in leaves of *Plox paniculata* L. under the influence of powdery mildew pathogen in the conditions of M.M. Hryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine. *Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine*. [Zmina vmistu fotosintetichnih pigmentiv u listkah *Plox paniculata* L. pid vplyvom zbudnika boroshnistoi rosi v umovah NBS M.M.Grishka NAN Ukraini. *Naukoviy vistnik NLTU Ukraini*] 2023. 33, 1, 22 – 35 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.36930/40330104>
11. Zhu X.-G., Long S.P., Ort D.R. Improving photosynthesis efficiency for greater yield. *Annu.Rev.Plant Biol.* 2010. 61, 35 – 261 <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112206> [in English]
12. Zhu X.-G., Long S.P., Ort D.R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass. *Curr. Opin. Biotechnol.* 2008. 19, 153 – 159 <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.004> [in English]
13. Shevchenko V.V., Bondarenko O. Yu., Korniyev D.Yu. Short-term heating causes thylakoid restructuring in pea chloroplasts and modifies spectral properties of pigment – protein complexes. *Фізіологія рослин і генетики*. 2022. 54(2), 34 – 147 <https://doi.org/10.15407/frg2022.02.134> [in English]
14. Liu H.Y., Sun W.-H., Su W.A., Tang Z.C. Cu-Regulation of water channels and potassium channels in rice. *Physiologia Plantarum*. 2006, 128, 58 – 69 [in English]
15. Prysyazhnyuk O.I., Korovko I.I. Dynamika vmistu hlorofiliv u listkah tsukrovogo buryaku. *Novitni agrotehnologii*. [Dynamics of chlorophyll content in sugar beet leaves. *Newest agrotechnologies*.] 2015, 1(3), 11 – 29 [https://doi.org/10.21498/na.1\(3\).2015.118908](https://doi.org/10.21498/na.1(3).2015.118908) [in Ukrainian]
16. Babenko L. M., Kosakivska I. V. Osoblyvosti pigmentnogo skladu ta ultrastrukturnoi budovy hloroplastiv roslyn riznih taksoniv. *Fiziologiya roslyn i genetyka*. [Features of pigment composition and ultrastructural structure of chloroplasts of plants of different taxa. *Plant Physiology and Genetics*] 2017. 49(1), 25 – 35 <https://doi.org/10.15407/frg.2017.01.025> [in Ukrainian]
17. Rybak I. O., Shepelyuk M. Vmist plastydnyh pigmentiv u derev sosny zvychnoyi urazhenykh sosnovym vertunom v umovah Zahidnogo Polissya. *Notatky suchasnoi biologii*. [Rybak I.O., Shepelyuk M. Plastid pigment content in Scots pine trees affected by the pine beetle in Western Polissya. *Notes of modern biology*] 2024. 7, 26 – 30 <https://doi.org/10.29038.NBIO.24.1-3> [in Ukrainian]
18. De Rosa A., McGaughey, S., Magratthl., Byrt C. Molecular membrane separations: plants inspire new technologies. *New Phytol.* 2023. 238, 33 – 54 <https://doi.org/10.1111/nph.18762> [in English]
19. Moshelion M., Halperin O., Wallach R., Oren R.A., Way D.A. Role of aquaporins in determining transpiration and photosynthesis in water – stressed plants crop water use efficiency, growth and yield. *Plant Cell Environ.* 2015. 38, 1785 – 1793 <https://doi.org/10.1111.pce.12410> [in English]
20. Munne-Bosch S., Jubany – Mari T., Alegre L. Drought – induced senescence is characterized by a loss of antioxidant defence in chloroplasts. *Plant Cell Environ.* 2001. 24(12), 13 – 19 <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00794.x> [in English]

^{1,2} Bronnikova L.

¹Postgraduate student Department of Physiology and Plant Introduction Oles Honchar Dnipro national university

²Junior research Department of Genetic Engineering Institute of Plant Physiology and Genetic, NAS Ukraine

Zlenko_lora@ukr.net

orcid.org/0000-0002-8103-0548

THE SALINITY INFLUENCE ON CHLOROPHYLLS CONTENT IN TOBACCO PLANTS OBTAINED THROUGH CELL SELECTION WITH HEAVY METAL IONS

*The objects of investigation were of *Nicotiana tabacum* L. *N. tabacum* is both a cultural plant and a model system in plant biology, therefore the effect of salinity stress on plant metabolism were fixed in publications. Tobacco is a typical glycophyte, so that's why it is a suitable experimental object.*

The salinity toxicity decreases plant osmotic potential and water availability, which will subsequently cause cultural turgor loss. Under salinity ion uptake and photosynthesis will be impaired also.

Chlorophylls are the peculiar structures that ensure the use of sunlight in the photosynthesis implementation. Its content defines the photosynthetic plant potential.

The chlorophyll a/b ratio depends on the state plant both under normal and stress conditions. The chlorophyll a/b ratio can also be affected by stage of plant ontogenesis. Plants can be sensitive to external pressure during early vegetation stages.

The aim of the research was to determine contents of chlorophylls a and b and a/b ratios in 60-day old tobacco plants cv, Samsun and Dyubek. Those plants are R1 and R2 seed progenys of R0 regenerants from resistant cell lines, obtained through cell selection with Ba^{2+} and Cd^{2+} ions. R1 and R2 generations demonstrated normal development under in vitro salinity. The chlorophylls analyses were executed according to A.Wellbum, 1994 method, with dimethyl sulphoxide (DMSO) as a solvent agent.

During 3 days tobacco plants were kept under model salinity. There were sea water salts, NaCl, Na_2SO_4 solutions. Short-term salt stress resulted in a/b ratios changes. There were displacement to the side of chlorophyll b higher accumulation. This event was accompanied by continuous content fluctuations of both experimental and control variants. The fluctuations in new forms were synchronous within each genotype. This fact reflected the maintainance of general metabolism. On the contrary the control plants demonstrated unregulated content fluctuations due to the beginning of photosynthesis reactions division.

Key words: tobacco, cell selection with Ba^{2+} , Cd^{2+} cations, salinity, tolerance.

**Стаття до редакції надійшла 12.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 02.06.2025 року**

БІОХІМІЯ

УДК 616.12.008.331.1+616.153.96
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-43-49

Мостов'як М. П.

молодший науковий співробітник відділу генетичної діагностики,
Державна установа «Національний науковий центр «Інститут кардіології,
клінічної та регенеративної медицини імені академіка М.Д. Стражеска
Національної академії медичних наук України»
mariana.mostovyak@gmail.com
orcid.org/0009-0008-0301-5917

**РОЛЬ КЛЮЧОВИХ ЕНЗИМІВ ОКИСНО-ВІДНОВНОГО БАЛАНСУ ЗА
КОНТРОЛЬОВАНОЇ ТА РЕЗИСТЕНТНОЇ АРТЕРІАЛЬНОЇ ГІПЕРТЕНЗІЇ**

Підвищений артеріальний тиск є однією з основних причин захворюваності, інвалідності та смертності в усьому світі. Гіпертонічна хвороба є складним, мультифакторіальним і мультисистемним патологічним станом. Окислювальний стрес є одним із ключових патогенетичних механізмів, що супроводжує гіпертензію. Метою дослідження є вивчення ролі основних ензимів окисно-відновного балансу за контрольованої та резистентної артеріальної гіпертензії. В дослідження були включені 65 пацієнтів з контрольованою артеріальною гіпертензією II стадії та 55 пацієнтів із резистентною артеріальною гіпертензією (середній вік – 47,4±3,3 років). Отримані результати свідчать про достовірне зниження активності каталази і супероксиддисмутази у пацієнтів з контрольованою та резистентною артеріальною гіпертензією, що може вказувати на формування окислювального стресу та пригнічення механізмів антиоксидантного захисту. Разом з цим спостерігається достовірне підвищення активності мієлопероксидази та зниження активності параоксонази-1 у пацієнтів з контрольованою та резистентною артеріальною гіпертензією. Мієлопероксидаза і параоксоназа-1 асоційовані із ліпопротеїновими частинками та визначають їх функціональний потенціал. Активність цих ензимів у складі ліпопротеїнів відображає їх функціональний статус та свідчить про патологічні зміни в організмі.

Виявлені зміни в активності мієлопероксидази та параоксонази-1 можуть розглядатися як потенційні біомаркери запальної відповіді, зокрема за участю нейтрофільних лейкоцитів, а також як прогностичні маркери прогресування атеросклерозу та ефективності терапевтичного втручання. Комплексна оцінка активності мієлопероксидази, параоксонази, каталази та супероксиддисмутази дозволяє глибше зрозуміти механізми оксидативного дисбалансу при гіпертонічній хворобі. Ці біохімічні маркери можуть слугувати не лише індикаторами важкості патологічного процесу, а й потенційними мішенями для антиоксидантної терапії.

***Ключові слова:** артеріальна гіпертензія, окислювальний стрес, антиоксидантні ферменти, мієлопероксидаза, каталаза, супероксиддисмутаза, параоксоназа-1.*

Вступ. Підвищений артеріальний тиск є однією з основних причин захворюваності, інвалідності та смертності в усьому світі. Незважаючи на прогрес у медичній терапії, гіпертонія залишається основним фактором ризику серцево-судинних захворювань і цереброваскулярних захворювань, включаючи геморагічний (58%) та ішемічний (50%) інсульт, ішемічну хворобу серця (55%) та інші форми серцево-судинних захворювань (58%), включаючи серцеву недостатність і захворювання периферичних артерій [1, 2].

Незважаючи на сучасні досягнення в антигіпертензивній терапії, більшості пацієнтів із артеріальною гіпертензією не вдається досягти адекватного контролю артеріального тиску. Крім того, навіть за умови ефективного контролю тиску зберігається залишковий ризик серцево-судинних ускладнень і пов'язаного з ними ураження органів-мішеней. Таким чином, артеріальна гіпертензія є тихою, прогресуючою патологією з руйнівними наслідками для всіх органів-мішеней [3].

Відповідно, гіпертонічна хвороба є складним, мультифакторіальним і мульти-системним патологічним станом. Етіологія артеріальної гіпертензії є багатфакторною та залишається об'єктом активного наукового вивчення. Її розвиток зумовлений складною взаємодією генетичних, екологічних і патофізіологічних чинників, що впливають на численні системи регуляції артеріального тиску [4]. Основними механізмами, що сприяють підвищенню артеріального тиску, є генетична схильність, активація симпатичної нервової системи, порушення ниркової екскреції натрію, дисфункція ренін-ангіотензин-альдостеронової системи, ендотеліальна дисфункція, а також наявність метаболічного синдрому, ожиріння, інсулінорезистентності, обструктивного апное сну, гіперурикемії та дефіциту вітаміну D [5]. Значну роль відіграють також центральні нейрональні механізми, зокрема регуляторний вплив кортикальних структур на симпатичну активність [6].

Окрему увагу привертає роль окислювального стресу, який вважається одним із ключових патогенетичних механізмів, що супроводжує гіпертензію. У хворих на артеріальну гіпертензію спостерігається підвищення рівнів продуктів оксидативного пошкодження та зниження активності ендогенних антиоксидантних ензимів у крові та клітинах моноклеарного ряду. Це супроводжується посиленням ушкодженням ДНК, білків і ліпідів, а також асоціюється з ендотеліальною дисфункцією, хронічним запаленням, гіпертрофією, апоптозом, фіброзом та ангіогенезом – процесами, що сприяють судинному ремоделюванню та розвитку ускладнень гіпертонічної хвороби [7, 8].

Метою дослідження є вивчення ролі основних ензимів окисно-відновного балансу за контрольованої та резистентної артеріальної гіпертензії.

Методи та організація досліджень. В дослідження були включені 65 пацієнтів з контрольованою артеріальною гіпертензією II стадії та 55 пацієнтів із резистентною артеріальною гіпертензією (середній вік – 47,4±3,3 років), які перебували на лікуванні в ДУ ННЦ «Інститут кардіології ім. акад. М.Д. Стражеска» НАМН України. Контрольну групу склали 30 практично здорових донорів (середній вік – 49,2±2,1 років). Всім обстеженим проводили комплекс необхідних загально клінічних і функціональних методів дослідження. Пацієнти отримували базисну терапію згідно з рекомендаціями Європейського товариства кардіологів та Всеукраїнської асоціації кардіологів.

Активність антиоксидантних ензимів каталази (ЕС 1.11.1.6) та супероксид-дисмутази (ЕС 1.15.1.1) у сироватці крові визначали спектрофотометрично і спектрофлуориметрично за методами [9 і 10 відповідно]. Арилестеразну активність параоксонази-1 (ЕС 3.1.8.1) у сироватці крові визначали спектрофотометрично за методом [9]. Активність мієлопероксидази (ЕС 1.11.1.7) у плазмі крові визначали спектрофотометрично за методом [9]. Результати дослідження оброблені за допомогою методів математичної статистики, критерієм вірогідності розходжень вважалось ($p \leq 0,05$)

Результати досліджень та їх обговорення. У межах дослідження було одночасно проаналізовано активність ключових ензимів про- і антиоксидантної системи –

мілопероксидази, параоксонази-1, каталази та супероксиддисмутази – у пацієнтів з контрольованою артеріальною гіпертензією II стадії та резистентною артеріальною гіпертензією, а також у практично здорових осіб із нормальними показниками артеріального тиску. Отримані результати свідчать про достовірне зниження активності каталази і супероксиддисмутази у пацієнтів з контрольованою артеріальною гіпертензією відповідно на 45,6 % і 13,8 %, і у пацієнтів з резистентною артеріальною гіпертензією відповідно на 50,9 % і 22,9 % порівняно з контрольною групою (табл. 1). Встановлені зміни можуть вказувати на формування окислювального стресу та пригнічення механізмів антиоксидантного захисту.

Таблиця 1

Активність ензимів антиоксидантного захисту в крові пацієнтів з контрольованою та резистентною артеріальною гіпертензією

Показники	Контроль	Контрольована артеріальна гіпертензія	Резистентна артеріальна гіпертензія
Активність супероксиддисмутази, од/л	1906 ± 117	1642 ± 71*	1469 ± 60*
Активність каталази, мкат/л	12,5 ± 2,5	6,80 ± 0,35*	6,14 ± 0,22*

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контрольною групою, $p < 0,05$.

Разом з цим спостерігається достовірне підвищення активності мілопероксидази у пацієнтів з контрольованою артеріальною гіпертензією на 45,8 % і у пацієнтів з резистентною артеріальною гіпертензією на 79,2 % порівняно з контрольною групою (табл. 2). При цьому відбувається зниження активності параоксонази-1 на 64,8 % і 63 % у пацієнтів з контрольованою та резистентною артеріальною гіпертензією відповідно порівняно з контрольною групою.

Таблиця 2

Активність мілопероксидази та параоксонази-1 в крові пацієнтів з контрольованою та резистентною артеріальною гіпертензією

Показники	Контроль	Контрольована артеріальна гіпертензія	Резистентна артеріальна гіпертензія
Активність параоксонази-1, кУ/л	5,66 ± 0,93	1,99 ± 0,21*	2,09 ± 0,23*
Активність мілопероксидази, ум. од./хв	0,0024 ± 0,0005	0,0035 ± 0,0005*	0,0043 ± 0,0005*

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з групою умовно здорових осіб, $p < 0,05$.

Як відомо, функціональний потенціал ліпопротеїнів визначають ензими, які з ними асоційовані [11]. Найважливіші, з ідентифікованих ензимів у їх складі, є параоксоназа-1 та мілопероксидаза. Вони здатні утворювати між собою комплекс, в якому інгібують один одного, відповідно, їхні показники корелюють між собою: підвищення одного свідчить про зменшення іншого [12, 13]. Параоксоназа-1 здійснює гідролізу ліпідних перекисів, елімінуючи таким чином окислені ліпопротеїни низької густини з бляшкових утворень. Також, цей ензим може пригнічувати біосинтез холестеролу та стимулювати транспорт холестеролу від клітин, який опосередкований власне ліпопротеїнами високої густини [12].

Активність параоксонази-1 позитивно корелює з показниками інтенсивності окислення протеїнів у складі ліпопротеїнів низької та високої густини. Оскільки, вона здатна інгібувати окислювальну модифікація обох класів ліпопротеїнів через взаємодію гідрофобних N-домени з апопротеїнами A-I, A-II, E та J [11, 12]. Зниження активності параоксонази-1 приводить до підсилення прояву окислювального стресу в організмі та ідентифікується за розвитку багатьох мультифакторних захворювань [14].

Мієлопероксидаза знаходиться в азурофільних гранулах нейтрофілів, моноцитах та деяких типах тканинних макрофагів. Ензим секритується після активації фагоцитів з подальшою дегрануляцією. Тоді він вивільняється у середину фагосоми або в позаклітинний простір [15]. Також мієлопероксидаза відповідає за утворення вільних радикалів [16]. У присутності перекису водню він окислює аніон хлору до гіпохлориту та генерує утворення активних форм кисню. Згенеровані таким чином сполуки мають широкий спектр ефектів, найкраще вивчений з яких – бактерицидний. Таким чином, мієлопероксидаза забезпечує вроджений неспецифічний імунітет. Проте, надлишок активних радикалів може пошкодити ліпопротеїни та інші макромолекули. Окрім вільних форм кисню, мієлопероксидаза може генерувати утворення гіпохлоритної (HOCl) та гіпотіоціанової (HOSCN) кислот у нейтрофілах та макрофагах. Такі сполуки здатні модифікувати протеїни у складі ліпопротеїнів високої та низької густини [15].

За надмірної функціональної активності мієлопероксидази можливе її зв'язування з ендотеліоцитами, що може спровокувати прогресування запалення судинних стінок, а також збільшення числа лейкоцитів [17]. Також мієлопероксидаза разом з реактивним С-протеїном виступають як маркери запалення та ризиків виникнення кардіометаболічних синдромів [18].

Мієлопероксидаза обумовлює розвиток ендотеліальної дисфункції, обмежуючи біодоступність оксиду азоту (NO). Можливий вплив на цю сполуку ензимом двома шляхами: руйнування вільними радикалами, згенерованими ним, та перериванням ендогенного синтезу оксиду азоту [15]. Гіпохлоритна кислота може хлорувати аргінін, субстрат синтази оксиду азоту (eNOS), тим самим обмежуючи його біодоступність, утворюючи хлорований аргінін. Також гіпохлоритна кислота може безпосередньо окислювати синтазу оксиду азоту з подальшим роз'єднання субстрату та ензима, що може призвести до дисоціації eNOS від плазматичної мембрани ендотелію. Тобто, мієлопероксидаза має потенційну патофізіологічну значимість, тому що у осіб з високим вмістом в плазмі даного ензиму частіше спостерігається ендотеліальна дисфункція у порівнянні з особами з низьким вмістом ензиму [15, 16].

Ендотеліальна дисфункція, посилена катаболізмом оксиду азоту, за кардіометаболічних патологій сприяє апоптозу ендотеліоцитів та тромбозу. Дослідження *in vitro* свідчать про те, що мієлопероксидаза може провокувати руйнування поверхні бляшкових нашарувань, тобто приводити у нестабільний стан. Останнє, у свою чергу, призводить до збільшення ймовірності їх розривів та утворення тромбів у кров'яному руслі [15].

Підвищення активності мієлопероксидази та зниження параоксонази-1 відбувається за артеріальної гіпертензії у обох групах пацієнтів у порівнянні з контролем. Таким чином, активність ензимів у складі ліпопротеїнів високої густини відображає їх функціональний статус та свідчить про патологічні зміни в організмі.

Висновки. Виявлені зміни в активності мієлопероксидази та параоксонази-1 можуть розглядатися як потенційні біомаркери запальної відповіді, зокрема за участю нейтрофільних лейкоцитів, а також як прогностичні маркери прогресування атеросклерозу та ефективності терапевтичного втручання. Комплексна оцінка активності мієлопероксидази, параоксонази, каталази та супероксиддисмутази дозволяє глибше зрозуміти механізми оксидативного дисбалансу при гіпертонічній хворобі. Ці біохімічні маркери можуть слугувати не лише індикаторами важкості патологічного процесу, а й потенційними мішенями для антиоксидантної терапії.

Сучасні дані свідчать про істотне розширення уявлень щодо ролі оксидативного стресу в патогенезі артеріальної гіпертензії, однак молекулярні механізми взаємодії між прооксидантними й антиоксидантними системами, їх вплив на регуляцію судинного тону та розвиток органних ушкоджень залишаються недостатньо вивченими. Ці обставини визначають актуальність подальших досліджень, спрямованих на поглиблене розуміння патофізіологічних змін і вдосконалення профілактичних та лікувальних стратегій у пацієнтів із серцево-судинною патологією.

Література

1. Ettehad D., Emdin C.A., Kiran A., Anderson S.G., Callender T., Emberson J., Chalmers J., Rodgers A., Rahimi K.. Blood pressure lowering for prevention of cardiovascular disease and death: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*. 2016. V. 387. P. 957-967.
2. Carey R., Muntner P., Bosworth H., Whelton P.. Prevention and Control of Hypertension: JACC Health Promotion Series. *J Am Coll Cardiol*. 2018. 72 (11). P. 1278-1293.
3. Hisamatsu T., Miura K.. Epidemiology and control of hypertension in Japan: a comparison with Western countries. *J Hum Hypertens*. 2024. V.38. P. 469-476.
4. Dikalov S., Ungvari Z.. Role of mitochondrial oxidative stress in hypertension. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2013. V.305. P. H1417-27.
5. Saxena T., Ali A.O., Saxena M.. Pathophysiology of essential hypertension: an update. *Expert Rev Cardiovasc Ther*. 2018. V.16. P. 879-887.
6. Paravicini T., Touyz R.. Redox signaling in hypertension. *Cardiovasc Res*. 2006. V. 71. P. 247 -258.
7. Touyz R. M., Briones A. M.. Reactive oxygen species and vascular biology: implications in human hypertension. *Hypertens Res*. 2010. V.34. P. 5-14.
8. Montezano A. C, Touyz R. M.. Molecular Mechanisms of Hypertension – Reactive Oxygen Species and Antioxidants: A Basic Science Update for the Clinician. *Can J Cardiol*. 2012. V. 28. P. 288-295.
9. Kuchmenko O., Tereshchenko N., Malynovska I., Babii L., Shumakov V., Sheiko V., Dereka T. Impact assessment of physical exercise on the factors for progression of atherosclerosis in patients after sustained myocardial infarction: a three-year follow-up. *Zdravotnicke listy*. 2023. Vol. 11. No. 2. P. 68-75.
10. Yusova O.I., Savchuk O.V., Grinenko T.V., Kuchmenko O.B., Mhityan L.S., Kupchins'ka O.H., Yevstratova I.N., Matova O.O., Vasilinchuk N.M., Drobot'ko T.F. Determination of plasminogen/plasmin system components and indicators of lipoproteins oxidative modification under arterial hypertension. *Ukr.Biochem.J*. 2018. Vol. 90. Issue 1. P. 58-67.
11. Deng S., Xu Y., Zheng L. HDL Structure. *Adv Exp Med Biol*. 2022. 1377. P. 1-11.
12. Durrington P.N., Bashir B., Soran H. Paraonase 1 and atherosclerosis. *Front Cardiovasc Med*. 2023. 10. P. 1065967.
13. Ortiz-Cerda T., Xie K., Mojadadi A., Witting P. K. Myeloperoxidase in Health and Disease. *Int J Mol Sci*. 2023. 24 (9). P. 7725.
14. Durrington P., Soran H. Paraonase 1: evolution of the enzyme and of its role in protecting against atherosclerosis. *Curr Opin Lipidol*. 2024. 35 (4). P. 171-178.
15. de Boer R. A. Myeloperoxidase in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: A Target Against Inflammation? *JACC Heart Fail*. 2023. 11 (7). P. 788-790.
16. Maiocchi S. L., Ku J., Thai T., Chan E., Rees M. D., Thomas S. R. (2021). Myeloperoxidase: A versatile mediator of endothelial dysfunction and therapeutic target during cardiovascular disease. *Pharmacol Ther*. 221. P. 107711.
17. Ndrepepa G. Myeloperoxidase – A bridge linking inflammation and oxidative stress with cardiovascular disease. *Clin Chim Acta*. 2019. 493. P. 36-51.
18. Ramachandra C. J. A., Ja K. P. M. M., Chua J., Cong S., Shim W., Hausenloy D. J. Myeloperoxidase As a Multifaceted Target for Cardiovascular Protection. *Antioxid Redox Signal*. 2020. 32 (15). P. 1135-1149.

References

1. Ettehad D., Emdin C.A., Kiran A., Anderson S.G., Callender T., Emberson J., Chalmers J., Rodgers A., Rahimi K.. (2016). Blood pressure lowering for prevention of cardiovascular disease and death: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*. 387. P. 957-967 [in English].
2. Carey R., Muntner P., Bosworth H., Whelton P. (2018). Prevention and Control of Hypertension: JACC Health Promotion Series. *J Am Coll Cardiol*. 72 (11). P. 1278-1293 [in English].
3. Hisamatsu T., Miura K.. (2024). Epidemiology and control of hypertension in Japan: a comparison with Western countries. *J Hum Hypertens*. 38. P. 469-476 [in English].
4. Dikalov S., Ungvari Z.. (2013). Role of mitochondrial oxidative stress in hypertension. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 305. P. H1417-27 [in English].
5. Saxena T., Ali A.O., Saxena M. (2018). Pathophysiology of essential hypertension: an update. *Expert Rev Cardiovasc Ther*. 16. P. 879-887 [in English].
6. Paravicini T., Touyz R. (2006). Redox signaling in hypertension. *Cardiovasc Res*. 71. P. 247 -258 [in English].
7. Touyz R. M., Briones A. M. (2010). Reactive oxygen species and vascular biology: implications in human hypertension. *Hypertens Res*. 34. P. 5-14 [in English].
8. Montezano A. C, Touyz R. M. (2012). Molecular Mechanisms of Hypertension – Reactive Oxygen Species and Antioxidants: A Basic Science Update for the Clinician. *Can J Cardiol*. 28. P. 288-295 [in English].
9. Kuchmenko, O., Tereshchenko, N., Malynovska, I., Babii, L., Shumakov, V., Sheiko, V., Dereka, T. (2023). Impact assessment of physical exercise on the factors for progression of atherosclerosis in patients after sustained myocardial infarction: a three-year follow-up. *Zdravotnicke listy*. 11. 2. P. 68-75 [in English].
10. Yusova O.I., Savchuk O.V., Grinenko T.V., Kuchmenko O.B., Mhitaryan L.S., Kupchins'ka O.H., Yevstratova I.N., Matova O.O., Vasilinchuk N.M., Drobot'ko T.F. (2018). Determination of plasminogen/plasmin system components and indicators of lipoproteins oxidative modification under arterial hypertension. *Ukr.Biochem.J*. 90. 1. P. 58-67 [in English].
11. Deng S., Xu Y., Zheng L. (2022). HDL Structure. *Adv Exp Med Biol*. 1377. P. 1-11 [in English].
12. Durrington P.N., Bashir B., Soran H. (2023). Paraoxonase 1 and atherosclerosis. *Front Cardiovasc Med*. 10. P. 1065967 [in English].
13. Ortiz-Cerda T., Xie K., Mojadadi A., Witting P. K. (2023). Myeloperoxidase in Health and Disease. *Int J Mol Sci*. 24 (9). P. 7725 [in English].
14. Durrington P., Soran H. (2024). Paraoxonase 1: evolution of the enzyme and of its role in protecting against atherosclerosis. *Curr Opin Lipidol*. 35 (4). P. 171-178 [in English].
15. de Boer R. A. (2023). Myeloperoxidase in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: A Target Against Inflammation? *JACC Heart Fail*. 11 (7). P. 788-790 [in English].
16. Maiocchi S. L., Ku J., Thai T., Chan E., Rees M. D., Thomas S. R. (2021). Myeloperoxidase: A versatile mediator of endothelial dysfunction and therapeutic target during cardiovascular disease. *Pharmacol Ther*. 221. P. 107711 [in English].
17. Ndrepepa G. (2019). Myeloperoxidase – A bridge linking inflammation and oxidative stress with cardiovascular disease. *Clin Chim Acta*. 493. P. 36-51 [in English].
18. Ramachandra C. J. A., Ja K. P. M. M., Chua J., Cong S., Shim W., Hausenloy D. J. (2020). Myeloperoxidase As a Multifaceted Target for Cardiovascular Protection. *Antioxid Redox Signal*. 32 (15). P. 1135-1149 [in English].

Mostovyak M.

Junior Research Fellow, Department of Genetic Diagnostics,
 State institution «National scientific center «The M.D. Strazhesko institute of cardiology,
 clinical and regenerative medicine of the National academy of medical sciences of Ukraine»
 mariana.mostovyak@gmail.com
 orcid.org/ 0009-0008-0301-5917

ROLE OF KEY REDOX BALANCE ENZYMES IN CONTROLLED AND RESISTANT ARTERIAL HYPERTENSION

Elevated blood pressure is one of the main causes of morbidity, disability and mortality worldwide. Hypertension is a complex, multifactorial and multisystem pathological condition. Oxidative stress is one of the key pathogenetic mechanisms accompanying hypertension. The aim of the study is to study the role of the main enzymes of redox balance in controlled and resistant arterial hypertension. The study included 65 patients with controlled arterial hypertension of stage II and 55 patients with resistant arterial hypertension (mean age – 47.4±3.3 years). The results obtained indicate a significant decrease in the activity of catalase and superoxide dismutase in patients with controlled and resistant arterial hypertension, which may indicate the formation of oxidative stress and inhibition of antioxidant defense mechanisms. At the same time, a significant increase in myeloperoxidase activity and a decrease in paraoxonase-1 activity are observed in patients with controlled and resistant arterial hypertension. Myeloperoxidase and paraoxonase-1 are associated with lipoprotein particles and determine their functional potential. The activity of these enzymes in the composition of lipoproteins reflects their functional status and indicates pathological changes in the body. The detected changes in the activity of myeloperoxidase and paraoxonase-1 can be considered as potential biomarkers of the inflammatory response, in particular with the participation of neutrophil leukocytes, as well as prognostic markers of atherosclerosis progression and the effectiveness of therapeutic intervention. A comprehensive assessment of the activity of myeloperoxidase, paraoxonase, catalase and superoxide dismutase allows for a deeper understanding of the mechanisms of oxidative imbalance in hypertension. These biochemical markers can serve not only as indicators of the severity of the pathological process, but also as potential targets for antioxidant therapy.

Key words: arterial hypertension, oxidative stress, antioxidant enzymes, myeloperoxidase, catalase, superoxide dismutase, paraoxonase-1.

**Стаття до редакції надійшла 20.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 05.06.2025 року**

УДК [616.379-008.64:616.13-004.6]:546.172.6:577
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-50-57

Черевко О. О.

аспірантка кафедри біології,
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
olga.cherevko2016@gmail.com
orcid.org/ 0009-0005-1216-0807

Кучменко О. Б.

доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри біології,
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
kuchmenko1978@gmail.com
orcid.org/0000-0002-3021-8583

**ЗМІНИ КОАГУЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТА БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КРОВІ
У ПАЦІЄНТІВ З ОБЛІТЕРУЮЧИМ АТЕРОСКЛЕРОЗОМ
ТА ЦУКРОВИМ ДІАБЕТОМ 2 ТИПУ**

Облітеруючий атеросклероз нижніх кінцівок є серйозним судинним захворюванням, яке призводить до хронічної ішемії та вираженої інвалідизації пацієнтів. Цей стан викликаний стенозом або повною оклюзією артерій, що призводить до порушення кровопостачання тканин. Важливим фактором, що впливає на прогресування атеросклерозу, є наявність супутнього цукрового діабету 2 типу, який погіршує функцію ендотелію та змінює коагуляційний баланс. Вищезазначені зміни призводять до запалення й оксидативного стресу, що обумовлює зростання кількості критичних випадків та ампутацій. Метою дослідження стало вивчення метаболічних та коагуляційних змін у пацієнтів з облітеруючим атеросклерозом залежно від наявності супутнього цукрового діабету 2 типу. Дослідження, проведене на 105 пацієнтах. Обстежено дві групи пацієнтів: з ізольованим облітеруючим атеросклерозом та облітеруючим атеросклерозом у поєднанні з цукровим діабетом. Проведено загальноклінічне, біохімічне, коагулологічне та ультразвукове обстеження. Встановлено, що ті, хто хворіє на облітеруючий атеросклероз у поєднанні з цукровим діабетом, мають більш виражені метаболічні та коагуляційні порушення. Виявлені зміни в рівнях гемоглобіну, еритроцитів, лейкоцитів, глюкози та фібриногену свідчать про мультифакторний вплив цукрового діабету на патогенез та прогресування атеросклерозу. Результати ультразвукового дослідження судин нижніх кінцівок вказують на гемодинамічні порушення у пацієнтів з облітеруючим атеросклерозом та цукровим діабетом, зокрема, на зниження систолічної швидкості кровотоку та підвищення індексу резистентності. Це підтверджує, що поєднання цих захворювань формує більш агресивний клінічний варіант, що вимагає ретельного динамічного моніторингу та персоналізованого підходу до лікування та профілактики ускладнень. Результати дослідження можуть бути використані для покращення алгоритмів скринінгу, стратифікації ризику та ведення пацієнтів із коморбідною патологією.

Ключові слова: облітеруючий атеросклероз, цукровий діабет II типу, метаболічні порушення, коагуляційні зміни, ішемія нижніх кінцівок, фібриноген, оксидативний стрес, гіперглікемія, запалення.

Вступ. На теперішній час облітеруючий атеросклероз (ОА) нижніх кінцівок посідає провідне місце серед судинних захворювань, що спричиняють хронічну

ішемію та інвалідизацію пацієнтів. Облітеруючий атеросклероз характеризується стенозом або облітерацією артерій, що призводить до порушення кровопостачання тканин [1]. Цей патологічний процес є наслідком складної взаємодії між метаболічними, запальними та коагуляційними механізмами, які сприяють прогресуванню атеросклеротичних уражень судин.

Одним із найважливіших факторів, що суттєво впливає на перебіг ОА, є наявність цукрового діабету 2 типу (ЦД2), який не тільки пришвидшує прогресування атеросклерозу, а й також значно погіршує функціональний стан ендотелію, порушує метаболічний гомеостаз та змінює коагуляційний баланс [2, 3]. Хронічна гіперглікемія при ЦД2 призводить до утворення кінцевих продуктів глікозилювання (AGEs), які взаємодіють з рецепторами RAGE (рецептори кінцевих продуктів глікозилювання), активуючи механізми розвитку запалення та сприяючи оксидативному стресу, що ушкоджує ендотелій судин. Крім того, інсулінорезистентність та дисліпідемія, властиві для ЦД2, підвищують рівень тригліцеридів і знижують рівень HDL-холестерину, що сприяє атерогенезу [4].

Запальні процеси відіграють ключову роль у атерогенезу при ЦД2. Активація інфламасоми NLRP3 призводить до підвищеного синтезу прозапальних цитокінів (IL-1 β та IL-18), що сприяє прогресуванню атеросклеротичних уражень. Окрім того, оксидативний стрес, зумовлений надмірним утворенням активних форм кисню, погіршує функцію ендотелію. Активні форми кисню (ROS) пошкоджують структури клітин, включаючи поліненасичені жирні кислоти, білки та ДНК, сприяючи розвитку хронічного запалення, ендотеліальної дисфункції та утворенню нестабільних атеросклеротичних бляшок [5]. У пацієнтів з ЦД2 рівень оксидативного стресу є значно вищим, що підтверджується зростанням маркерів перекисного окислення ліпідів (малоновий діальдегід, 4-гідроксиноненаль) та зниженням активності антиоксидантних ферментів, таких як супероксиддисмутаза та глутатіонпероксидаза [6].

Останні дослідження показали, що метаболічно-коагуляційний профіль у пацієнтів з ОА значно відрізняється залежно від наявності супутнього цукрового діабету. Так, у пацієнтів з ЦД2 та ОА виявляють значно вищі рівні фібриногену, глюкози, тригліцеридів, маркерів запалення (CRP, IL-6), а також показники, що свідчать про активацію тромбоцитів і зниження резервів фібринолізу [7, 8].

Тому, метою нашої роботи є аналіз змін біохімічних показників крові та системи коагуляції у пацієнтів з облітеруючим атеросклерозом, а також визначення впливу наявності цукрового діабету 2 типу на вираженість цих змін.

Методи та організація досліджень. Дослідження проводились на базі КНП «Київська Міська Клінічна Лікарня Швидкої Медичної Допомоги» (м. Київ). У дослідження було включено 105 пацієнтів (середній вік – 66,3 \pm 10,7 років), з них 64 особи з облітеруючим атеросклерозом та 41 особа з облітеруючим атеросклерозом та ЦД2 типу (з них 17 з ЦД важкої форми, декомпенсований, 23 – з ЦД2 середнього ступеню тяжкості, субкомпенсований та 1 – з ЦД2 легкого ступеню). Серед обстежених було 77 чоловіка (73,3 %) та 28 жінок (26,7 %).

Критерії виключення із дослідження: вік пацієнтів менше 35 або більше 88 років; наявність тяжкої серцевої недостатності (III–IV функціональний клас за NYHA); гострий інфаркт міокарда або інсульт, що перенесені менше ніж за 6 місяців до включення у дослідження; наявність онкологічних захворювань у стадії активного лікування або з метастазами; виявлені гострі інфекційні або запальні захворювання на момент обстеження.

Клінічний діагноз встановлювався у відповідності до чинних рекомендацій Європейської асоціації судинних хірургів та Європейського товариства ендокринологів на основі збору анамнестичних даних, фізикального обстеження, даних лабораторно-інструментальних методів обстеження: загальноклінічних аналізів, ультразвукового дослідження судин нижніх кінцівок.

У сироватці крові на початку стаціонарного етапу лікування (1-й день) проведено загальні та біохімічні дослідження з використанням автоматичного гематологічного аналізатора Mindray BC-E30s і тест-систем виробництва Mindray та біохімічного аналізатора BTS-350 (Іспанія) із застосуванням сертифікованих реагентів. Для дослідження коагуляційного гомеостазу у обстежених пацієнтів використовували напівавтоматичний коагулометр COAX 4 (Іспанія) у поєднанні з відповідними тест-системами для визначення показників системи згортання крові.

Ультразвукове дослідження судин нижніх кінцівок проводили з використанням апарата General Electric Logiq 6 із застосуванням дуплексного сканування в режимах В-подібного зображення та кольорового доплерівського картування.

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 [9, 10].

Статистичний аналіз проводився з використанням програми Excel. Для перевірки нормального розподілу використовували критерій Шапіро-Уїлка. Статистичну обробку проводили з використанням t-критерію Стьюдента та непараметричного методу (U-критерій Манна-Уїтні). Різницю вважали достовірною при $p < 0,05$. p-value – результат статистичного тесту (коригований варіант t-тесту з урахуванням нерівності дисперсій (тест Велча)).

Результати досліджень та їх обговорення. Отримані результати свідчать про те, що пацієнти з облітеруючим атеросклерозом у поєднанні з цукровим діабетом 2 типу мають більш виражені метаболічні та коагуляційні порушення порівняно з пацієнтами з облітеруючим атеросклерозом без супутнього діабету (табл. 1-3). Виявлені статистично значущі відмінності у рівнях гемоглобіну, еритроцитів, лейкоцитів, глюкози, сечовини та фібриногену демонструють мультифакторний вплив ЦД2 на патогенез ОА.

Зниження рівня гемоглобіну та кількості еритроцитів у пацієнтів з ОА+ ЦД2 (табл. 1) може свідчити про розвиток діабетичної нефропатії, що супроводжується зниженням продукції еритропоєтину. Окрім того, хронічна гіперглікемія та високий рівень оксидативного стресу сприяють підвищеному гемолізу і зниженню життєздатності еритроцитів [12]. Це може призводити до анемічного синдрому, що, в умовах ішемії нижніх кінцівок, додатково ускладнює перебіг захворювання.

Таблиця 1

Показники загального аналізу крові у пацієнтів з облітеруючим атеросклерозом та цукровим діабетом 2 типу

Група	Референтні значення	ОА	ОА+ ЦД2	p-value
Гемоглобін (г/л)	120-170	134,34 ± 25,65	119,15 ± 19,95	0,001
Еритроцити (*10 ¹²)	4,0-5,5	4,33 ± 0,69	4,0 ± 0,58	0,02
Лейкоцити (*10 ⁹)	4,0-9,0	7,75 ± 2,67	9,7 ± 4,9	0,01
Тромбоцити (*10 ⁹)	150-400	229,49 ± 81,02	252,18 ± 103,8	0,24

Підвищення рівня лейкоцитів у групі ОА+ ЦД2 (табл. 1) може вказувати на наявність хронічного системного запалення, спричинене активацією прозапальних цитокінів (інтерлейкіну-6 та TNF-α). Це в свою чергу призводить до активації ендотелію, посиленої адгезії лейкоцитів, розвитку інсулінорезистентності та

прогресуванню атеросклерозу. Запалення також є ключовим чинником у стимулюванні синтезу фібриногена (не лише компонент системи гемостазу, а й маркер гострої фази запалення) [3].

Передбачуваним результатом стало підвищення рівня глюкози у пацієнтів із супутнім ЦД2 (табл. 2). Відомо, що хронічна гіперглікемія є центральною ланкою патогенезу судинних ускладнень при діабеті [2, 3]. За цих умов може активуватися поліоловий шлях, сприяючи накопиченню кінцевих продуктів глікозилювання (AGEs), зменшенню доступності оксиду азоту та розвитку ендотеліальної дисфункції, що значно прискорює процеси атерогенезу [11, 12].

Таблиця 2

Показники біохімічного аналізу крові у пацієнтів з облітеруючим атеросклерозом та цукровим діабетом 2 типу

Група	Референтні значення	ОА	ОА+ ЦД2	p-value
Глюкоза (ммоль/л)	3,9-6,1	5,71±0,92	8,75±4,67	0,0002
АЛТ (мкмоль*год/мл)	0,1-0,68	0,61±0,56	0,55±0,37	0,57
АСТ (мкмоль*год/мл)	0,1-0,45	0,77±1,0	0,51±0,36	0,083
Сечовина (ммоль/л)	2,5-8,3	6,56±2,32	7,88±3,36	0,033
Креатинін (мкмоль/л)	44-115	104,84±30,8	123,57±75,74	0,27
Холестерин (ммоль/л)	3,2-5,2	5,28 ±1,17	5,34 ±1,81	0,95

Збільшення рівня сечовини у пацієнтів з ОА+ ЦД2 (табл. 2), незалежно від статистично незначущих змін рівня креатиніну, може свідчити про початкові прояви діабетичної нефропатії або інтенсифікацію катаболічних процесів [8]. У подібних випадках зростання рівня сечовини часто є одним із ранніх маркерів порушення функції нирок.

Таблиця 3

Показники коагуляційного гомеостазу у пацієнтів з облітеруючим атеросклерозом та цукровим діабетом 2 типу

Група	Референтні значення	ОА	ОА+ ЦД2	p-value
ПТІ (%)	80-120	93,11 ± 13,36	92,66 ± 8,52	0,42
ПЧ (с)	16-20	17,45 ± 3,11	17,15 ± 1,99	0,93
ТЧ (с)	14,9-20,2	16,43 ± 1,13	14,46 ± 4,18	0,206
Фібриноген (г/л)	2-4	3,11 ± 0,90	3,65 ± 1,09	0,0024

Примітка: ПТІ – протромбіновий індекс, ПЧ – протромбіновий час, ТЧ – тромбіновий час.

Особливу увагу привертає достовірне підвищення фібриногену в групі ОА+ ЦД2 (табл. 3). Цей білок бере участь в процесах згортання крові, а також у формуванні хронічного запалення в судинній стінці [7]. Підвищений рівень фібриногену є прогностичним маркером серцево-судинних ускладнень, що підтверджує важливість моніторингу його рівня у хворих на ОА+ ЦД2.

У той же час такі показники, як тромбоцити, АЛТ, АСТ, креатинін, холестерин та основні параметри коагулограми (ПТІ, протромбіновий і тромбіновий час), не відрізняються статистично значуще між досліджуваними групами. На нашу думку, це може бути пов'язано з ранніми стадіями ураження органів-мішеней, компенсаторними механізмами або з впливом фармакологічних препаратів (прийом гіполіпідемічних препаратів, антиагрегантів і т.ін.).

Ультразвукове дослідження судин нижніх кінцівок у пацієнтів з облітеруючим атеросклерозом та супутнім цукровим діабетом 2 типу виявило наступні гемодинамічні порушення. Приблизно 75% обстежених мали зниження або нерівномірне підвищення систолічної швидкості кровотоку, що свідчить про наявність стенозуючих або оклюзійних змін в магістральних артеріях. Окрім цього було виявлено збільшення індексу резистентності (характеризує ступінь опору кровотоку в периферичних судинах і відповідає різниці пікової систолічної швидкості та кінцевої діастолічної швидкості кровотоку, поділена на пікову систолічну швидкість), що вказує на порушення еластичності судинної стінки та зростання периферичного судинного опору. Ці зміни найчастіше фіксувалися у гомілковому сегменті, що відображає дистальний характер ураження, типовий для пацієнтів з діабетом.

Отже, результати даного дослідження підтверджують, що поєднання облітеруючого атеросклерозу з цукровим діабетом формує патофізіологічно складніший і агресивніший клінічний варіант захворювання. Це призводить до активації запалення, посилення коагуляційного потенціалу та виражених метаболічних порушень, що вимагає пильнішого клінічного контролю, розширеного лабораторного обстеження та персоналізованого підходу до терапії пацієнтів.

Висновки. Аналіз результатів проведеного дослідження дозволяє говорити про те, що пацієнти з облітеруючим атеросклерозом у поєднанні з цукровим діабетом 2 типу мають гірший метаболічний та коагуляційний профіль порівняно із пацієнтами без супутнього діабету. Це свідчить про більш важкий перебіг захворювання. У пацієнтів спостерігається зниження рівнів гемоглобіну та еритроцитів, що вказує на анемічний синдром, ймовірно зумовлений нефропатією та хронічним запаленням. Підвищення рівня лейкоцитів та фібриногену відображає активацію системного запалення та гіперкоагуляційного стану, що збільшує вірогідність тромботичних ускладнень та критичної ішемії. Гіперглікемія у пацієнтів з ОА+ЦД2 значно вираженіша, ніж у тих, хто не має діабету, що підтверджує вплив порушеного вуглеводного обміну на перебіг атеросклерозу. Навіть за відсутності змін в деяких лабораторних показників (АЛТ, АСТ, креатинін, холестерин), отримані дані вказують на наявність компенсаторної фази патології, яка потребує динамічного спостереження. Дані ультразвукового дослідження вказують на те, що в пацієнтів з поєднаною патологією ОА та ЦД2 переважає дистальний тип ураження судин з гемодинамічно значущим порушенням кровотоку, що підтверджує тяжкість перебігу захворювання. Поєднання ОА та ЦД2 суттєво підвищує ймовірність тяжких судинних ускладнень, що обґрунтовує необхідність персоналізованого підходу до моніторингу, лікування та профілактики для цієї категорії пацієнтів.

Література

1. Бурчинський С. Г. Облітеруючі ураження артерій нижніх кінцівок: сучасні підходи до діагностики та лікування / С. Г. Бурчинський, В. А. Смоланка // Судинна хірургія. – 2020. – № 1. – С. 10–15.

2. American Diabetes Association. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Medical Care in Diabetes—2023 / ADA // *Diabetes Care*. – 2023. – Vol. 46, Suppl. 1. – P. S158–S190. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc23-S010>.
3. Bunte M.C., Shishehbor M.H. Diabetes and peripheral arterial disease: a review of the literature / M.C. Bunte, M.H. Shishehbor // *Journal of the American College of Cardiology*. – 2014. – Vol. 64, No. 15. – P. 1561–1572. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.07.958>.
4. Diabetes Mellitus Promotes the Development of Atherosclerosis: The Role of NLRP3 / J. Ye et al. *Frontiers in Immunology*. 2022. Vol. 13. URL: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.900254>
5. Madamanchi N.R., Runge M.S. Mitochondrial dysfunction in atherosclerosis / N.R. Madamanchi, M.S. Runge // *Circulation Research*. – 2007. – Vol. 100. – P. 460–473. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.RES.0000258450.44413.96>.
6. Tiwari S., Ndisang J.F. Role of oxidative stress in cardiovascular diseases in diabetes / S. Tiwari, J.F. Ndisang // *Journal of Hypertension and Cardiology*. – 2014. – Vol. 3, No. 4. – P. 89–102.
7. Bikdeli B., Bonaca M.P. Endothelial dysfunction and thrombotic risk in peripheral artery disease / B. Bikdeli, M.P. Bonaca // *Thrombosis and Haemostasis*. – 2021. – Vol. 121, No. 4. – P. 372–384.
8. Tousoulis D., Papageorgiou N. Diabetes mellitus-associated vascular impairment: novel circulating biomarkers and therapeutic approaches / D. Tousoulis, N. Papageorgiou // *European Heart Journal*. – 2019. – Vol. 40, No. 13. – P. 934–944. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy856>.
9. Declaration of Helsinki of the World Medical Association "Ethical principles of medical research with the participation of a person as an object of research" (2008). Document 990_005, edition dated 10.01.2008. [online]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005.
10. General Declaration on Bioethics and Human Rights. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Science and Technology Ethics Division: Social Sciences and Humanities Sector. [Internet]. 2005. Available from: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>.
11. Giacco F., Brownlee M. Oxidative Stress and Diabetic Complications. *Circulation Research*. 2010. Vol. 107, no. 9. P. 1058–1070. URL: <https://doi.org/10.1161/circresaha.110.223545>
12. Vincent A. M., Feldman E. L. New Insights into the Mechanisms of Diabetic Neuropathy. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2004. Vol. 5, no. 3. P. 227–236. URL: <https://doi.org/10.1023/b:remd.0000032411.11422.e0>.

References

1. Burchinsky S. Г. Obliterating lesions of the arteries of the lower extremities: modern approaches to diagnosis and treatment / S. Г. Burchinsky, V. A. Smolanka // *Vascular surgery*. – 2020. – № 1. – P. 10-15 [in Ukrainian].
2. American Diabetes Association. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Medical Care in Diabetes-2023 / ADA // *Diabetes Care*. – 2023. – Vol. 46, Suppl. 1. – P. S158-S190. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc23-S010> [in English].
3. Bunte M.C., Shishehbor M.H. Diabetes and peripheral arterial disease: a review of the literature / M.C. Bunte, M.H. Shishehbor // *Journal of the American College of Cardiology*. – 2014. – Vol. 64, No. 15. – P. 1561-1572. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.07.958> [in English].
4. Diabetes Mellitus Promotes the Development of Atherosclerosis: The Role of NLRP3 / J. Ye et al. *Frontiers in Immunology*. 2022. Vol. 13. URL: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.900254> [in English]
5. Madamanchi N.R., Runge M.S. Mitochondrial dysfunction in atherosclerosis / N.R. Madamanchi, M.S. Runge // *Circulation Research*. – 2007. – Vol. 100. – P. 460-473. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.RES.0000258450.44413.96> [in English].
6. Tiwari S., Ndisang J.F. Role of oxidative stress in cardiovascular diseases in diabetes / S. Tiwari, J.F. Ndisang // *Journal of Hypertension and Cardiology*. – 2014. – Vol. 3, No. 4. – P. 89-102 [in English].

7. Bikdeli B., Bonaca M.P. Endothelial dysfunction and thrombotic risk in peripheral artery disease / B. Bikdeli, M.P. Bonaca // *Thrombosis and Haemostasis*. – 2021. – Vol. 121, No. 4. – P. 372–384 [in English].
8. Tousoulis D., Papageorgiou N. Diabetes mellitus–associated vascular impairment: novel circulating biomarkers and therapeutic approaches / D. Tousoulis, N. Papageorgiou // *European Heart Journal*. – 2019. – Vol. 40, No. 13. – P. 934–944. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy856> [in English].
9. Declaration of Helsinki of the World Medical Association "Ethical principles of medical research with the participation of a person as an object of research" (2008). Document 990_005, edition dated 10.01.2008. [online]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005 [in English].
10. General Declaration on Bioethics and Human Rights. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Science and Technology Ethics Division: Social Sciences and Humanities Sector. [Internet]. 2005. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> [in English].
11. Giacco F., Brownlee M. Oxidative Stress and Diabetic Complications. *Circulation Research*. 2010. Vol. 107, no. 9. P. 1058–1070. URL: <https://doi.org/10.1161/circresaha.110.223545> [in English].
12. Vincent A. M., Feldman E. L. New Insights into the Mechanisms of Diabetic Neuropathy. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2004. Vol. 5, no. 3. P. 227–236. URL: <https://doi.org/10.1023/b:remd.0000032411.11422.e0> [in English].

Cherevko O.

PhD student, Department of Biology,
Nizhyn Mykola Gogol State University
olga.cherevko2016@gmail.com
orcid.org/0009-0005-1216-0807

Kuchmenko O.

Doctor of biological Sciences, Professor, Head of the Biology Department of
Nizhyn Mykola Gogol State University
kuchmeh@yahoo.com
orcid.org/0000-0002-3021-8583

CHANGES IN THE COAGULATION SYSTEM AND BLOOD BIOCHEMICAL INDICATORS IN PATIENTS WITH OBLITERATING ATHEROSCLEROSIS AND TYPE 2 DIABETES

Obliterative atherosclerosis of the lower extremities is a serious vascular disease that leads to chronic ischemia and severe disability. This condition is caused by arterial stenosis or complete occlusion, resulting in impaired tissue perfusion. A key factor influencing the progression of atherosclerosis is the presence of concomitant type 2 diabetes mellitus, which worsens endothelial function and disrupts coagulation balance. The above changes lead to inflammation and oxidative stress, which leads to an increase in the number of critical cases and amputations. The aim of the study was to investigate metabolic and coagulation changes in patients with obliterative atherosclerosis depending on the presence of concomitant type 2 diabetes mellitus. The study involved 105 patients, who were divided into two groups: patients with isolated obliterative atherosclerosis and those with obliterative atherosclerosis combined with type 2 diabetes mellitus. General clinical, biochemical, coagulation and ultrasound examinations were performed. It was found that patients with obliterative atherosclerosis and concomitant diabetes mellitus exhibited more pronounced metabolic and coagulation disorders. Changes in hemoglobin, erythrocyte, leukocyte, glucose, and fibrinogen levels indicate the

multifactorial impact of diabetes mellitus on the pathogenesis and progression of atherosclerosis. Ultrasound examination of the lower limb vessels revealed hemodynamic disturbances in patients with obliterative atherosclerosis and diabetes mellitus, specifically a decrease in systolic blood flow velocity and an increase in the resistance index. These findings confirm that the combination of obliterative atherosclerosis and type 2 diabetes mellitus results in a more aggressive clinical course, requiring careful dynamic monitoring and a personalized approach to treatment and complication prevention. The results of this study can be used to improve screening algorithms, risk stratification, and clinical management of patients with comorbid conditions.

Key words: obliterative atherosclerosis, type II diabetes mellitus, metabolic disorders, coagulation changes, lower extremity ischemia, fibrinogen, oxidative stress, hyperglycemia, inflammation.

**Стаття до редакції надійшла 15.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 08.06.2025 року**

НОРМАЛЬНА І ПАТОЛОГІЧНА АНАТОМІЯ ТА ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ І ТВАРИН

УДК 612.8+159.9.072+612.017
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-58-70

Вовканич Л. С.

кандидат біологічних наук, доцент,
завідувач кафедри анатомії та фізіології
Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського
lsvovkanych@gmail.com
orcid.org/0000-0002-6642-6368

Федьків М. Р.

аспірантка кафедри фізіології людини і тварин
Львівський національний університет імені Івана Франка
викладачка кафедри анатомії та фізіології
Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського
mariyaf98@gmail.com
orcid.org/0000-0001-9180-3164

ВПЛИВ КОГНІТИВНОГО ТА ЕМОЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ: НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ

У статті здійснено огляд сучасних досліджень змін варіабельності серцевого ритму (BCP) під впливом когнітивного та емоційного навантаження. Актуальність дослідження зумовлена перспективністю використання неінвазивного методу аналізу BCP для оцінювання реакції організму на вплив психоемоційних чинників. Метою огляду є аналіз нейрофізіологічних механізмів впливу когнітивних та емоційних навантажень на BCP, особливостей змін основних показників BCP при когнітивному та емоційному навантаженні, а також особливостей реєстрації та аналізу BCP в умовах впливу навантажень на організм. На основі сучасних джерел обґрунтовано нейрофізіологічні механізми взаємозв'язку показників BCP і активності вищих структур центральної нервової системи. Проаналізовано активність центральної автономної мережі (CAN), яка об'єднує ключові регуляторні структури головного мозку (префронтальну кору, гіпокамп, мигдалеподібне тіло тощо). Висвітлено характер змін серцевого ритму при виконанні когнітивних завдань: зазвичай спостерігається активація симпатичної ланки АНС, підвищення ЧСС і зміни низки показників BCP, зокрема зменшення потужності HF хвиль та RMSSD й SDNN, а також підвищення потужності LF коливань. Зміни залежать від складності завдань, індивідуальних характеристик й рівня фізичної підготовленості. Показано, що емоційні подразники, зокрема ті, що викликають страх чи тривогу, призводять до більш виражених і швидких змін BCP – зростає симпатичний вплив, зменшується вагузна активність. Обговорено особливості змін показників BCP у спортсменів та фахівців професій, пов'язаних з когнітивними чи емоційними навантаженнями (медичні працівники, пілоти, рятувальники тощо). Проаналізовано основні обмеження та можливі джерела похибок при використанні аналізу BCP для оцінювання впливу на організм

емоційних чи когнітивних навантажень. Зокрема, підкреслені особливості аналізу ультракоротких записів та необхідність враховувати індивідуальні особливості варіабельності. Окреслено перспективи подальших досліджень щодо використання мобільних технологій для моніторингу ВСР у реальному часі в професійній діяльності та спорті.

Ключові слова: автономна нервова система, центральна автономна мережа, ультракороткі записи, спорт.

Вступ. Аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР) широко використовується у фізіологічних дослідженнях. Це метод неінвазивної оцінки функціонального стану організму, що базується на реєстрації та аналізі послідовного ряду кардіоінтервалів (RR інтервалів). Тривалість RR інтервалів найчастіше визначають з використанням електрокардіографічних чи фотоплетизмографічних методик [1-3]. Для аналізу ВСР застосовують різні групи методів, зокрема методи статистичного аналізу (time domain methods, методи часового аналізу), геометричні методи аналізу (geometrical measures, варіаційна пульсометрія), спектральні методи аналізу (frequency domain methods) та методи нелінійного аналізу [1-6]. Метод часового аналізу полягає у визначенні міри коливань RR інтервалів на основі таких показників, як RMSSD (квадратний корінь суми різниць послідовного ряду RR інтервалів), SDRR (стандартне відхилення RR інтервалів), SDNN (стандартне відхилення нормальних RR-інтервалів), pNN50 (відсоток послідовних RR-інтервалів, різниця між якими перевищує 50 мс.) тощо. Геометричні методи аналізу ВСР ґрунтуються на побудові гістограм або інших геометричних моделей, які дозволяють візуалізувати розподіл RR-інтервалів та визначити його ключові параметри. Спектральний аналіз дозволяє кількісно оцінити різні частотні складові коливань ВСР [1-6]. При коротких записах (5 хв.) виділяють три головні спектральні компоненти: високочастотні (High Frequency – HF), низькочастотні (Low Frequency – LF) та дуже низькочастотні (Very Low Frequency – VLF) коливання. Зміни HF коливань пов'язують з вагусною активністю. Вірогідно, що показник LF характеризує переважно стан вплив симпатичного відділу автономної нервової системи. До методів нелінійного аналізу ВСР належать графік Пуанкаре, детрендований аналіз флуктуацій, ентропійний аналіз та рекурентні діаграми [3].

Сучасний розвиток методів реєстрації ВСР та аналізу його показників з використанням портативних засобів зумовили підвищену увагу дослідників до перспективності використання таких показників для оцінювання впливу когнітивних та емоційних навантажень на організм людини, зокрема в умовах професійної або змагальної діяльності, тренувального процесу, а також за розвитку окремих патологічних станів. Більшість авторів зазначають, що низький рівень варіабельності ритму вказує на порушення автономної регуляції функцій та на вищий ризик розвитку несприятливих стресових реакцій [7-11]. Однак інтерпретація змін показників ВСР у відповідь на дію психоемоційних стимулів залишається складною у зв'язку з кількома чинниками. Зокрема, зниження рівня варіабельності може асоціюватись також з неврологічними чи психіатричними захворюваннями [12-15]. Існує також низка питань, пов'язаних з точністю оцінювання показників ВСР на основі ультракоротких записів, які доцільно використовувати для оцінювання часової динаміки впливу навантажень на організм. Окрім того, для коректного визначення показників ВСР необхідно враховувати артефакти, які можуть виникати у процесі виконання тестів, а їх оцінювання повинно враховувати наявність індивідуальних рис варіабельності. Тому, метою цього огляду є аналіз нейрофізіологічних механізмів впливу когнітивних та емоційних навантажень на ВСР, особливостей змін основних показників ВСР при когнітивному та емоційному навантаженні, а також особливостей реєстрації та аналізу ВСР в умовах впливу навантажень на організм.

Методика. Огляд літератури здійснено із застосуванням системного підходу з метою ідентифікації найбільш релевантних досліджень щодо впливу когнітивного та емоційного навантаження на показники ВСР. Пошук виконували за ключовими словами у провідних наукових базах даних, зокрема PubMed, Scopus та Web of Science. Розглядали джерела, оприлюднені упродовж останніх десяти років, а також аналізували бібліографічні списки наукових публікацій для виявлення додаткових релевантних джерел.

Аналізували переважно англomовні оглядові та експериментальні статті за тематикою огляду, які пройшли процедуру рецензування та були присвячені вивченню показників осіб зрілого віку незалежно від статі, професійної підготовки чи рівня рухової активності. Під час підготовки огляду не аналізували монографії, тези конференцій, а також дослідження з недостатньо деталізованими описом досліджуваного контингенту, методик досліджень та отриманих результатів.

Результати та їх обговорення. Нейрофізіологічне підґрунтя взаємозв'язку когнітивних функцій та варіабельність серцевого ритму. ВСР формується внаслідок складної взаємодії багатьох структур центральної нервової системи (ЦНС) за участю центральних і периферичних компонентів автономної нервової системи (АНС). Згідно із сучасними уявленнями, ключову роль у змінах ВСР під час активної розумової діяльності відіграє «центральна автономна мережа» (Central Autonomic Network, CAN). CAN є ключовим компонентом регуляторної системи організму, через яку ЦНС контролює вегетативні (автономні), нейроендокринні та поведінкові реакції, необхідні для виживання. Згідно з уявленнями Бенаррох Е. [16] до складу CAN належить острівцева частка кори головного мозку, мигдалеподібне тіло, гіпоталамус, центральна сіра речовина середнього мозку, приручкові ядра, ядро одинокого шляху та вентролатеральна частина довгастого мозку. Інші автори включають до складу CAN також ядра блукаючого нерва, вентромедіальні ділянки префронтальної кори, гіпокамп, таламус та інші структури [17-20]. Основні висхідні впливи до структур CAN надходять через блукаючий нерв та ядро одинокого шляху. Гуморальні впливи на CAN здійснюються за участю структур серединного підвищення та прилеглого нейрогіпофіза, судинного органу кінцевої пластинки, підсклепінного органу, заднього поля (так звані Circumventricular Organs) [19]. Низхідні впливи, які проявляються у змінах ВСР, здійснюються за участю центральних відділів CAN, які модулюють активності ядер АНС. Існують дослідження, що вказують на зв'язок показників ВСР з активністю фронтальних ділянок мозку, гіпокампу та інших структур кінцевого мозку. Зокрема, вища варіабельність ритму корелює з підвищеною активністю вентромедіальної префронтальної кори та пригніченням активності мигдалеподібних ядер [21]. Існують припущення, що підвищення амплітуди коливань серцевого ритму за механізмом зворотного зв'язку може впливати на функціонування нейронних мереж, повільні коливання серцевого ритму можуть посилювати активність у медіальній префронтальній корі, що покращує регулювання емоцій та соціальну поведінку [22]. Таким чином, до нейрофізіологічного підґрунтя зв'язку ЦНС та ВСР залучені різні структури CAN (особливо префронтальна кора, гіпокамп, мигдалеподібні ядра) і їх вплив на тонус симпатичного та парасимпатичного відділів АНС [19, 21]. Вірогідно, що у цій системі наявні як низхідні, так і висхідні впливи.

Зміни ВСР у відповідь на когнітивне та емоційне навантаження. Результати досліджень демонструють, що складні когнітивні завдання (тестування уваги, пам'яті або здатності до швидкого прийняття рішень) зазвичай викликають активацію симпатичної ланки АНС та зниження парасимпатичної активності [23]. Аналогічно впливає на показники ВСР диференціювання зорових [24, 25] та слухових подразників [26, 27]. У цих умовах часто спостерігають підвищення ЧСС і зміни низки показників ВСР, зокрема зменшення потужності HF хвиль, RMSSD й SDNN, SD1 та SD2 а також підвищення потужності LF коливань, [7, 10, 25, 28, 29], індексу напруження й амплітуди моди [24]. Водночас використання різних тестів для моделювання

когнітивного навантаження (mental arithmetic, Stroop Color-Word Test, Go/No-Go Reaction Task, n-back тощо) може по-різному впливати на окремі показники ВСР. За результатами аналізу літератури [31], виявлено, що 7 з 9 проаналізованих показників ВСР змінювались під час когнітивного навантаження. До них належали RR, SDRR, RMSSD, pNN50, D2, HF і LF/HF. Виявлене зменшення RR, RMSSD, pNN50, SDRR та HF, що вказувало на зменшену варіабельність серцевого ритму. На зміни показників ВСР під час виконання когнітивних навантажень можуть впливати додаткові чинники. Зокрема, Луке-Касадо та співавт. (2013) показали, що в групі з низьким рівнем фізичної підготовленості варіабельність ритму знижувалась у процесі виконання тривалих когнітивних завдань, тоді як у фізично підготовлених учасників цього зниження не спостерігалось [28]. Також, Макаренком та Лизогубом із співавторами [24, 26, 27, 29, 30] виявлений зв'язок між функціональною рухливістю нервових процесів (ФРНП) та змінами показників ВСР під впливом когнітивних та емоційних навантажень. Особи з високим рівнем ФРНП показали менший рівень активації симпатичної ланки АНС.

Стимули, що викликають емоційні реакції (страх, тривога, гнів тощо) також впливають на ВСР. При цьому виявлено, що комфортніший емоційний стан, пов'язаний з ефективнішою взаємодією між мигдалеподібним ядром та лобовою корою, супроводжується значною варіабельністю ритму, яка вказує на переважання тону парасимпатичної ланки АНС [12, 22]. Якщо емоційні стимули розцінюються як загрозові для організму, то відбуваються зміни ВСР, що вказують на посилення симпатичного тону, якщо ж середовище безпечне – підтримується висока варіабельність ритму (ваготонія) [12]. Короточасні емоційні реакції (наприклад, внаслідок впливу неочікуваного подразника) ведуть до швидкого зменшення потужності HF коливань та підвищення співвідношення LF/HF [7], тобто різко зменшують тону парасимпатичного відділу. У психологічних експериментах зазвичай реєструють типову зміну ВСР при відчутті страху чи тривоги: зниження SDNN і HF, збільшення ЧСС. Крім того, дослідження показують, що низька варіабельність ритму асоціюється з порушеннями регулювання емоцій та психічними патологіями, у той час як висока варіабельність є маркером адаптивних емоційних стратегій [12, 22].

Існують певні відмінності впливу емоційних та когнітивних подразників на ВСР. У якості стимулів, що викликають емоційні реакції, переважно використовують перегляд емоційно забарвлених зображень (IAPS) чи відео, симуляцію екстремальних ситуацій, соціальні стрес-тести (TSST), ігрові навантаження (кіберспорт). Також вивчають зміни ВСР, що виникають при зміні емоційного стану в умовах передекзаменаційного чи передзмагального стресу та (у поєднанні з анкетними методиками) у повсякденному житті. Емоційні подразники зазвичай викликають більші зміни ВСР за короткий час, тоді як когнітивні – більш поступове накопичення змін у параметрах ВСР [28]. Необхідно зазначити, що для моделювання емоційного навантаження використовують обмежену кількість експериментальних протоколів. Таким чином, у літературі переважно проаналізовані зміни ВСР, пов'язані з впливом саме таких різновидів подразників.

Показники ВСР як індикатор стресу й адаптації у спортсменів та фахівців окремих професій. У тренуваних спортсменів і фахівців професій, пов'язаних з когнітивними чи емоційними навантаженнями (медичні працівники, пілоти, оператори, рятувальники тощо), зазвичай спостерігаються вищі показники варіабельності ритму у спокої та формування оптимізованої відповіді на вплив навантаження. При гострому фізичному стресі (наприклад, під час виконання фізичних вправ) здебільшого спостерігається зниження варіабельності ритму внаслідок підвищення активності симпатичної ланки регуляції та зниження парасимпатичної тону [32, 33]. Водночас тривала адаптація до фізичних навантажень супроводжується наростанням загальної варіабельності ритму та збільшенням парасимпатичних впливів на ритмічні процеси. Ці зміни проявляються збільшенням тривалості кардіоінтервалів, підвищенням SDNN, RMSSD (а також Ln RMSSD) та pNN50 [32-35] у спортсменів у стані спокою. Адаптація

до регулярних навантажень у спортсменів також супроводжується пришвидшенням відновлення показників ВСР після навантажень та зменшенням змін варіабельності ритму у процесі їхнього виконання. За даними окремих досліджень представники окремих ігрових та циклічних видів спорту продемонстрували кращі результати в когнітивних тестах та вищі показники ВСР порівняно з особами з низькою руховою активністю [36, 37]. Це узгоджується з дослідженнями Луке-Касадо із співавт. (2013), де група людей з високим рівнем фізичної підготовленості показала менше зниження варіабельності ритму під час виконання когнітивного завдання порівняно з групою нетренованих осіб [28]. Параметри ВСР також можна використовувати для контролю стану спортсмена у видах спорту із значним психофізіологічним навантаженням, наприклад у кіберспорті [38]. Показники ВСР можуть слугувати також індикаторами когнітивного та емоційного навантаження, що виникає внаслідок професійної діяльності. Зокрема, дослідження ВСР лікарів невідкладної допомоги, анестезіологів, хірургів, персоналу швидкої медичної допомоги сконцентровані на аналізі SDNN, RMSSD, PNN50, LF % та LF/HF [9]. Наявні також роботи, у яких вивчається вплив когнітивного навантаження, пов'язаного з аналізом слухових подразників, на показники ВСР (LF/HF, SDNN, HF, LF, VLF) операторів мобільного зв'язку [27]. Показники ВСР розглядають як індикатори професійного навантаження рятувальників та пожежників [39], пілотів [40], зокрема військових пілотів [41].

Перспективи та обмеження аналізу ВСР під час когнітивних та емоційних навантажень. Для вимірювання ВСР зазвичай рекомендується використовувати записи ЕКГ тривалістю 5 хв і більше [1-6]. Однак в експериментальній практиці, зокрема під час виконання фізичних, когнітивних чи емоційних навантажень, часто виникає потреба значно скоротити інтервал реєстрації ВСР (до 10–60 с) для швидкого оцінювання змін. На сьогодні існують дані, що підтверджують можливість отримання прийнятної точності для окремих показників ВСР навіть за умови 10–30-секундних інтервалів реєстрації. Наприклад, Муньос із співавт. (2015) показали, що одного 10-секундного фрагмента достатньо для отримання близької до коректної оцінки RMSSD, а для SDNN рекомендують збільшити тривалість реєстрації до 30 с або виконати усереднення декількох 10-секундних серій [42]. У дослідженні Бернардес із співавт. (2022) показано, що основні показники ВСР (HR, SDNN, RMSSD, HF, LF/HF та окремі показники спектрального аналізу) можна з достатньою точністю визначити навіть за 60-секундних інтервалів реєстрації [43]. Водночас Шаффер Ф. та співавт. (2020) підкреслюють, що більшість робіт з ультракороткими записами використовували для оцінювання точності кореляційний аналіз замість статистики Блант-Альтмана, та не враховували можливий вплив артефактів, які можуть суттєво спотворити результати [44]. Тому, вони наполягають на необхідності дотримання шести рекомендацій для підвищення точності оцінювання показників ВСР на основі ультракоротких записів. До них належить, зокрема, автоматична корекція артефактів, визначення мінімальних періодів реєстрації, встановлення норм для оцінювання показників за умови ультракороткої реєстрації тощо. Таким чином, ультракороткі записи можуть дати практичну інформацію у реальному часі, але слід ретельно оцінювати їх обмеження і враховувати можливі помилки інтерпретації [42, 44]. Водночас параметри спектрального аналізу ВСР вимагають триваліших термінів реєстрації, оскільки період окремих коливань (LF, HF) наближається чи перевищує тривалість ультракоротких записів.

У науковій літературі [45, 46] вказані також основні обмеження та можливі джерела похибок використання аналізу ВСР під час емоційних чи когнітивних навантажень. До них, зокрема, належать: вплив рухів голови чи рук під час виконання завдань (можуть сприяти появі артефактів), зміни частоти та глибини дихання (впливають, зокрема, на RSA та HF хвилі), а також психологічні особливості досліджуваних, зокрема наявність попереднього досвіду та рівень їхньої мотивації. Під час аналізу необхідно враховувати значну індивідуальну варіабельність показників ВСР,

тому зазвичай рекомендовано порівнювати індивідуальні зміни показників, а не абсолютні відмінності середніх значень. Застосування ультракоротких записів вимагає корекції артефактів та добору тих параметрів ВСР, які можуть бути коректно визначені упродовж певних інтервалів часу. Вочевидь, для отримання відтворюваних результатів необхідно дотримуватись стандартних вимог до організації досліджень ВСР, зокрема часу реєстрації, положення тіла досліджуваного, його активності перед початком реєстрації тощо [1-6].

Практичне застосування ВСР як інструменту моніторингу психоемоційного стану. Аналіз літературних джерел свідчить про наявність широкого спектру портативних пристроїв (смайт-годинники, фітнес-трекери), які забезпечують безперервний моніторинг ЧСС і ВСР у повсякденному житті [47]. Це створює можливості для використання методик ВСР для аналізу психоемоційного стану та вивчення його змін під впливом когнітивних та емоційних навантажень. У спорті показники ВСР широко застосовуються для контролю втоми та готовності до навантажень. Зокрема, високі значення RMSSD та SDNN вказують на високий рівень підготовленості, а стійке зниження цих показників може слугувати індикатором погіршення функціонального стану (перенапруження, перетренованість) [35]. В галузі професійної діяльності (пілоти, лікарі, військові, рятувальники, оператори) ВСР може слугувати маркером змін, викликані когнітивним чи емоційним навантаженнями [9, 27, 39-41]. На сьогодні розроблені програмні засоби, що попереджають про високі навантаження в режимі реального часу [48]. У нейропсихологічних дослідженнях та у напрямку психології та психотерапії показники ВСР застосовують для оцінки рівня тривоги, депресії та постстресового стану [12]. Все ширше впроваджують ВСР (HRV biofeedback) також у методики лікуванні тривоги, депресії та стресових розладів, що дозволяє пацієнту здійснювати довільне посилення тону парасимпатичного відділу АНС для поліпшення емоційного стану [49, 50]. З метою покращення аналізу даних сьогодні активно використовують алгоритми машинного навчання, які базуються на поєднаному аналізі ВСР та інших даних (наприклад змін електричного опору шкіри, температури тіла, показників дихання) для виявлення стресу в режимі реального часу [47]. Завдяки цьому формується індивідуальний підхід та персоналізовані програми покращення психоемоційного стану.

Висновки. Аналіз показників ВСР є перспективним засобом дослідження когнітивного та емоційного навантаження, що широко обговорюється у сучасній науковій літературі. Хоча загальні тенденції зміни показників ВСР під час виконання когнітивних завдань чи дії емоційних стресових чинників добре описані, проте існує необхідність удосконалення підходів до їхньої інтерпретації. Основними напрямками удосконалення є покращення методик реєстрації та підходів до аналізу ультракоротких записів, поєднання реєстрації ВСР та інших фізіологічних показників організму (зовнішнього дихання, гальванічного опору шкіри, температури тіла тощо), урахування індивідуальних особливостей (типу ВНД, лабільності, сили, гальмування нервових процесів тощо) нервової системи та розвиток машинного навчання для підвищення точності й індивідуалізації оцінювання показників. За дотримання належних вимог до реєстрації та аналізу показники ВСР можуть бути одним із індикаторів як когнітивного, так і емоційного навантаження, що відкриває нові можливості для інтегративного моніторингу психоемоційного стану людини в режимі реального часу.

Література

1. Heart rate variability measurement and influencing factors: towards the standardization of methodology / N. Damoun et al. *Global cardiology science and practice*. 2024. Vol. 2024, no. 4. URL: <https://doi.org/10.21542/gcsp.2024.35>
2. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science / S. Sammito et al. *Journal of occupational medicine and toxicology*. 2024. Vol. 19, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00414-9>

3. Heart rate variability over the decades: a scoping review / A. Sundas et al. *PeerJ*. 2025. Vol. 13. P. e19347. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.19347>
4. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*. 1996. Vol. 93, no. 5. P. 1043–1065. URL: <https://doi.org/10.1161/01.cir.93.5.1043>
5. Advances in heart rate variability signal analysis: Joint position statement by the e-cardiology ESC working group and the european heart rhythm association co-endorsed by the asia pacific heart rhythm society / R. Sassi et al. *Europace*. 2015. Vol. 17, no. 9. P. 1341–1353. URL: <https://doi.org/10.1093/europace/euv015>
6. Shaffer F., Ginsberg J. P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*. 2017. Vol. 5. URL: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
7. Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature / H.-G. Kim et al. *Psychiatry investigation*. 2018. Vol. 15, no. 3. P. 235–245. URL: <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
8. Measuring psychosocial stress with heart rate variability-based methods in different health and age groups / S. M. Seipäjärvi et al. *Physiological measurement*. 2022. Vol. 43, no. 5. P. 235–245. URL: <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac6b7c>
9. A systematic review of heart rate variability as a measure of stress in medical professionals / J. E. Peabody et al. *Cureus*. 2023. URL: <https://doi.org/10.7759/cureus.34345>
10. Heart rate variability for evaluating psychological stress changes in healthy adults: a scoping review / S. Immanuel et al. *Neuropsychobiology*. 2023. P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.1159/000530376>
11. Heart rate variability as a measure of mental stress in surgery: a systematic review / A.-F. The et al. *International archives of occupational and environmental health*. 2020. Vol. 93, no. 7. P. 805–821. URL: <https://doi.org/10.1007/s00420-020-01525-6>
12. Is low heart rate variability associated with emotional dysregulation, psychopathological dimensions, and prefrontal dysfunctions? An integrative view / L. A. Cattaneo et al. *Journal of personalized medicine*. 2021. Vol. 11, no. 9. P. 872. URL: <https://doi.org/10.3390/jpm11090872>
13. Nicolini P., Malfatto G., Lucchi T. Heart rate variability and cognition: a narrative systematic review of longitudinal studies. *Journal of clinical medicine*. 2024. Vol. 13, no. 1. P. 280. URL: <https://doi.org/10.3390/jcm13010280>
14. Heart rate variability in mental disorders: an umbrella review of meta-analyses / Z. Wang et al. *Translational psychiatry*. 2025. Vol. 15, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41398-025-03339-x>
15. Forte G., Favieri F., Casagrande M. Heart rate variability and cognitive function: a systematic review. *Frontiers in neuroscience*. 2019. Vol. 13. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00710>
16. Benarroch E. E. The central autonomic network: functional organization, dysfunction, and perspective. *Mayo clinic proceedings*. 1993. Vol. 68, no. 10. P. 988–1001. URL: [https://doi.org/10.1016/s0025-6196\(12\)62272-1](https://doi.org/10.1016/s0025-6196(12)62272-1)
17. Sklerov M., Dayan E., Browner N. Functional neuroimaging of the central autonomic network: recent developments and clinical implications. *Clinical autonomic research*. 2018. Vol. 29, no. 6. P. 555–566. URL: <https://doi.org/10.1007/s10286-018-0577-0>
18. Lamotte G., Shouman K., Benarroch E. E. Stress and central autonomic network. *Autonomic neuroscience*. 2021. Vol. 235. P. 102870. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2021.102870>
19. Understanding the roles of central and autonomic activity during sleep in the improvement of working memory and episodic memory / P.-C. Chen et al. *Proceedings of the national academy of sciences*. 2022. Vol. 119, no. 44. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2123417119>
20. Quadt L., Critchley H., Nagai Y. Cognition, emotion, and the central autonomic network. *Autonomic neuroscience*. 2022. Vol. 238. P. 102948. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2022.102948>

21. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health / J. F. Thayer et al. *Neuroscience & biobehavioral reviews*. 2012. Vol. 36, no. 2. P. 747–756. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
22. Mather M., Thayer J. F. How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Current opinion in behavioral sciences*. 2018. Vol. 19. P. 98–104. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.12.017>
23. Endukuru C., Tripathi S. Evaluation of cardiac responses to stress in healthy individuals—a non invasive evaluation by heart rate variability and Stroop test. *International Journal of Science and Research*. 2012. Vol. 5. P. 286–289.
24. Гемодинаміка головного мозку та серцевий ритм при розумовій діяльності людей з різними індивідуально-типологічними властивостями вищих відділів центральної нервової системи / М. В. Макаренко та ін. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Біологія, хімія*. 2012. Том 25(64), № 4. С. 136–143.
25. Processing information in the go/nogo/go paradigm: Interactions between cognitive function and the autonomic nervous system / V. Lyzohub et al. *Health Problems of Civilization*. 2020. Vol. 14, no. 1. P. 53–62. <https://doi.org/10.5114/hpc.2020.93294>
26. Серцевий ритм у осіб з різною функціональною рухливістю нервових процесів при переробці слухової інформації / В. С. Лизогуб та ін. *Учені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Біологія, хімія*. 2010. Том 23(62), № 4. С. 131–136.
27. Індивідуальні нейродинамічні та нейровегетативні властивості операторів мобільного зв'язку / М. В. Макаренко та ін. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2018. Vol. 3, № 53. С. 76–84. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1434367>
28. Cognitive performance and heart rate variability: the influence of fitness level / A. Luque-Casado et al. *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8, no. 2. P. e56935. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056935>
29. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Юхименко Л. І. Серцевий ритм у студентів з різними індивідуально-типологічними властивостями вищої нервової діяльності за умов емоційного стресу. *Фізіологічний журнал*. 2003. Том 49, № 1. С. 28–33.
30. Makarenko N. V., Lizogub V. S., Yukhimenko L. I. Reactions of the autonomic nervous system of students with different characteristics of higher nervous activity in the situation of examination stress. *Human Physiology*. 2006. Vol. 32, no. 3. P. 368–370. <https://doi.org/10.1134/S0362119706030182>
31. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: a systematic review with meta-analysis / R. Castaldo et al. *Biomedical signal processing and control*. 2015. Vol. 18. P. 370–377. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>
32. Editorial: new perspectives and insights on heart rate variability in exercise and sports / J. L. Stomiolo et al. *Frontiers in sports and active living*. 2025. Vol. 7. URL: <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1574087>
33. Effect of exercise modality on heart rate variability in adults: a systematic review and network meta-analysis / F. Yang et al. *Reviews in cardiovascular medicine*. 2024. Vol. 25, no. 1. P. 9. URL: <https://doi.org/10.31083/j.rcm2501009>
34. Dong J.-G. The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and therapeutic medicine*. 2016. Vol. 11, no. 5. P. 1531–1536. URL: <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104>
35. Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review / V. P. da Silva et al. *Annals of noninvasive electrocardiology*. 2014. Vol. 20, no. 2. P. 108–118. URL: <https://doi.org/10.1111/anec.12237>
36. Chakraborty S., Suryavanshi C. A., Nayak K. R. Cognitive function and heart rate variability in open and closed skill sports. *Annals of medicine*. 2023. Vol. 55, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2267588>
37. Suryavanshi C. A., Nayak K. R. Cognitive function and heart rate variability in open and closed skill sports. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*. 2023. Vol. 33, no. 6. P. 647–654.

38. The use of heart rate variability in esports: a systematic review / M. R. Welsh et al. *Psychology of sport and exercise*. 2023. P. 102495. URL: <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102495>
39. Monitoring stress and allostatic load in first responders and tactical operators using heart rate variability: a systematic review / S. L. Corrigan et al. *BMC public health*. 2021. Vol. 21, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11595-x>
40. Wang P., Houghton R., Majumdar A. Detecting and predicting pilot mental workload using heart rate variability: a systematic review. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 12. P. 3723. URL: <https://doi.org/10.3390/s24123723> [in English].
41. Heart rate variability in military pilots during flight: a scoping review / A. B. F. Soares et al. *Military medicine*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1093/milmed/usae390>
42. Validity of (ultra-)short recordings for heart rate variability measurements / M. L. Munoz et al. *Plos one*. 2015. Vol. 10, no. 9. P. e0138921. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138921>
43. How reliable are ultra-short-term HRV measurements during cognitively demanding tasks? / A. Bernardes et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 17. P. 6528. URL: <https://doi.org/10.3390/s22176528>
44. Shaffer F., Meehan Z. M., Zerr C. L. A critical review of ultra-short-term heart rate variability norms research. *Frontiers in neuroscience*. 2020. Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.594880>
45. Laborde S., Mosley E., Thayer J. F. Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research – recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in psychology*. 2017. Vol. 08. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
46. Quintana D. S., Alvares G. A., Heathers J. A. J. Guidelines for Reporting Articles on Psychiatry and Heart rate variability (GRAPH): recommendations to advance research communication. *Translational psychiatry*. 2016. Vol. 6, no. 5. P. e803-e803. URL: <https://doi.org/10.1038/tp.2016.73>
47. Detection and monitoring of stress using wearables: a systematic review / A. Pinge et al. *Frontiers in computer science*. 2024. Vol. 6. URL: <https://doi.org/10.3389/fcomp.2024.1478851>
48. Heart rate variability as a measure of mental fatigue in aviation and space operations / Wang Y et al. *Frontiers in Physiology*. 2022. Vol. 13, 831266
49. Correction to: heart rate variability biofeedback improves emotional and physical health and performance: a systematic review and meta-analysis / P. Lehrer et al. *Applied psychophysiology and biofeedback*. 2021. Vol. 46, no. 4. P. 389. URL: <https://doi.org/10.1007/s10484-021-09526-y>
50. Neurophysiological approach by self-control of your stress-related autonomic nervous system with depression, stress and anxiety patients / K. Blasé et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18, No 7. P. 3329. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073329>

References

1. Damoun, N., Amekran, Y., Taiek, N., & El Hangouche, A. J. (2024). Heart rate variability measurement and influencing factors: Towards the standardization of methodology. *Global Cardiology Science and Practice*, 2024(4). doi:10.21542/gcsp.2024.35 [in English].
2. Sammito, S., Thielmann, B., Klussmann, A., Deußen, A., Braumann, K.-M., & Böckelmann, I. (2024). Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 19(1). doi:10.1186/s12995-024-00414-9 [in English].
3. Sundas, A., Contreras, I., Navarro-Otano, J., Soler, J., Beneyto, A., & Vehi, J. (2025). Heart rate variability over the decades: A scoping review. *PeerJ*, 13, e19347. doi:10.7717/peerj.19347. [in English].
4. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: standards of measurement,

physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. doi:10.1161/01.cir.93.5.1043 [in English].

5. Sassi, R., Cerutti, S., Lombardi, F., Malik, M., Huikuri, H. V., Peng, C.-K., ... Macfadyen, R. (2015). Advances in heart rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *Europace*, 17(9), 1341–1353. doi:10.1093/europace/euv015 [in English].

6. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5. doi:10.3389/fpubh.2017.00258 [in English].

7. Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investigation*, 15(3), 235–245. doi:10.30773/pi.2017.08.17 [in English].

8. Seipäjäarvi, S. M., Tuomola, A., Juurakko, J., Rottensteiner, M., Rissanen, A. E., Kurkela, J. L. O., Kujala, U. M., Laukkanen, J. A., & Wikgren, J. (2022). Measuring psychosocial stress with heart rate variability-based methods in different health and age groups. *Physiological measurement*, 43(5), 10.1088/1361-6579/ac6b7c. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac6b7c> [in English].

9. Peabody, J. E., Ryznar, R., Ziesmann, M. T., & Gillman, L. (2023). A systematic review of heart rate variability as a measure of stress in medical professionals. *Cureus*. doi:10.7759/cureus.34345 [in English].

10. Immanuel, S., Teferra, M. N., Baumert, M., & Bidargaddi, N. (2023). Heart rate variability for evaluating psychological stress changes in healthy adults: A scoping review. *Neuropsychobiology*, 1–16. doi:10.1159/000530376 [in English].

11. The, A.-F., Reijmerink, I., van der Laan, M., & Cnossen, F. (2020). Heart rate variability as a measure of mental stress in surgery: A systematic review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 93(7), 805–821. doi:10.1007/s00420-020-01525-6 [in English].

12. Cattaneo, L. A., Franquillo, A. C., Grecucci, A., Beccia, L., Caretti, V., & Dadomo, H. (2021). Is low heart rate variability associated with emotional dysregulation, psychopathological dimensions, and prefrontal dysfunctions? An integrative view. *Journal of Personalized Medicine*, 11(9), 872. doi:10.3390/jpm11090872 [in English].

13. Nicolini, P., Malfatto, G., & Lucchi, T. (2024). Heart rate variability and cognition: A narrative systematic review of longitudinal studies. *Journal of Clinical Medicine*, 13(1), 280. doi:10.3390/jcm13010280 [in English].

14. Wang, Z., Zou, Y., Liu, J., Peng, W., Li, M., & Zou, Z. (2025). Heart rate variability in mental disorders: An umbrella review of meta-analyses. *Translational Psychiatry*, 15(1). doi:10.1038/s41398-025-03339-x [in English].

15. Forte, G., Favieri, F., & Casagrande, M. (2019). Heart rate variability and cognitive function: A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, 13. doi:10.3389/fnins.2019.00710 [in English].

16. Benarroch, E. E. (1993). The central autonomic network: Functional organization, dysfunction, and perspective. *Mayo Clinic Proceedings*, 68(10), 988–1001. doi:10.1016/s0025-6196(12)62272-1 [in English].

17. Sklerov, M., Dayan, E., & Browner, N. (2018). Functional neuroimaging of the central autonomic network: Recent developments and clinical implications. *Clinical Autonomic Research*, 29(6), 555–566. doi:10.1007/s10286-018-0577-0 [in English].

18. Lamotte, G., Shouman, K., & Benarroch, E. E. (2021). Stress and central autonomic network. *Autonomic Neuroscience*, 235, 102870. doi:10.1016/j.autneu.2021.102870 [in English].

19. Chen, P.-C., Zhang, J., Thayer, J. F., & Mednick, S. C. (2022). Understanding the roles of central and autonomic activity during sleep in the improvement of working memory and episodic memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(44). doi:10.1073/pnas.2123417119 [in English].

20. Quadt, L., Critchley, H., & Nagai, Y. (2022). Cognition, emotion, and the central autonomic network. *Autonomic Neuroscience*, 238, 102948. doi:10.1016/j.autneu.2022.102948 [in English].

21. Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747–756. doi:10.1016/j.neubiorev.2011.11.009 [in English].
22. Mather, M., & Thayer, J. F. (2018). How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 19, 98–104. doi:10.1016/j.cobeha.2017.12.017 [in English].
23. Endukuru C, & Tripathi S. (2016). Evaluation of cardiac responses to stress in healthy individuals—a non invasive evaluation by heart rate variability and Stroop test. *International Journal of Science and Research*, 5, 286–289 [in English].
24. Makarenko, M. V., Lyzohub, V. S., Yukhymenko, L. I., & Chernenko, N. P. (2012). Hemodynamika holovnoho mozku ta sertsevyi rytm pry rozumovii diialnosti liudei z riznymy indyvidualno-typolohichnymy vlastyostiamy vyshchych viddiliv tsentralnoi nervovoi systemy [Cerebral hemodynamics and heart rate during mental activity of people with different individual typological properties of the higher parts of the central nervous system]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Seria: Biolohiia, khimiia*, 25(64)(4), 136–143 [in Ukrainian].
25. Lyzohub, V., Kozhemiako, T., Palabiyik, A. A., Khomenko, S., & Bezcopylna, S. (2020). Processing information in the go/nogo/go paradigm: Interactions between cognitive function and the autonomic nervous system. *Health Problems of Civilization*, 14(1), 53–62. <https://doi.org/10.5114/hpc.2020.93294> [in English].
26. Lyzohub, V. S., Yukhymenko, L. I., Khomenko, S. M., & Chernenko, N. P. (2010). Sertsevyi rytm u osib z riznoi funktsionalnoi rukhlyvisti nervovykh protsesiv pry pererobtsi slukhovoi informatsii [Heart rate in individuals with different functional mobility of neural processes during auditory information processing]. *Ucheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Seria: Biolohiia, khimiia*, 23(62)(4), 131–136 [in Ukrainian].
27. Makarenko, M. V., Lyzohub, V. S., Makarchuk, M. Yu., Yukhymenko, L. I., & Khomenko, S. M. (2018). Indyvidualni neirodynamichni ta neirovegetatyvni vlastyosti operatoriv mobilnoho zviazku [Individual neurodynamic and neurovegetative properties of mobile operators]. *Aktualni problemy transportnoi medytsyny*, (3)(53), 76–84. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1434367> [in Ukrainian].
28. Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M., & Sanabria, D. (2013). Cognitive performance and heart rate variability: The influence of fitness level. *PLoS ONE*, 8(2), e56935. doi:10.1371/journal.pone.0056935 [in English].
29. Makarenko, M. V., Lyzohub, V. S., & Yukhymenko, L. I. (2003). Sertsevyi rytm u studentiv z riznymy indyvidualno-typolohichnymy vlastyostiamy vyshchoi nervo-voi diialnosti za umov emotsiinoho stresu [Heart rate in students with different individual typological properties of higher nervous activity under conditions of emotional stress]. *Fiziolohichni zhurnal*, 49(1), 28–33 [in Ukrainian].
30. Makarenko, N. V., Lizogub, V. S., & Yukhymenko, L. I. (2006). Reactions of the autonomic nervous system of students with different characteristics of higher nervous activity in the situation of examination stress. *Human Physiology*, 32(3), 368–370. <https://doi.org/10.1134/S0362119706030182> [in English].
31. Castaldo, R., Melillo, P., Bracale, U., Caserta, M., Triassi, M., & Pecchia, L. (2015). Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 18, 370–377. doi:10.1016/j.bspc.2015.02.012 [in English].
32. Stornolo, J. L., Correale, L., Buzzachera, C. F., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2025). Editorial: New perspectives and insights on heart rate variability in exercise and sports. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7. doi:10.3389/fspor.2025.1574087 [in English].
33. Yang, F., Ma, Y., Liang, S., Shi, Y., & Wang, C. (2024). Effect of exercise modality on heart rate variability in adults: A systematic review and network meta-analysis. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, 25(1), 9. doi:10.31083/j.rcm2501009 [in English].
34. Dong, J.-G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 11(5), 1531–1536. doi:10.3892/etm.2016.3104 [in English].

35. da Silva, V. P., de Oliveira, N. A., Silveira, H., Mello, R. G. T., & Deslandes, A. C. (2014). Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: A systematic review. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 20(2), 108–118. doi:10.1111/anec.12237 [in English].
36. Chakraborty, S., Suryavanshi, C. A., & Nayak, K. R. (2023). Cognitive function and heart rate variability in open and closed skill sports. *Annals of Medicine*, 55(2). doi:10.1080/07853890.2023.2267588 [in English].
37. Suryavanshi C. A., Nayak K. R. (2023). Cognitive function and heart rate variability in open and closed skill sports. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*, 33(6), 647–654 [in English].
38. Welsh, M. R., Mosley, E., Laborde, S., Day, M. C., Sharpe, B. T., Burkill, R. A., & Birch, P. D. J. (2023). The use of heart rate variability in esports: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, 102495. doi:10.1016/j.psychsport.2023.102495 [in English]
39. Corrigan, S. L., Roberts, S., Warmington, S., Drain, J., & Main, L. C. (2021). Monitoring stress and allostatic load in first responders and tactical operators using heart rate variability: A systematic review. *BMC Public Health*, 21(1). doi:10.1186/s12889-021-11595-x [in English].
40. Wang, P., Houghton, R., & Majumdar, A. (2024). Detecting and predicting pilot mental workload using heart rate variability: A systematic review. *Sensors*, 24(12), 3723. doi:10.3390/s24123723 [in English].
41. Soares, A. B. F., Almeida, M. F. d., Franchini, E., Ferreira, F. G., & Campos, F. A. D. (2024). Heart rate variability in military pilots during flight: A scoping review. *Military Medicine*. doi:10.1093/milmed/usae390 [in English].
42. Munoz, M. L., van Roon, A., Riese, H., Thio, C., Oostenbroek, E., Westrik, I., ... Snieder, H. (2015). Validity of (ultra-)short recordings for heart rate variability measurements. *Plos One*, 10(9), e0138921. doi:10.1371/journal.pone.0138921 [in English].
43. Bernardes, A., Couceiro, R., Medeiros, J., Henriques, J., Teixeira, C., Simões, M., ... Carvalho, P. (2022). How reliable are ultra-short-term HRV measurements during cognitively demanding tasks? *Sensors*, 22(17), 6528. doi:10.3390/s22176528 [in English].
44. Shaffer, F., Meehan, Z. M., & Zerr, C. L. (2020). A critical review of ultra-short-term heart rate variability norms research. *Frontiers in Neuroscience*, 14. doi:10.3389/fnins.2020.594880 [in English].
45. Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research – recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, 08. doi:10.3389/fpsyg.2017.00213 [in English].
46. Quintana, D. S., Alvares, G. A., & Heathers, J. A. J. (2016). Guidelines for Reporting Articles on Psychiatry and Heart rate variability (GRAPH): Recommendations to advance research communication. *Translational Psychiatry*, 6(5), e803-e803. doi:10.1038/tp.2016.73 [in English].
47. Pinge, A., Gad, V., Jaisighani, D., Ghosh, S., & Sen, S. (2024). Detection and monitoring stress using wearables: A systematic review. *Frontiers in Computer Science*, 6. doi:10.3389/fcomp.2024.1478851 [in English].
48. Wang Y, Wang H, Wu S, & Xu L. (2022). Heart rate variability as a measure of mental fatigue in aviation and space operations. *Frontiers in Physiology*, 13, 831266 [in English].
49. Lehrer, P., Kaur, K., Sharma, A., Shah, K., Huseby, R., Bhavsar, J., ... Zhang, Y. (2021). Correction to: Heart rate variability biofeedback improves emotional and physical health and performance: A systematic review and meta analysis. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 46(4), 389. doi:10.1007/s10484-021-09526-y [in English].
50. Blase, K., Vermetten, E., Lehrer, P., & Gevirtz, R. (2021). *Neurophysiological approach by self-control of your stress-related autonomic nervous system with depression, stress and anxiety patients*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3329. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073329>
-

Vovkanych L.

Candidate of biological Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Anatomy and Physiology
Ivan Boberskyi Lviv State University of Physical Culture
lsvovkanych@gmail.com
orcid.org/0000-0002-6642-6368

Fedkiv M.

PhD student, Department of Human and Animal Physiology
Ivan Franko National University of Lviv
Lecturer of the Department of Anatomy and Physiology
Ivan Boberskyi Lviv State University of Physical Culture
mariyaf98@gmail.com
orcid.org/0000-0001-9180-3164

THE IMPACT OF COGNITIVE AND EMOTIONAL LOAD ON HEART RATE VARIABILITY: NEUROPHYSIOLOGICAL MECHANISMS AND MODERN APPROACHES TO ANALYSIS

This review presents a comprehensive analysis of recent studies on changes in heart rate variability (HRV) under cognitive and emotional stress. The growing interest in HRV analysis stems from its potential as a non-invasive method for evaluating the human's physiological responses to psycho-emotional stimuli. The review aims to explore the neurophysiological mechanisms through which cognitive and emotional factors influence HRV, to identify characteristic patterns in key HRV indices under such conditions, and to address methodological considerations related to HRV measurement and interpretation during stress exposure. Current evidence supports a close link between HRV metrics and the functional activity of higher-order brain structures, particularly those within the central autonomic network (CAN), including the prefrontal cortex, hippocampus, and amygdala. Cognitive load is typically associated with sympathetic activation, increased heart rate, reduced high-frequency (HF) power, and decreased time-domain measures such as RMSSD and SDNN, alongside elevated low-frequency (LF) power. These responses are modulated by factors such as task complexity, individual characteristics, and physical fitness. Emotional stimuli, especially those eliciting fear or anxiety, tend to provoke more immediate and pronounced shifts in autonomic balance, marked by heightened sympathetic drive and diminished vagal tone. The review further examines HRV dynamics in athletes and professionals regularly exposed to cognitive or emotional stress, such as medical personnel, pilots, and emergency workers. It also addresses key limitations and potential sources of error in HRV-based stress assessment, including the constraints of ultra-short recordings and the need to account for individual variability. Finally, the review highlights promising avenues for future research, particularly the integration of mobile technologies for real-time HRV monitoring in occupational and sports contexts.

Key words: heart rate, autonomic nervous system, central autonomic network, ultra-short-term recordings, sport.

**Стаття до редакції надійшла 16.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 10.06.2025 року**

УДК 612.1:504.064:612.017

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-71-78

Карнаушенко Д. П.

аспірант кафедри біології людини

та методики навчання хімії

Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка

Dimonkark@ukr.net

orcid.org/0009-0000-0244-3866

**ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНИХ СТРЕСОРІВ
НА ГЕМАТОЛОГІЧНИЙ ПРОФІЛЬ ЛЮДИНИ**

Метою роботи було визначення екологічних стресорів та механізму їх впливу на показники гематологічного профілю людини як індикативних маркерів стану здоров'я. У дослідженні застосовано теоретичні методи наукового пізнання, зокрема контент-аналіз, порівняльний аналіз, узагальнення та систематизацію наукових джерел на основі публікацій, розміщених у наукометричних базах даних Scopus, Web of Science, PubMed. Узагальнено, що основні гематологічні показники, які складають основу загально-клінічного аналізу крові та є початковим етапом в діагностиці різних порушень здоров'я, в сукупності дають комплексну картину стану кровотворної та імунної систем, що дозволяє виявити хвороботворні процеси (анемію, запальні процеси, інфекції, порушення згортання крові), що можуть бути наслідком впливу екологічних стресорів. Визначено, що основними екологічними стресорами, які впливають на гематологічний профіль людини, є забруднювачі атмосферного повітря, водних ресурсів та ґрунту: гази (окис азоту, оксиди сірки), пил, тверді частинки, важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, миш'як), пестициди, нафтопродукти та інші токсичні речовини. Встановлено, що механізмами впливу екологічних стресорів на показники крові є стресова відповідь із активацією гіпоталамо-гіпофізарно-надниркової осі, гормональні та імунні зміни, пряма цитотоксична дія, реакція запалення. Аналіз літератури підкреслив домінування досліджень впливу твердих частинок, важких металів, бензолу та оксидів вуглецю, що обґрунтовує необхідність комплексного міждисциплінарного вивчення проблеми. Окремо розглянуто вплив військових дій, зокрема забруднення довкілля внаслідок розривів боєприпасів, які містять небезпечні речовини – збіднений уран та його оксиди, сполуки свинцю, алюмінію та інші токсиканти. Загалом, моніторинг гематологічних показників у контексті впливу екологічних стресорів дає можливість оцінити ступінь адаптації організму до факторів навколишнього середовища та вчасно застосувати профілактичні чи лікувальні заходи.

Ключові слова: гематологічні показники, екологічні стресори, техногенне забруднення, лейкоцити, еритроцити, тромбоцити.

Вступ. Сучасний стрімкий розвиток технологій та урбанізація супроводжується перманентно зростаючим антропогенним тиском на навколишнє середовище. Діяльність промисловості, зокрема хімічної, відходи транспортної галузі, машинобудування тощо. З повномасштабним вторгненням російської федерації на територію України у лютому 2022 року, особливе місце посідають забруднення навколишнього середовища унаслідок детонації боєприпасів різного виду з подальшим їх потраплянням в атмосферу, водойми, ґрунти. Негативні фактори навколишнього середовища можуть мати значний вплив на здоров'я людини. Зокрема, одна з найбільш чутливих систем організму, що реагує на такі зовнішні впливи, є кровоносна система. Зміни у

функціональному складі віддзеркалюють загальний стан здоров'я та вказують на приховані проблеми, спричинені екологічними стресорами [1, 2, 5].

Мета статті: визначити екологічні стресори та механізми їх впливу на показники гематологічного профілю людини.

Методи та організація досліджень. У межах дослідження було застосовано теоретичні методи наукового пізнання: контент-аналіз, порівняльний аналіз, систематизація та узагальнення наукових джерел. Інформаційну базу склали наукові публікації, звіти міжнародних організацій, результати емпіричних досліджень, розміщені у відкритому доступі у наукометричних базах даних (Scopus, PubMed, Web of Science, DOAJ), що висвітлюють екологічний стан навколишнього середовища та його вплив на стан системи крові людини. До аналізу були включені джерела, опубліковані у період 2000–2025 років, які відповідають тематиці впливу екологічних стресорів (важкі метали, пестициди, продукти нафтохімії, атмосферні аерозолі тощо) на гематологічні показники та адаптаційні реакції організму людини. Пріоритет надавався матеріалам, які містять клінічні, експериментальні або аналітичні дані щодо змін формули крові, механізмів токсичної дії та адаптивних фізіологічних реакцій. Огляд структуровано відповідно до типів екологічних чинників, характеру їхнього впливу, а також особливостей гематологічних змін, що виникають у відповідь на дію цих стресорів.

Результати досліджень та їх обговорення. Розуміння взаємозв'язку показників крові та впливу навколишнього середовища є критично важливим для розробки ефективних стратегій моніторингу, профілактики та лікування захворювань, пов'язаних з екологічним стресом, а також для збереження здоров'я людей в умовах постійних змін навколишнього середовища.

Аналіз літературних джерел засвідчив, що поняття «екологічний стресор» трактується як будь-який чинник навколишнього середовища, негативний вплив якого призводить до відхилень у нормальному функціонуванні організму та спричиняє розвиток стресового стану [4]. До таких чинників насамперед відносять техногенні забруднювачі – фізичні, хімічні або біологічні агенти, що потрапляють до екосистем унаслідок антропогенної діяльності. Серед них – гази, газоподібні речовини, пил, що надходять у навколишнє середовище в результаті викидів хімічних сполук і нафтопродуктів від об'єктів енергетики, промислових підприємств, транспортної інфраструктури, а також аграрного виробництва (зокрема, внаслідок використання пестицидів та мінеральних добрив). Окрім того, до екологічних стресорів належать електромагнітне, радіоактивне та теплове випромінювання, побутові й комунальні відходи, а також промислові стічні води [4].

Серед хімічних стресорів, що є наслідком діяльності промисловості, транспорту та процесів спалювання відходів, виокремлюють низку забруднювачів атмосферного повітря. До них належать: оксиди сірки й азоту (NO , NO_2 , N_2O), чадний газ (CO), аміак (NH_3), діоксид сірки (SO_2), сірководень (H_2S), сірковуглець (CS_2), а також сполуки хлору та фтору, і тверді зважені частинки ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}) [5]. Значний вплив на якість води та стан ґрунтів справляють важкі метали (свинець, ртуть, кадмій), нафтопродукти, мінеральні добрива, пестициди, а також промислові стічні води. За даними досліджень, щороку в атмосферу викидається близько 22 млрд тонн вуглекислого газу, понад 150 млн тонн сірчистих сполук унаслідок спалювання палива; у річки скидається приблизно 160 км³ промислових стоків, тоді як у ґрунти надходить до 500 млн тонн мінеральних добрив і близько 4 млн тонн пестицидів [2].

Таким чином, згадані вище чинники формують негативний кумулятивний ефект, що проявляється у комплексному впливі на біотичні та абіотичні компоненти довкілля. Такий вплив створює стійке навантаження у вигляді екологічного стресу, який є багатофакторним за своєю природою. Сформований комплекс екологічних стресорів справляє безпосередній та опосередкований вплив на організм людини, зокрема на функціонування кровотворної системи. Зміни у гематологічному профілі можуть

слугувати чутливими індикативними маркерами впливу несприятливих факторів навколишнього середовища, що підкреслює необхідність подальших досліджень у напрямі екологічної безпеки та превентивної медицини.

У науковій літературі «гематологічний профіль» трактується як сукупність кількісних і якісних показників, що відображають склад та функціональні властивості крові. Ці показники є важливими діагностичними критеріями, які дають змогу оцінити стан системи кровотворення, імунного захисту та загального гомеостазу організму. До ключових компонентів гематологічного профілю належать:

1. *показники еритроцитарної ланки*: кількість еритроцитів (RBC) у певному об'ємі крові, рівень гемоглобіну (Hb), гематокрит (Hct), середній об'єм еритроцита (MCV), середній вміст гемоглобіну в еритроциті (MCH), середня концентрація гемоглобіну в еритроциті (MCHC), ширина розподілу еритроцитів за об'ємом (RDW);

2. *показники лейкоцитарної ланки*: загальна кількість лейкоцитів (WBC), лейкоцитарна формула (диференційний підрахунок лейкоцитів);

3. *показники тромбоцитарної ланки*: кількість тромбоцитів (PLT), середній об'єм тромбоцитів (MPV);

4. *швидкість осідання еритроцитів* (ШОЕ / ESR) – як неспецифічний маркер запального процесу [3].

Варто зауважити, що система кровотворення – одна із найбільш чутливих систем організму людини до впливу зовнішніх та внутрішніх факторів. Стан кровоносної системи відображає рівень загального гомеостазу, адаптаційні можливості організму та наявність/відсутність патологічних процесів. Зміни в одному або кількох показників гематологічного профілю, як правило, свідчать про вплив екзогенних стрес-факторів, у тому числі екологічного характеру, та широко використовуються у якості інформативних маркерів таких станів як: анемії, лейкемії, запальні процеси, інфекції, захворювання кісткового мозку, адаптаційні реакції [6].

Отже, розгорнутий аналіз крові з визначенням лейкоцитарної формули є малоінвазивним та доступним лабораторним дослідженням, результати якого дають змогу оцінити функціональний стан організму та оперативно провести первинну діагностику захворювань, що супроводжуються змінами показників крові. Так, зміни в еритроцитарній ланці можуть вказувати на анемію, дефіцит заліза, захворювання кісткового мозку, вірусні інфекції, аутоімунні захворювання; високі рівні окремих груп лейкоцитів – на інфекцію, запалення, онкологічні захворювання. Маркером системного запалення є показник швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ), що, у свою чергу, вказує на наявний хронічний запальний процес. Клітини крові мають високу чутливість до токсичних речовин, радіації та інших стресорів. Зміни в лейкоцитарній формулі одночасно відображають і порушення імунної функції, що призводить до підвищеної вразливості організму до інфекційних захворювань, злоякісних новоутворень та інших патологічних станів [5].

Згідно з аналізом наукової літератури, вплив екологічних стресорів на організм людини, зокрема на показники гематологічного профілю, реалізується через складні нейрогуморальні та клітинні механізми регуляції, що порушують гомеостаз та функціональну активність кровотворної системи. Провідними серед них є стресова відповідь та гормональні зміни, зумовлені активацією гіпоталамо-гіпофізарно-наднирничкової осі. Цей каскад нейроендокринних реакцій мобілізує фізіологічні ресурси організму для адаптації до дії стресора. Одним із ключових маркерів такого впливу є підвищення рівня кортизолу, що, як зазначають дослідники, спричинює стресову лейкоцитарну реакцію – збільшення вмісту нейтрофілів та зниження кількості лімфоцитів, а також зміни процесів еритропоезу [14].

Іншим важливим механізмом впливу екологічних стресорів є безпосередня цитотоксична дія токсичних речовин на клітини крові та органи кровотворення. Зокрема, важкі метали (свинець, Pb; ртуть, Hg; кадмій, Cd), пестициди, промислові токсиканти (бензол, феноли, формальдегід, поліароматичні вуглеводні) здатні

проникати в організм інгаляційним, пероральним або трансдермальним шляхом, акумулюватися в тканинах і впливати на процеси кровотворення у кістковому мозку – пригнічувати проліферацію та диференціацію гемопоетичних стовбурових клітин і, як наслідок, призводити до зниження рівнів еритроцитів, лейкоцитів і тромбоцитів або їх функціональної недостатності. Важкі метали, такі як Pb, Cd, Hg, потрапляючи кров, зв'язуються з білком гемоглобіном, що знижує його здатність переносити кисень і спричиняє кисневе голодування тканин. Також важкі метали порушують метаболічні процеси, впливаючи на активність ферментів в червоній крові [8]. Наслідком дії свинцю, ртуті, миш'яку (As) може бути і зниження загальної кількості лейкоцитів та пригнічення їх біологічної активності, адже ці елементи пошкоджують ДНК та викликають мутації [9; 12].

Серед екологічних стресорів з групи хімічних забруднювачів повітря найбільш небезпечними є мікрочастинки (PM_{2.5}, PM₁₀), оскільки вони здатні проникати в глибокі відділи дихальних шляхів і надходити в системний кровообіг. Механізм їх впливу на гематологічний профіль наступний: при вдиху, мікрочастинки осідають у дрібних бронхіолах і альвеолах, де викликають реакції місцевого запалення. Відповідно, в місці ураження збільшується кількість лейкоцитів, особливо нейтрофілів, клітин "першої лінії захисту" проти чужорідних антигенів, а також еозинофілів та лімфоцитів, тобто відбуваються зміни у співвідношенні різних типів клітин крові. Наступні реакції організму залежать значною мірою від стану системи імунного захисту людини [5].

Згідно з даними китайських дослідників із Пекінського університету (Peking University, Beijing, China), тривалий вплив твердих частинок призводить до змін у гематологічному профілі: знижується кількість еритроцитів та середня концентрація гемоглобіну (MCHC), спостерігається збільшення середнього корпускулярного об'єму еритроцитів (MCV), кількості тромбоцитів (PLT) і гематокриту тромбоцитів (PCT). Такі зміни вказують на пригнічення нормального еритропоезу та активацію тромбоцитарної ланки як реакції на хронічне запалення, пошкодження судинного ендотелію або оксидативні uszkodження [17].

У низці досліджень виявлено зв'язок між впливом PM_{2.5} та анемією, особливо в дітей. Розвиток запального процесу внаслідок потрапляння пилу в легеневу тканину супроводжується вивільненням прозапальних цитокінів, які здатні пригнічувати диференціювання та проліферацію клітин-попередників еритроїдного ряду, що і проковує розвиток анемічного синдрому. За умов тривалого впливу PM_{2.5} може сформуватися резистентність до еритропоетину, функцією якого є стимуляція вироблення еритроцитів [11]. Слід зазначити, що окрім тривалості дії, вагомим чинником є хімічний склад пилу, особливо наявність у повітрі важких металів, летких органічних сполук, токсичних речовин, що потенційно мають більш виражений гематотоксичний ефект [8].

За даними дослідників Жіночого університету Іхва (Ewha Womans University, Seoul, Korea), тверді частинки пилу є причиною окислювального стресу, при якому структури клітин (клітинні мембрани, білки та ДНК) руйнуються через збільшення утворення активних форм кисню. Авторами доведено, що реактивні форми кисню здатні пошкоджувати клітинні мембрани еритроцитів та структуру гем-частини, чим провають розвиток анемії. Окрім того, встановлено, що леткі органічні сполуки, проникаючи в організм разом із пилом, можуть ушкоджувати ДНК лейкоцитів і тому розглядаються як можливий фактор гематологічних злоякісних новоутворень, зокрема лейкоемій [18].

Іншим агресивним екологічним стресором вважаються пестициди, що широко застосовуються в агросфері. Потрапляючи в організм людини разом із продуктами харчування, пестициди можуть викликати зміни гематологічних показників та проявлятися у формі анемії, лейкопенії та тромбоцитопенії. Згідно з даними дослідників, органофосфати та карбамати асоціюються зі зниженням рівня гемоглобіну, кількості еритроцитів, лімфоцитів, тоді як хлоровані вуглеводні та піретроїди викликають

гемоліз еритроцитів, зменшують кількість та активність лейкоцитів. Деякі пестициди можуть порушувати гомеостаз заліза та призводити до порушень синтезу гемоглобіну та нормального функціонування еритроцитів у цілому [7; 16].

Забруднення довкілля внаслідок військових дій (вибухів, руйнування промислових об'єктів, аварій на інфраструктурі тощо) призводить до масового викиду токсичних речовин у повітря, ґрунти та водні ресурси. Військові конфлікти, окрім прямого руйнівного впливу на життя людей, спричиняють значні екологічні наслідки, які створюють додаткові ризики для здоров'я населення. Слід зазначити, що дослідження впливу екологічних загроз, спричинених військовими діями, на стан здоров'я людини набувають особливої актуальності у сучасних умовах України. Аналіз наукової літератури свідчить, що вибухові снаряди містять комплекс небезпечних речовин: радіоактивний пил збідненого урану, його оксиди, сполуки ртуті, свинцю, азоту та сірки [1]. За даними науковців з Інституту радіаційного захисту та ядерної безпеки (Франція), збіднений уран, потрапляючи в кров, пригнічує процеси еритропоезу у кістковому мозку та впливає на морфологічні характеристики еритроцитів [12]. Нафтопродукти, що потрапляють у навколишнє середовище, зокрема у водні ресурси та питну воду, внаслідок обстрілів – толуол, бензол та ксилоли – здатні погіршити або блокувати імунну відповідь через спровокований окислювальний стрес та зменшення кількості лейкоцитів [13].

Зважаючи на вищевикладене, зазначимо, що проблематика впливу екологічних стресорів на гематологічний профіль має важливе прикладне значення, оскільки сприяє глибшому розумінню взаємозв'язків між станом навколишнього середовища та здоров'ям людини. Вплив екологічних факторів може призводити до зниження кількості еритроцитів і рівня гемоглобіну внаслідок пригнічення еритропоезу, гемолізу або дефіциту заліза, що є основою розвитку анемії. Водночас, підвищення цих показників може виступати як адаптивна реакція організму на гіпоксію. Лейкоцитарні індекси варіюють залежно від наявності запальних процесів або інфекцій, що викликає лейкоцитоз, а також можуть знижуватися внаслідок токсичного впливу на кістковий мозок із розвитком лейкопенії. Зміни в тромбоцитарних показниках пов'язані з впливом забруднювачів повітря, що підвищує ризик тромбоцитозу або, навпаки, призводить до тромбоцитопенії, зумовлюючи порушення гомеостазу системи кровообігу.

Висновки. У результаті аналізу літературних джерел визначено основні екологічні стресори, які суттєво впливають на гематологічний профіль людини. До них належать хімічні забруднювачі повітря (мікроскопічні частки, важкі метали, леткі органічні сполуки), пестициди, а також продукти забруднення, що виникають внаслідок військових дій, зокрема збіднений уран та нафтопродукти. Механізми впливу екологічних стресорів на показники крові охоплюють гормональні, токсичні, клітинні та метаболічні реакції. Екологічні стресори мають значний вплив на гематологічний профіль людини, що відображається у змінах кількості, морфології та функцій клітин крові. Дослідження таких показників дає можливість оцінити стан здоров'я організму, ступінь його адаптації до впливу умов середовища. Вплив екологічних чинників може бути як прямим (токсична дія на клітини крові шляхом пригнічення еритропоезу, гемоліз, порушення синтезу гемоглобіну, пошкодження ДНК, зниження функціональної активності клітин), так і опосередкованим (активація стресової відповіді, запалення, оксидативний стрес). Розуміння цих механізмів має ключове значення для оцінки ризиків для здоров'я людини в умовах зростаючого антропогенного та військового навантаження на довкілля.

Література

1. Ангурець О., Хазан П., Колесникова К., Куц М., Чернохова М., Гавранек М. Наслідки для довкілля війни росії проти України. 2023. 83 с. URL: <https://lcp.ndu.edu.ua/index.php/bn/about/submissions#authorGuidelines>. (дата звернення: 31.05.2025).

2. Вітер Н. Г. *Промислова екологія*: методичні рекомендації для проведення практичних та самостійних робіт студентів факультету агрономії та лісівництва денної та заочної форми навчання галузь знань 10 «Природничі науки» зі спеціальності 101 «Екологія» освітнього ступеня «Магістр». Вінниця: ВНАУ, 2019. 126 с.
3. Гуцаленко О. О. *Гематологія*. Полтава, 2012. 696 с.
4. Древаль О. М., Янчик О. Г. *Основи екології*. Харків: НТУ «ХПІ». 2017. 146 с.
5. Журавльова Л. В., Янкевич О. О. Клінічна гематологія. Част. 1. Анемії. Харків. ХНМУ, 2015. 44 с.
6. Загальний розгорнутий аналіз крові (35 показників: геманалізатор з морфологічним вивченням крові). Медична лабораторія ДІЛА. URL: <https://lkr.ndu.edu.ua/index.php/bn/about/submissions#authorGuidelines> (дата звернення: 02.05.2025).
7. Тимошук Т. М. Класифікація пестицидів. Силабус з дисципліни "Агрофармакологія". Лекція №8. Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2017. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ros/rosl/course/988/> (дата звернення: 31.05.2025).
8. Мусінкевич І. В., Трач І. А. Вплив важких металів на навколишнє середовище та організм людини. Вінниця. 2020.
9. Параняк Л. П., Васильцева Л. П., Макух Х. І. Шляхи надходження важких металів в довкілля та їх вплив на живі організми. *Біологія тварин*. 2017. Т. 9, № 1–2. С. 83–89.
10. Проданчук М. Г., Балан Г. М., Бобильова О. О. Потенційний ризик для навколишнього середовища і здоров'я людини 1,1–диметилгідразину (гептилу) – важлива проблема хімічної та екологічної безпеки України в умовах зростання військових, диверсійних та терористичних загроз. *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*. 2015. № 3. С. 25-33. URL: <https://surl.li/mcvdol> (дата звернення: 02.05.2025).
11. Рябка Ю. А., Вінніков А. І. Особливості змін біохімічних показників крові при аортокоронарному шунтуванні у пацієнтів, які проживають у промисловому місті. *Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference «Scientific Research in XXI Century»* (Ottawa, 16-18 Febr. 2024). Ottawa, Canada, 2024. Ст. 291-306.
12. Слівінська Л. Г., Левченко В. І. Вміст важких металів в крові корів та стан еритроцитопоезу в умовах антропогенного навантаження. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. 2008. Т. 10, № 2 (37), Ч. 1 ст. 300-308.
13. *Чи можна пити воду, яка містить нафтопродукти?* ТОВ «Судова незалежна експертиза України». URL: <https://ekspertiza.com.ua/uk/tse-korisno-znati/767-chy-mozhna-pyty-vodu-iaka-mistyt-naftoproduktu> (дата звернення: 31.05.2025).
14. Al-Hatamleh M. A. I., Ismail I., Alshajrawi O. M. Effect of stress on alteration of haematological parameters: A preliminary study on preclinical medical students in Malaysia. *Journal of Cellular Neuroscience and Oxidative Stress*. 2019. Vol. 11, no 2. P. 852-860. URL: <https://doi.org/10.37212/jcnos.683403> (date of access: 05.05.2025).
15. Berradi H., Bertho J.-M., Dudoignon N., Mazur A., Grandcolas L. et al. Renal Anemia Induced by Chronic Ingestion of Depleted Uranium in Rats. *Toxicological Sciences*. 2008. Vol. 103, Is. 2. P. 397-408. URL: <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfn052> (date of access: 30.05.2025).
16. Gerald F., O'Malley R. Organophosphate Poisoning and Carbamate Poisoning. *MSD Manual for the Professional*. 2022. URL: <http://surl.li/smrth> (date of access: 30.05.2025).
17. Wang W., Guo T., Guo H., Chen X., Ma Y. et al. Ambient particulate air pollution, blood cell parameters, and effect modification by psychosocial stress: Findings from two studies in three major Chinese cities / *Environmental Research*. 2022. Vol. 210. P. 112932. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112932> (date of access: 13.06.2025).
18. Kwag Y., Ye S., Oh J., Lee D.-W., Yang W., Kim Y., Ha E. Direct and Indirect Effects of Indoor Particulate Matter on Blood Indicators Related to Anemia. *Environ Res Public Health*. 2021. Vol. 18, no. 24. P. 12890. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph182412890> (date of access: 31.05.2025).

References

1. Angurets, O., Khazan, P., Kolesnykova, K., Kushch, M., Chernokhova, M., & Havranek, M. (2023). *Naslidky dlia dovkillia viiny rosii proty Ukrainy* [Environmental

consequences of Russia's war against Ukraine]. Retrieved from: <https://lcp.ndu.edu.ua/index.php/bn/about/submissions#authorGuidelines> [in Ukrainian].

2. Viter, N. H. (2019). *Promyslova ekolohiia* [Industrial ecology]. Vinnytsi [in Ukrainian].
3. Hutsalenko, O. O. (2012). *Hematolohiia* [Hematology]. Poltava [in Ukrainian].
4. Dreval, O. M., & Yanchyk, O. H. (2017). *Osnovy ekolohii* [Basics of ecology]. Kharkiv [in Ukrainian].
5. Zhuravlova, L. V., & Yankevych, O. O. (2015). *Klinichna hematolohiia. Chastyna 1. Anemii* [Clinical hematology. Part 1. Anemias]. Kharkiv [in Ukrainian].
6. *Zahalniy rozhrumutyi analiz krovi (35 pokaznykiv: hemanalizator z morfolohichnym vyvchenniam krovi)* [Complete blood analysis (35 indicators: hematology analyzer with morphological examination)]. (n.d.). *Medychna laboratoriya DILA*. Retrieved from: <https://lcp.ndu.edu.ua/index.php/bn/about/submissions#authorGuidelines> [in Ukrainian].
7. *Klasyfikatsiia pestytsydiv* [Classification of pesticides]. (2017). Tavriyskiy derzhavnyi ahrotekhnolohichniy universytet imeni Dmytra Motomoho. Melitopol [in Ukrainian].
8. Musinkevych, I. V., & Trach, I. A. (2020). *Vplyv vazhkykh metaliv na navkolyshnie seredovyshe ta orhanizm liudyny* [Impact of heavy metals on the environment and human body]. Vinnytsia: Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet [in Ukrainian].
9. Paraniak, L. P., Vasylytseva, L. P., & Makukh, Kh. I. (2017). Shliakhy nadkhodzhenia vazhkykh metaliv v dovkillia ta yikh vplyv na zhyvi orhanizmy [Pathways of heavy metals entering the environment and their impact on living organisms]. *Biolohiia tvaryn*, 9(1–2), 83–89 [in Ukrainian].
10. Prodanchuk, M. H., Balan, H. M., & Bobylova, O. O. (2015). Potentsiinyi ryzyk dlia navkolyshnoho seredovyscha i zdorov'ia liudyny 1,1-dimethylhidrazynu (heptylu) – vazhlyva problema khimichnoi ta ekolohichnoi bezpeky Ukrainy v umovakh zrostannia viiskovykh, dyversiynykh ta terorystchnykh zahroz [Potential risk for the environment and human health of 1,1-dimethylhydrazine (heptyl) – a critical issue of chemical and environmental safety in Ukraine amid growing military and terrorist threats]. *Suchasni problemy toksykolohii, kharchovoi ta khimichnoi bezpeky*, (3), 25-33. Retrieved from: <https://surl.li/mcvdol> [in Ukrainian].
11. Riabka, Yu. A., & Vinnikov, A. I. (2024). Osoblyvosti zmin biokhimichnykh pokaznykiv krovi pry aortokoronarnomu shuntuvanni u patsientiv, yaki prozhyvaiut u promyslovomu misti [Changes in blood biochemical indicators in patients undergoing coronary artery bypass grafting in an industrial city]. In Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference «Scientific Research in XXI Century» (February 16–18, 2024). Ottawa (Canada) [in Ukrainian].
12. Slivinska, L. H., & Levchenko, V. I. (2008). Vmist vazhkykh metaliv v krovi koriv ta stan erytrotsytopenozu v umovakh antropohennoho navantazhennia [Heavy metals in cow blood and erythropoiesis under anthropogenic load]. *Naukovyi visnyk LNUVMBT im. S.Z. Hzhyskoho*, 10(2/1) [in Ukrainian].
13. *Sudova nezalezna ekspertyza Ukrainy*. (n.d.). Chy mozhna pity vodu, yaka mistyt naftoprodukty? [Is it safe to drink water contaminated with petroleum products?]. TOV “Sudova nezalezna ekspertyza Ukrainy”. Retrieved from <https://ekspertiza.com.ua/uk/tse-korisno-znati/767-chy-mozhna-pyty-vodu-iaka-mistyt-naftoprodukty> [in Ukrainian].
14. Al-Hatamleh, M. A. I., Ismail, I., Al-Shajrawi, O. M., & Ariff, T. M. (2019). Effect of stress on alteration of haematological parameters: A preliminary study on preclinical medical students in Malaysia. *Journal of Cellular Neuroscience and Oxidative Stress*, 11(2), 852–860. <https://doi.org/10.37212/jcnos.683403>. [in English].
15. Berradi, H., Bertho, J.-M., Dudoignon, N., Mazur, A., Grandcolas, L., Baudelin, C., Grison, S., Voisin, P., Gourmelon, P., & Dublineau, I. (2008). Renal Anemia Induced by Chronic Ingestion of Depleted Uranium in Rats. *Toxicological Sciences*, 103(2), 397–408. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfn052>. [in English].
16. Gerald, F., & O'Malley, R. (2022). Organophosphate poisoning and carbamate poisoning. *MSD Manual for the Professional*. Retrieved from: <http://surl.li/smrth>. [in English].
17. Wang, W., Guo, T., Guo, H., Chen, X., Ma, Y., ... Wu, S. (2022). Ambient particulate air pollution, blood cell parameters, and effect modification by psychosocial stress: Findings from two studies in three major Chinese cities. *Environmental Research*, 210, 112932.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112932>. [in English].

18. Kwag, Y., Ye, S., Oh, J., Lee, D.-W., Yang, W., Kim, Y., & Ha, E. (2021). Direct and indirect effects of indoor particulate matter on blood indicators related to anemia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 12890. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412890>. [in English].

Karnaushenko D. P.

Postgraduate student of the Department of Human Biology
and Chemistry Teaching Methods
Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko
Dimonkark@ukr.net
orcid.org/0009-0000-0244-3866

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL STRESSORS ON THE HUMAN HEMATOLOGICAL PROFILE

The aim of the work was to determine environmental stressors and the mechanism of their influence on the indicators of the human hematological profile as indicative markers of health status. The study applied theoretical methods of scientific knowledge, in particular content analysis, comparative analysis, generalization and systematization of scientific sources based on publications placed in the scientometric databases Scopus, Web of Science, PubMed. It is summarized that the main hematological indicators, which form the basis of general clinical blood analysis and are the initial stage in the diagnosis of various health disorders, together provide a comprehensive picture of the state of the hematopoietic and immune systems, which allows to identify pathogenic processes (anemia, inflammatory processes, infections, blood clotting disorders), which may be a consequence of the influence of environmental stressors. It was determined that the main environmental stressors that affect the hematological profile of a person are pollutants of atmospheric air, water resources and soil: gases (nitrogen oxide, sulfur oxides), dust, particulate matter, heavy metals (lead, cadmium, mercury, arsenic), pesticides, petroleum products and other toxic substances. It was established that the mechanisms of influence of environmental stressors on blood parameters are the stress response with activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis, hormonal and immune changes, direct cytotoxic action, inflammatory reaction. Analysis of the literature highlighted the dominance of studies on the influence of particulate matter, heavy metals, benzene and carbon oxides, which justifies the need for a comprehensive interdisciplinary study of the problem. The impact of military operations, in particular environmental pollution due to explosions of ammunition containing hazardous substances – depleted uranium and its oxides, lead compounds, aluminum and other toxicants, is separately considered. In general, monitoring of hematological indicators in the context of the impact of environmental stressors makes it possible to assess the degree of adaptation of the body to environmental factors and apply preventive or therapeutic measures in a timely manner.

Key words: hematological indicators, environmental stressors, technogenic pollution, leukocytes, erythrocytes, platelets.

**Стаття до редакції надійшла 14.05.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 04.06.2025 року**

УДК 616.89-008.441.44:615.851.8:355.233(477)
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-2-79-91

Ланской А. Ю.

аспірант кафедри біології людини,
хімії та методики навчання хімії
Сумського державного педагогічного
університету імені А. С. Макаренка
artem.lanskoj@gmail.com
orcid.org/0009-0004-4088-3271

Вакал Ю. С.

доктор філософії,
старший викладач кафедри біології людини,
хімії та методики навчання хімії
Сумського державного педагогічного
університету імені А. С. Макаренка
julia.vakal@sspu.edu.ua
orcid.org/0000-0002-8722-7683
Scopus Author ID: 59504267900

**МЕТОД EMDR У ТЕРАПІЇ ПОСТТРАВМАТИЧНИХ СТРЕССОВИХ
РОЗЛАДІВ: ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ПЕРСПЕКТИВИ
ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ**

Стаття присвячена комплексному аналізу теоретичних засад та емпіричного обґрунтування застосування методу десенсибілізації та переробки за допомогою рухів очей (Eye Movement Desensitization and Reprocessing, EMDR) у контексті психологічної реабілітації осіб, постраждалих від наслідків збройного конфлікту в Україні. Особливу увагу приділено фізіологічним механізмам дії EMDR, що через відновлення нейронального гомеостазу суттєво зменшують симптоми посттравматичного стресового розладу (ПТСР) та інших травматичних реакцій. У роботі проаналізовано поширеність посттравматичних стресових розладів (ПТСР) серед різних груп населення – військових, цивільних осіб і дітей тощо. Дослідження акцентує увагу на впливі факторів війни та соціально-економічної депресії, які індукують значні нейробіологічні зміни, що призводять до дисрегуляції нейротрансмісії. Ключовими патфізіологічними механізмами при цьому є гіперактивізація амігдал, атрофія гіпокампа та порушення синаптичної пластичності. Зазначається, що 20-30% ветеранів, 10-15% внутрішньо переміщених осіб та значна частина дітей демонструють симптоми ПТСР, що потребує ефективних нейромодуляційних терапевтичних підходів. Теоретичні основи EMDR, розробленого Френсін Шапіро, базуються на ідеї переробки травматичних спогадів через білатеральну стимуляцію (БС), яка активує кортикоталамічні зв'язки, модулює активність між мозковими півкулями і сприяє десенсибілізації патологічних спогадів, що зберігаються в мережі синапсів у лімбічній системі. Метод включає вісім фаз – від збору анамнезу до переоцінки результатів – і визнаний ВООЗ та Американською психологічною асоціацією як ефективний для лікування ПТСР через стимуляцію довготривалих потенціалів (LTP) і підвищення рівня нейротрофічного фактора мозку (BDNF). Аналіз сучасної літератури підтверджує високу нейрофізіологічну ефективність EMDR, яка сягає 70-80% зниження симптомів після 6-12 сеансів, перевершуючи за швидкістю традиційні методи, такі як когнітивно-поведінкова терапія, завдяки нормалізації активності гіпокампа та префронтальної кори, зафіксованій за допомогою функціональної магнітно-резонансної томографії (fMRI).

Перспективи застосування EMDR в Україні розглядаються з урахуванням обмеженого доступу до психотерапевтичних послуг (3-4 спеціалісти на 100 тисяч населення) та необхідності підготовки нових кадрів. Метод адаптований до кризових умов, що робить його перспективним для лікування ПТСР у ветеранів, дітей і цивільних у прифронтових зонах. Однак впровадження стикається з бар'єрами: дефіцит сертифікованих терапевтів, недостатнє фінансування та обмежена інфраструктура для нейровізуалізації. Автори аналізують стратегії розвитку та локальні навчальні програми, шляхи співпраці з міжнародними організаціями та створення кризових центрів із акцентом на нейрофізіологічну реабілітацію.

Стаття підкреслює важливість подальших досліджень нейрофізіологічної ефективності EMDR у довготривалій реабілітації, включаючи моніторинг змін у синаптичній пластичності та нейрогенезі, а також інтеграцію з іншими нейромодуляційними підходами. Висновки вказують на значний потенціал методу для відновлення психічного здоров'я українців, але наголошують на необхідності подальшого впровадження методу у освіту, створення інфраструктури для нейровізуалізації та популяризацію терапії з урахуванням нейрофізіологічних особливостей.

Ключові слова: EMDR, Посттравматичний стресовий розлад, ПТСР, Нейрофізіологія, Синаптична пластичність, Нейротрансмісія, Білатеральна стимуляція, Війна в Україні, Нейрогенез, Нейромодуляція, Реабілітація, Терапевтичні підходи.

Вступ. Посттравматичний стресовий розлад (ПТСР) є однією з найбільш значних і поширених проблем психічного здоров'я в Україні, зумовленою тривалими військовими діями, які охопили значні території країни, змусили мільйони людей залишити свої домівки та призвели до невідворотних втрат близьких, руйнування інфраструктури та хронічного психоемоційного напруження. Цей розлад (ПТСР) виникає через порушення нейронального гомеостазу, викликане тривалим впливом стресових факторів, що активують гіпоталамо-гіпофізарно-надниркову вісь (HPA-вісь) і підвищують секрецію кортизолу, що, у свою чергу, призводить до дисрегуляції нейротрансмісії в амігдалі, гіпокампі та префронтальній корі [1]. Значне зростання випадків ПТСР серед населення є наслідком повномасштабного військового конфлікту, який розпочався в 2014 році та суттєво посилюється в 2022 році, залишаючи глибокий відбиток на психологічному стані українців. Війна не лише фізично зруйнувала міста та села, але й спричинила масові травматичні переживання, впливаючи на мільйони українців незалежно від віку, соціального статусу чи регіону проживання. У зв'язку з цим зростає нагальна потреба в розробці та впровадженні ефективних терапевтичних підходів, здатних модулювати нейрональну активність, сприяти нейрогенезу та допомогти постраждалим подолати наслідки психологічних травм, відновлюючи нейрофізіологічну рівновагу задля повернення до повноцінного життя.

Серед найбільш уразливих груп населення, які зазнають впливу ПТСР, виділяються військовослужбовці, цивільне населення та діти. У військових, які щодня стикаються з небезпекою, беруть участь у бойових діях та є свідками насильства, відбуваються характерні зміни на фізіологічному рівні. Зокрема, спостерігається гіперактивація амігдали – структури мозку, відповідальної за обробку страху. Паралельно спостерігається підвищення рівня катехоламінів, таких як адреналін та норадреналін, що призводить до тривалої сенсibilізації нейронів. Ці зміни є одним з механізмів, що лежать в основі розвитку стресових розладів у військовослужбовців [2].

За офіційними даними Міністерства у справах ветеранів України, від 20% до 30% ветеранів, які брали участь у бойових діях, демонструють симптоми ПТСР, такі як флешбеки (патологічні рецидиви спогадів через дисфункцію гіпокампа), гіперзбудженість (спричинена надмірною активністю симпатичної нервової системи),

емоційна ізоляція та депресивні стани, що асоціюються з дефіцитом серотоніну та дофаміну [3]. Ці дані підтверджуються дослідженнями Українського науково-дослідного інституту соціальної і судової психіатрії та наркології, які вказують, що майже кожен четвертий ветеран, що звертається по психологічну допомогу, має діагностовані прояви цього розладу [3]. Реальний рівень поширення ПТСР серед ветеранів може бути значно вищим через уникнення звернень до фахівців через соціальну стигматизацію чи обмежений доступ до послуг, особливо в регіонах із пошкодженою інфраструктурою.

Цивільне населення також зазнає значного впливу війни, що проявляється у високій поширеності ПТСР серед тих, хто пережив насильство, бомбардування, вимушену евакуацію чи втрату майна. За оцінками Міжнародної організації з міграції (МОМ), від 10% до 15% внутрішньо переміщених осіб страждають на ПТСР, а рівень депресивних і тривожних станів серед них сягає 40-50% [4]. Особливо критична ситуація в прифронтових зонах, де дослідження, опубліковані в "European Journal of Psychotraumatology", фіксують до 30% мешканців із проявами ПТСР [10]. Ці люди часто стикаються з хронічною втомою (результатом дефіциту енергетичного метаболізму в нейронах), новими кошмарами (асоційованими з гіперактивністю гіпокампа) та тривожністю, що ускладнює адаптацію до нових умов життя через зниження нейропластичності. Тривалість перебування в зонах бойових дій значно підвищує ризик розвитку ПТСР, особливо серед тих, хто не має можливості швидко отримати психологічну підтримку, що призводить до прогресуючої нейродегенерації.

Окрему увагу привертають діти, які є найбільш вразливою категорією у контексті війни через незрілість їхньої нервової системи та високу пластичність нейронних мереж. За даними ЮНІСЕФ, понад 3 мільйони українських дітей потребують психологічної допомоги через пережиті травми [8]. Дослідження реабілітаційного центру "Надія" показало, що у 20% евакуйованих дітей спостерігаються виражені симптоми ПТСР, такі як нічні кошмари (результат патологічної консолідації спогадів), емоційна нестабільність (спричинена дисрегуляцією лімбічної системи) та агресивна поведінка, а ще 40% мають тривожні або депресивні стани [8]. Відсутність стабільного емоційного середовища, як зазначено в "Journal of Child Psychology and Psychiatry", значно підвищує ризик хронічного перебігу ПТСР через порушення синаптичного ремоделювання та нейрогенезу в мозку, що ще розвивається [8, 14]. Ця категорія потребує спеціалізованих підходів, які бажано б було адаптувати до збільшеної нейрофізіологічної вразливості у дітей та специфічних нюансів у відновленні гомеостазу.

Соціально-економічні фактори відіграють ключову роль у погіршенні ситуації з ПТСР в Україні [13]. Війна спричинила економічний спад, що, за оцінками Світового банку, підвищило рівень бідності з 18% у 2021 році до 25% у 2023 році, створюючи додатковий соціальний тиск. На фізіологічному рівні це проявляється у посиленні дисрегуляції вегетативної нервової системи через хронічну активацію стресових каскадів [14]. Обмежений доступ до медичних послуг, зокрема психотерапії, ускладнює лікування та реабілітацію, а дефіцит спеціалістів із психічного здоров'я (4 психіатри на 100 тисяч населення за даними МОЗ України, 2022) нижче європейських стандартів (10-15 на 100 тис.) [5] лише погіршує ситуацію.

Культурні аспекти, такі як стигматизація психічних розладів, призводять до уникнення терапії, що призводить до «спіралі стресу» де хронічна активація стресових систем і виснаження нейрональних ресурсів призводить до ретравматизації і ще більшого стресу. Дослідження Центру "Лісова поляна" показало, що лише 25% людей із симптомами ПТСР звертаються до фахівців [6], а гендерні відмінності, за даними "International Journal of Social Psychiatry", вказують на вищий рівень ПТСР серед жінок (на 15-20%) через специфічні травми, що викликають гормональні зсуви та посилену активацію амігдали [6]. Міжнародний досвід країн, таких як Боснія, де національні програми за 10 років знизили рівень ПТСР з 30% до 15% через інтеграцію

нейрофізіологічних підходів [7], підкреслює важливість адаптації методів. Інвестиції в психічне здоров'я є критичними для відновлення українського суспільства [3].

Таким чином, ПТСР в Україні набув масштабів, що вимагають негайного втручання. Метод EMDR, що впливає на синаптичну пластичність через білатеральну стимуляцію, може стати ключовим інструментом, але його впровадження потребує комплексного підходу, враховуючи медичні та соціокультурні аспекти [3].

Метою статті є теоретичний огляд методу EMDR у терапії ПТСР, з акцентом на його фізіологічному впливі та перспективах застосування в Україні, задля оптимізації підтримки постраждалих.

Методи та організація дослідження. Дослідження, представлене в цій статті, ґрунтується на комплексному аналізі наявних даних щодо поширення посттравматичного стресового розладу (ПТСР) в Україні, а також оцінки ефективності методу десенсибілізації та переробки рухами очей (EMDR) як одного з перспективних терапевтичних підходів, що на фізіологічному рівні модулює нейрофізіологічні порушення, асоційовані із цією патологією. ПТСР характеризується дисрегуляцією центральної нервової системи (ЦНС), зокрема гіперактивацією амігдали, атрофією гіпокампа та гальмуванням префронтальної кори, що зумовлює патологічну консолідацію травматичних спогадів і хронічне підвищення рівня кортизолу через активацію гіпоталамо-гіпофізарно-надниркової осі (HPA-осі).

Методологія дослідження була розроблена з урахуванням необхідності інтеграції різноманітних джерел інформації, включаючи офіційні статистичні дані та наукові публікації, щоб забезпечити обґрунтованість висновків і їхню практичну цінність у контексті сучасних нейрофізіологічних викликів, пов'язаних із війною в Україні. Методологічний підхід дозволив всебічно оцінити наявні наукові докази щодо потенціалу EMDR у відновленні синаптичної пластичності та нейрогомеостазу у контексті терапії посттравматичних стресових розладів.

Для аналізу поширення ПТСР в Україні використано офіційні статистичні дані, зібрані такими організаціями, як Міністерство у справах ветеранів України, Міністерство охорони здоров'я України (МОЗ України), ЮНІСЕФ та Міжнародна організація з міграції (МОМ). Ці дані відображають реальну ситуацію серед різних груп населення, включаючи ветеранів, цивільних осіб і дітей, які зазнали впливу війни. Зокрема, звіти Міністерства у справах ветеранів України (2022-2023) надали інформацію про частоту ПТСР серед військовослужбовців, що повернулися з бойових дій, а також про доступність психологічної підтримки для цієї категорії [3]. Дані МОЗ України, опубліковані у 2022 році, стали основою для оцінки кількості спеціалістів із психічного здоров'я (психіатрів і психологів) на 100 тисяч населення, що дозволило оцінити ресурсну базу системи охорони здоров'я для психологічного втручання [5]. Статистичні звіти ЮНІСЕФ свідчать про психологічний стан дітей, які постраждали від війни, зокрема тих, хто був евакуйований із зон бойових дій [8]. Міжнародна організація з міграції внесла дані про внутрішньо переміщених осіб, включаючи показники поширеності ПТСР і супутніх розладів, таких як депресія, тривожність та інші, пов'язані із дисрегуляцією серотонінергічної та гамма-аміномасляної (ГАМК) систем [4].

Крім того, для поглибленого аналізу використано результати наукових досліджень, опублікованих у провідних міжнародних і національних журналах, що досліджують нейрофізіологічні аспекти ПТСР. Зокрема, статті з "European Journal of Psychotraumatology" надали інформацію про вплив тривалого перебування в зонах конфлікту на цивільне населення [9], а "Journal of Child Psychology and Psychiatry" – про особливості ПТСР у дітей у воєнний час, пов'язані з незрілістю їхньої нейронної мережі [8]. Журнал "International Journal of Social Psychiatry" став джерелом даних щодо гендерних відмінностей у поширеності ПТСР, зокрема серед жінок, які зазнали специфічних форм насильства, що призводять до гормональних зсувів та посилену реактивності амігдали [6]. Ці публікації були обрані через їх релевантність до

української ситуації та високу наукову репутацію, що забезпечує надійність отриманих даних для аналізу нейрофізіологічних механізмів.

Теоретична частина дослідження базується на детальному вивченні літератури, присвяченої методу EMDR, розробленому Френсін Шапіро в 1980-х роках, методі який значно впливає на синаптичну пластичність і нейротрансмісію. Основним джерелом став підручник Шапіро (2014) *Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR) Therapy: Basic Principles, Protocols, and Procedures*, який детально описує принципи, структуру, фази та нейрофізіологічні механізми дії методу [3]. EMDR базується на гіпотезі, що травматичні спогади зберігаються в амігдалі в нефільтрованому вигляді через недостатню інтеграцію з префронтальною корою. Білатеральна стимуляція (БС), яка включає рухи очей, тактильні або аудіальні сигнали, активує нейронні шляхи, що зв'язують кору головного мозку з таламусом, викликаючи ритмічну модуляцію зв'язків між півкулями головного мозку. Цей процес сприяє десенсибілізації патологічних спогадів через стимуляцію довготривалих потенціалів (LTP) у гіпокампі, дозволяючи переробити травматичні спогади в менш емоційно насичені форми.

У працях науковців Maxfield et al. (2002) і Lee & Cuijpers (2013), опублікованих в "Journal of Clinical Psychology" і "Journal of Anxiety Disorders", висвітлено емпіричні дані про ефективність EMDR у порівнянні з когнітивно-поведінковою терапією (CBT). Ці дослідження демонструють зниження активності дефолтного режиму мережі (DMN) і підвищення рівня нейротрофічного фактора мозку (BDNF). Збільшення BDNF є важливим показником, оскільки він відіграє ключову роль у нейропластичності, виживанні нейронів та синаптичній функції [4, 6].

Аналіз структури EMDR включав розгляд усіх восьми фаз: від збору анамнезу та підготовки пацієнта до десенсибілізації, встановлення позитивних переконань, сканування тіла, завершення сеансу та переоцінки результатів. Кожна фаза була проаналізована з урахуванням її ролі в нейрофізіологічному процесі терапії та потенційної адаптації до українських реалій. Наприклад, фаза підготовки, що включає навчання технік саморегуляції (дихальні вправи, візуалізація безпечного місця), сприяє активації парасимпатичної нервової системи, знижуючи рівень кортизолу та катехоламінів, що полегшує гальмування амігдали префронтальною корою [3]. Фаза десенсибілізації, що є центральною, використовує БС для модуляції активності нейронів, викликаючи десинхронізацію патологічних синаптичних зв'язків і стимулюючи репарацію нейронних мереж. Ця фаза особливо важлива для пацієнтів із хронічним ПТСР, де спостерігається виснаження гліальної підтримки та порушення метаболізму нейротрансмітерів, таких як глутамат і ГАМК.

Оцінка ефективності методу EMDR проводиться за останні 10 років (2015-2025) через систематичний огляд наукової літератури, відображаючи найсучасніші дані про нейрофізіологічні ефекти [13]. Зокрема, в таких журналах як "Journal of Traumatic Stress" (2018) і "Clinical Psychology & Psychotherapy" (2020) проаналізовано метааналізи та клінічні кейси [10, 5]. В журналі "Journal of Traumatic Stress" (2018) були опубліковані результати досліджень, що продемонстрували зниження симптомів ПТСР на 70% після 8-12 сеансів EMDR. Ці позитивні зміни корелювали з нормалізацією активності гіпокампа та зниженням гіперактивності амігдали, що було зафіксовано за допомогою функціональної магнітно-резонансної томографії (fMRI) [10]. Кейс із "Clinical Psychology & Psychotherapy" (2020) описав успішне застосування методу для жінки, яка пережила сексуальне насильство, де БС сприяла зниженню рівня норадреналіну та підвищенню синаптичної пластичності [5]. Ці матеріали дозволили порівняти EMDR із CBT і психоаналітичними методами, демонструючи його перевагу в швидкості відновлення нейронального гомеостазу у різних групах: військових, цивільних і дітей.

Додаткові джерела, такі як Hoge et al. (2020) у "American Journal of Psychiatry" і van der Kolk et al. (2019) у "Child Psychology Review" (2020), були використані для

аналізу специфічних результатів серед військових (80% поліпшення), де EMDR знижувало флешбеки через модуляцію катехоламінового каскаду, і дітей (70% зниження симптомів), де метод сприяв нейрогенезу в зубчастій звивині [7, 8]. Українські дані, зокрема з програми реабілітації "Повернись живим" (2022), додали локальний контекст, показавши 65% зменшення симптомів серед ветеранів [7]. Цей аналіз включав як кількісні показники (проценти зниження симптомів), так і якісні оцінки (опис змін у поведінці та емоційному стані).

Перспективи впровадження EMDR в Україні оцінювалися на основі даних Української асоціації психотерапевтів (2022), яка вказала на те, що лише 10% психологів мають базові знання про метод, що обмежує доступ до втручання, а також звіту Світового банку (2023), який зафіксував, що фінансування психічного здоров'я становить менше 1% бюджету охорони здоров'я [5]. Ці джерела стали основою для аналізу бар'єрів, таких як дефіцит кадрів (3-4 спеціалісти на 100 тис., МОЗ, 2023) і обмежена інфраструктура, що перешкоджає масштабному впровадженню методів [5]. Дослідження також врахувало культурні особливості, описані в працях із "European Journal of Psychotraumatology" (2021), які підкреслюють важливість адаптації методу до кризових умов через інтеграцію місцевих нейропсихологічних практик [9].

Методологія дослідження включала комбінацію якісного та кількісного аналізу. Якісний аналіз текстів дозволив ідентифікувати ключові теми, такі як нейрофізіологічні механізми дії EMDR (модуляція синаптичної передачі та нейропластичності), культурні бар'єри та перспективи адаптації [3]. Кількісна оцінка базувалася на статистичних даних (проценти поширення ПТСР, кількість сеансів для ефективності), які оброблялися для визначення тенденцій і кореляцій між нейрональною активністю та терапевтичними результатами. Наприклад, зіставлення даних про доступність послуг (МОЗ, 2022) із показниками ефективності EMDR (Shapiro et al., 2014) дало змогу оцінити потенціал методу в умовах обмежених ресурсів для відновлення нейрогомеостазу [3, 5]. Цей підхід забезпечує обґрунтованість висновків і їхню практичну спрямованість у контексті нейрофізіології.

Серед обмежень варто зазначити залежність від вторинних даних, що може включати розбіжності в методологіях збору інформації різними організаціями, наприклад, у критеріях оцінки активності амігдали чи рівня кортизолу між MOM і ЮНІСЕФ [4, 8]. Крім того, відсутність прямих емпіричних досліджень, проведених у межах цього аналізу, обмежує можливість узагальнень щодо специфічних нейрональних змін, що підкреслює потребу в подальших польових дослідженнях в Україні з використанням нейровізуалізації [5]. Дослідження дотримувалося етичних стандартів, зокрема конфіденційності даних, отриманих із клінічних кейсів, і використання лише відкритих джерел [5]. Усі цитати та статистичні показники були належним чином оформлені з посиланнями на оригінальні джерела.

Таким чином, методологія дослідження поєднала широкий спектр джерел і підходів, що забезпечило всебічний аналіз використання методу EMDR для лікування ПТСР, адаптований до українських реалій. Цей підхід закладає основу для подальших емпіричних студій і практичного впровадження методу, спрямованого на відновлення нейрофізіологічної рівноваги [3].

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз, проведений в рамках цього дослідження, виявив високу поширеність посттравматичного стресового розладу (ПТСР) серед різних груп населення України, що є прямим наслідком тривалих військових дій та їхніх соціально-економічних наслідків, які провокують значні нейрофізіологічні порушення. ПТСР характеризується гіперактивацією амігдали, атрофією гіпокампа через хронічне підвищення рівня кортизолу внаслідок активації гіпоталамо-гіпофізарно-надниркової осі (НРА-осі), та гальмуванням префронтальної кори, що призводить до патологічної консолідації травматичних спогадів. Зокрема, за даними Міністерства у справах ветеранів України, від 20% до 30% ветеранів, які брали участь у бойових діях, страждають на ПТСР, демонструючи симптоми, такі як

флешбеки (спричинені дисфункцією гіпокампа), гіперзбудженість (результат надмірного вивільнення катехоламінів) і емоційна ізоляція (пов'язана з дефіцитом серотоніну) [3, 11]. Ці показники підтверджуються дослідженнями Українського науково-дослідного інституту соціальної і судової психіатрії, які вказують на значну кількість випадків серед тих, хто звертається по психологічну допомогу, де нейрональна сенсibiliзація посилює реактивність ЦНС [4, 14]. Серед внутрішньо переміщених осіб, за оцінками Міжнародної організації з міграції, поширеність ПТСР становить 10-15%, причому рівень супутніх депресивних і тривожних станів сягає 40-50%, що відображає складність їхньої адаптації до нових умов життя через дисбаланс нейротрансмісії, зокрема гамма-аміномасляної кислоти (ГАМК) і глутамату [4]. У прифронтових зонах ситуація ще критичніша: дослідження, опубліковані в "European Journal of Psychotraumatology", фіксують до 30% мешканців із проявами ПТСР, що пов'язано з постійною загрозою та тривалим перебуванням у зоні конфлікту, що викликає виснаження парасимпатичної нервової системи та порушення вегетативного балансу [9, 15].

Діти також виявилися вразливою групою, що зазнала значного психологічного впливу війни через незрілість їхньої нейронної мережі та високу пластичність синапсів. За даними ЮНІСЕФ, серед евакуйованих дітей 20% демонструють виражені симптоми ПТСР, такі як нічні кошмари (результат патологічної консолідації спогадів у гіпокампі), емоційна нестабільність (спричинена дисрегуляцією лімбічної системи) і агресивна поведінка, тоді як ще 40% мають тривожні або депресивні стани, пов'язані з дефіцитом нейротрофічного фактора мозку (BDNF) [8]. Ці цифри підкреслюють необхідність спеціалізованих підходів до терапії для цієї категорії, особливо для тих, хто втратив батьків або став свідком насильства, адже, як зазначається в "Journal of Child Psychology and Psychiatry", відсутність стабільного середовища значно підвищує ризик хронічного перебігу розладу через порушення синаптичного ремоделювання та нейрогенезу в розвиваючомуся мозку [8, 16].

Аналіз нейрофізіологічних ефектів EMDR підтверджує його потенціал у лікуванні ПТСР, демонструючи інтеграцію травматичних спогадів через модуляцію активності амігдали та гіпокампа [11]. Дослідження порівнюють EMDR із медикаментами, показуючи нормалізацію префронтальної кори та зниження кортизолу [12, 17]. Це підкреслює необхідність подальшого впровадження методу в Україні для відновлення нейрогомеостазу.

Щодо ефективності методу десенсибілізації та переробки рухами очей (EMDR), аналіз сучасної літератури підтверджує його високу терапевтичну цінність через унікальні нейрофізіологічні механізми дії. Дослідження, опубліковане в "Journal of Traumatic Stress" (2018), показало, що після проходження 8-12 сеансів EMDR спостерігається зниження симптомів ПТСР на 70%, що перевершує за швидкістю традиційну когнітивно-поведінкову терапію (СВТ), яка зазвичай вимагає 12-16 сеансів для досягнення подібних результатів [3, 10, 12, 18]. Ця перевага обумовлена механізмом дії EMDR, який базується на білатеральній стимуляції (БС), що активує кортикоталамічні зв'язки, викликаючи ритмічну модуляцію нейронних мереж. БС сприяє десенсибілізації патологічних спогадів через стимуляцію довготривалих потенціалів (LTP) у гіпокампі, що є основою синаптичної пластичності, дозволяючи переробити травматичні спогади в менш емоційно насичені форми шляхом інтеграції з префронтальною корою. Функціональна магнітно-резонансна томографія (fMRI) демонструє зниження активності амігдали та підвищення активності префронтальної кори, що свідчить про нормалізацію нейротрансмісії, зокрема глутамату та ГАМК [19].

У контексті конкретних груп населення ефективність методу варіюється залежно від нейрофізіологічного профілю. Програма реабілітації "Повернись живим" (2022) зафіксувала зменшення флешбеків і гіперзбудженості серед українських ветеранів на 65% після 10 сеансів, що пов'язано з модуляцією катехоламінового каскаду та зниженням рівня норадреналіну, свідчачи про високу адаптивність методу

до потреб військових [7]. Серед цивільних осіб, які пережили бомбардування, дослідження "European Journal of Psychotraumatology" (2021) показало, що 75% учасників позбулися основних симптомів ПТСР після завершення курсу терапії, що асоціюється з відновленням вегетативного балансу та підвищенням рівня BDNF [9]. Для дітей, за даними van der Kolk et al. (2019), EMDR забезпечило 70% поліпшення емоційного стану, зокрема зменшення тривожності, через стимуляцію нейрогенезу в зубчастій звивині та нормалізацію кортизолового профілю, що підтверджує його потенціал у роботі з молодшою віковою групою [8, 20].

Разом із тим, впровадження EMDR стикається з низкою обмежень. Одним із ключових викликів є брак сертифікованих терапевтів: за даними Міністерства охорони здоров'я України (2023), лише 10% психологів мають доступ до відповідних тренінгів, що значно ускладнює розширення практики методу та доступ до нейромодуляційного втручання [5]. Іншим важливим аспектом є ризик загострення симптомів при роботі з пацієнтами, які мають комплексний ПТСР або дисоціативні розлади, де спостерігається дисрегуляція нейрональних мереж. Дослідження Korn (2020) вказує, що у 15% таких випадків після перших сеансів БС може спричинити тимчасове підвищення активності амігдали та кортизолу, що вимагає додаткових заходів стабілізації, таких як активація парасимпатичної нервової системи через дихальні вправи [5]. Ці обмеження підкреслюють необхідність ретельного відбору кандидатів на терапію та підготовки фахівців, здатних моніторити нейрофізіологічні показники.

Перспективи застосування EMDR в Україні також обмежені через дефіцит кадрових ресурсів і фінансові проблеми, що впливають на доступність нейрофізіологічного втручання. За даними МОЗ України (2023), на 100 тисяч населення припадає лише 3-4 кваліфікованих психотерапевти, що значно нижче європейських стандартів (10-15 на 100 тис.) [5], що перешкоджає масштабному впровадженню методів, які потребують точного контролю синаптичної активності. Крім того, за оцінками Світового банку (2023), фінансування психічного здоров'я становить менше 1% від загального бюджету охорони здоров'я, створюючи бар'єри для забезпечення спеціалізованого обладнання та тренінгів [5, 13]. Незважаючи на це, метод демонструє високу адаптивність до кризових умов, що робить його перспективним для роботи в прифронтових зонах та з вимушено переміщеними особами. Його здатність ефективно функціонувати з мінімальними вербальними інтервенціями особливо цінна в умовах нестабільності, де традиційні методи можуть бути менш доступними, дозволяючи модулювати нейрональну активність без значних когнітивних навантажень [3].

Отже, результати аналізу підкреслюють як значну поширеність ПТСР в Україні, так і потенціал EMDR як інструменту для його подолання через відновлення нейрогomeостазу. Успіх впровадження методу залежить від подолання існуючих бар'єрів, таких як підготовка кадрів і фінансування, що вимагає подальших зусиль на державному та міжнародному рівнях для підтримки нейрофізіологічного здоров'я [3, 5].

Висновки. Теоретична обґрунтованість методу десенсибілізації та переробки рухами очей (EMDR) та його емпірична підтвердженість знаходять широке визнання у світовій науковій спільноті завдяки його прямому впливу на нейрофізіологічні механізми посттравматичного стресового розладу (ПТСР). За останні три десятиліття численні дослідження підтвердили ефективність EMDR у роботі з ПТСР, зокрема у військових, жертв насильства та осіб, що пережили природні катастрофи, демонструючи його здатність значно модулювати синаптичну пластичність і нейротрансмісію [3, 5]. EMDR базується на добре вивчених нейрофізіологічних процесах, таких як десенсибілізація через білатеральну стимуляцію (БС), яка активує кортикоталамічні зв'язки, і активація інтегративних функцій мозку, що сприяє зниженню гіперактивності амігдали та нормалізації активності гіпокампа й префронтальної кори. Наукові праці, такі як роботи Shapiro (2014) та Maxfield et al. (2008), доводять, що метод сприяє зниженню емоційного напруження через зменшення рівня кортизолу та

катехоламінів, а також інтеграції травматичних спогадів у здоровий контекст шляхом стимуляції довготривалих потенціалів (LTP) у нейронних мережах [3, 5].

Актуальність застосування EMDR в українських реаліях є беззаперечною через масові психічні травми, спричинені війною у населення, включаючи військовослужбовців, цивільних осіб і дітей. За даними досліджень, проведених ЮНІСЕФ та Всесвітньою організацією охорони здоров'я, понад 60% постраждалих мають симптоми ПТСР, пов'язані з дисрегуляцією гіпоталамо-гіпофізарно-надниркової осі (HPA-осі) та виснаженням парасимпатичної нервової системи [8]. Використання EMDR в Україні може стати ключовим інструментом для ефективного лікування цих розладів, особливо з урахуванням його відносної швидкості впливу на синаптичну передачу та адаптивності до різних нейрофізіологічних станів [1]. Метод уже довів свою результативність у подібних кризових контекстах, таких як Боснія та Герцеговина після військових конфліктів 1990-х років [7].

Пропозиції для подальших досліджень включають необхідність проведення лонгітюдних досліджень ефективності EMDR у роботі з українським населенням. Зокрема, важливо з'ясувати, як метод впливає на довготривалі результати реабілітації, включаючи відновлення соціального функціонування та зменшення ризиків рецидивів ПТСР, шляхом моніторингу змін у рівні нейротрофічного фактора мозку (BDNF) і активності дефолтного режиму мережі (DMN) [5]. Одним із перспективних напрямків є вивчення специфіки застосування EMDR для різних груп населення в Україні, таких як внутрішньо переміщені особи, ветерани бойових дій та діти, які стали свідками воєнних злочинів [8].

Ще одним важливим напрямком є дослідження можливостей поєднання EMDR з іншими терапевтичними підходами, такими як когнітивно-поведінкова терапія (CBT) або фармакологічне лікування, що модулює нейротрансмісію (наприклад, серотонін чи ГАМК). Наприклад, у роботі Lee & Cuijpers (2013) зазначено, що комбіновані підходи можуть підвищити ефективність лікування, особливо для пацієнтів із комплексним ПТСР, де спостерігається дисрегуляція глутаматергічної системи [6]. Вивчення подібних моделей в українському контексті може дати змогу розробити оптимальні програми реабілітації, що враховують нейрофізіологічні профілі постраждалих [3].

Розширення застосування EMDR також вимагає аналізу інфраструктурних і організаційних бар'єрів. Наприклад, у дослідженнях Korn (2020) акцентується увага на важливості створення доступних програм навчання для терапевтів, які працюють у регіонах з обмеженими ресурсами, де брак нейровізуалізаційних інструментів ускладнює контроль синаптичної активності [5]. В Україні ця проблема є особливо актуальною, враховуючи нерівномірний розподіл спеціалістів із психічного здоров'я між міськими та сільськими територіями, що перешкоджає своєчасному психологічному лікуванню [5].

Таким чином, перспективи застосування EMDR в Україні є значними, але потребують подальшого вивчення та адаптації до місцевих нейрофізіологічних умов. Інвестиції у навчання, розробка локальних протоколів терапії та впровадження національних програм підтримки психічного здоров'я можуть забезпечити стійкі результати, сприяючи відновленню ментального здоров'я українського суспільства після війни [3, 5]. Лонгітюдні дослідження, інтеграція інноваційних підходів і популяризація методу серед професійної спільноти є ключовими завданнями на шляху до оптимізації використання EMDR у лікуванні ПТСР [3, 6].

Література

1. Shuprovich A. Дисфункція гіпоталамо-гіпофізарно-адреналової осі та синдром функціонального гіперкортицизму в патогенезі метаболічного синдрому та цукрового діабету 2 типу. *Clin Endocrinol Endocr Surg (Ukraine)*. 2020. №3 (71). URL: <http://jcees.endocenter.kiev.ua/article/view/213118>.

2. Klymenko, I., Lobanov, S., Zaichykova, T., Ilchenko, R., Vakal, Y. (2025) Psychosocial Rehabilitation of Military Personnel With Post-Traumatic Stress Disorder: The Example of Ukraine". *Salud, Ciencia Y Tecnología*, – 2025. – Vol. 5. P. 1298. URL: <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251298>
3. Shapiro, F. *Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR) Therapy: Basic Principles, Protocols, and Procedures*. – New York: Guilford Publications, 2014. – 558 p.
4. Maxfield, L., Hyer, L. The relationship between efficacy and methodology in studies investigating EMDR treatment of PTSD // *Journal of Clinical Psychology*. – 2002. – Vol. 58, №1. – P. 23–41.
5. Korn, D. L. EMDR therapy for complex PTSD: Innovation and controversy // *Journal of Traumatic Stress*. – 2020. – Vol. 33, №1. – P. 1–10.
6. Lee, C. W., Cuijpers, P. A meta-analysis of the contribution of eye movements in processing emotional memories // *Journal of Anxiety Disorders*. 2013. Vol. 27, №1. – P. 1–8.
7. Hoge, C. W., et al. Effectiveness of EMDR therapy for treating combat-related PTSD // *American Journal of Psychiatry*. – 2020. – Vol. 177, № 5. – P. 414–423.
8. Effectiveness of EMDR in treating war-affected children // *Child Psychology Review*. – 2020. – Vol. 3, №2. – P. 45–56.
9. EMDR in civilian populations affected by war // *European Journal of Psychotraumatology*. – 2021. – Vol. 12, № 1. Article 1929025.
10. A decade of research in EMDR therapy // *Journal of Traumatic Stress*. – 2018. – Vol. 31, № 6. – P. 755–764.
11. Farina, B., Imperatori, C., Quintiliani, M. I., et al. Neurophysiological correlates of eye movement desensitization and reprocessing sessions: Preliminary evidence for traumatic memories integration // *Journal of EMDR Practice and Research*. 2015. Vol. 9, №1. P. 22–31.
12. Van der Kolk, B. A., et al. A randomized clinical trial of eye movement desensitization and reprocessing (EMDR), fluoxetine, and pill placebo in the treatment of posttraumatic stress disorder // *Journal of Clinical Psychiatry*. – 2007. – Vol. 68, №1. – P. 37–46.
13. EMDR Україна ГО «Асоціація ЕМДР в Україні - фахове об'єднання зі спеціальної травматерапії». URL: <https://emdr.com.ua/emdr/>
14. Ahmadzadeh MJ, Ebadi A, Sirati nir M, Tavallai A, Sharif Nia H, Lot MS. Development and psychometric evaluation of the Treatment Adherence Questionnaire for Patients with Combat Post-traumatic Stress Disorder. *Patient Preference Adherence*. – 2019. – Volume 13:419-30. DOI <https://doi.org/10.2147/PPA.S175353>
15. Janitza L. Montalvo-Ortiz PhD. Epigenomic biomarkers of posttraumatic stress disorder. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823039-8.00020-4>
16. Vianez A, Marques A, Simões de Almeida R. Virtual reality exposure therapy for Armed Forces veterans with post-traumatic stress disorder: A systematic review and focus group. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2022 №19(1). pp. 464.
17. Van der Kolk, B. A., et al. (2007). A Randomized Clinical Trial of Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR), Fluoxetine, and Pill Placebo in the Treatment of Posttraumatic Stress Disorder. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/1/464>
18. Leightley D, Williamson V, Darby J, Fear NT. Identifying probable post-traumatic stress disorder: applying supervised machine learning to data from a UK military cohort. *J Ment Health* [Internet]. 2018 №28(1). P.34–41. <https://doi.org/10.1080/09638237.2018.1521946>
19. American Psychological Association: Stress effects on the body. 2023. URL: <https://www.apa.org/topics/stress/body>
20. Richard S. Lee PhD. The physiology of stress and the human body's response to stress. *Epigenetics of Stress and Stress Disorders*. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823039-8.00017-4>

References

1. Shuprovich, A. (2020). Dysfunktsiia hipotalamo-hipofizarno-adrenalovoi osi ta syndrom funktsionalnogo hiperkortyzizmu v patohenezi metabolichnogo syndromu ta tsukrovoho diabetu 2 typu [Dysfunction of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and functional hypercortisolism syndrome in the pathogenesis of metabolic syndrome and type 2 diabetes]. *Clin*

Endocrinol Endocr Surg (Ukraine), (3)71. <http://jcees.endocenter.kiev.ua/article/view/213118> [in English].

2. Klymenko, I., Lobanov, S., Zaichykova, T., Ilchenko, R., & Vakal, Y. (2025). Psychosocial rehabilitation of military personnel with post-traumatic stress disorder: The example of Ukraine. *Salud, Ciencia Y Tecnología*, 5, Article 1298. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251298> [in English].

3. Shapiro, F. (2014). *Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR) Therapy: Basic Principles, Protocols, and Procedures*. Guilford Publications. [in English].

4. Maxfield, L., & Hyer, L. (2002). "The Relationship Between Efficacy and Methodology in Studies Investigating EMDR Treatment of PTSD". *Journal of Clinical Psychology*. [in English].

5. Korn, D. L. (2020). "EMDR Therapy for Complex PTSD: Innovation and Controversy". *Journal of Traumatic Stress*. [in English].

6. Lee, C. W., & Cuijpers, P. (2013). "A Meta-analysis of the Contribution of Eye Movements in Processing Emotional Memories". *Journal of Anxiety Disorders*. [in English].

7. Hoge, C. W., et al. (2020). "Effectiveness of EMDR Therapy for Treating Combat-related PTSD". *American Journal of Psychiatry*. [in English].

8. "Child Psychology Review" (2020). "Effectiveness of EMDR in Treating War-affected Children". [in English].

9. European Journal of Psychotraumatology (2021). "EMDR in Civilian Populations Affected by War". [in English].

10. Journal of Traumatic Stress (2018). "A Decade of Research in EMDR Therapy". [in English].

11. Farina, B., Imperatori, C., Quintiliani, M. I., et al. (2015). Neurophysiological Correlates of Eye Movement Desensitization and Reprocessing Sessions: Preliminary Evidence for Traumatic Memories Integration. [in English].

12. Van der Kolk, B. A., Hodgdon, H., Gapen, M., Musicaro, R., Suvak, M. K., Hamlin, E., ... & Spinazzola, J. (2007). A randomized clinical trial of eye movement desensitization and reprocessing (EMDR), fluoxetine, and pill placebo in the treatment of posttraumatic stress disorder. *Journal of Clinical Psychiatry*, 68(1), 37–46. [in English].

13. EMDR Україна. (n.d.). ГО «Асоціація ЕМДР в Україні – фахове об'єднання зі спеціальної травматерапії». Retrieved June 24, 2025, from <https://emdr.com.ua/emdr/> [in English].

14. Ahmadzadeh, M. J., Ebadi, A., Sirati Nir, M., Tavallaii, A., Sharif Nia, H., & Lot, M. S. (2019). Development and psychometric evaluation of the Treatment Adherence Questionnaire for patients with combat post-traumatic stress disorder. *Patient Preference and Adherence*, 13, 419–430. <https://doi.org/10.2147/PPA.S175353> [in English].

15. Montalvo-Ortiz, J. L. (n.d.). Epigenomic biomarkers of posttraumatic stress disorder. In *Epigenetics of Stress and Stress Disorders*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823039-8.00020-4> [in English].

16. Vianez, A., Marques, A., & Simões de Almeida, R. (2022). Virtual reality exposure therapy for Armed Forces veterans with post-traumatic stress disorder: A systematic review and focus group. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 464. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/1/464> [in English].

17. Van der Kolk, B. A., Hodgdon, H., Gapen, M., Musicaro, R., Suvak, M. K., Hamlin, E., ... & Spinazzola, J. (2007). A randomized clinical trial of eye movement desensitization and reprocessing (EMDR), fluoxetine, and pill placebo in the treatment of posttraumatic stress disorder. *Journal of Clinical Psychiatry*, 68(1), 37–46. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/1/464> [in English].

18. Leightley, D., Williamson, V., Darby, J., & Fear, N. T. (2018). Identifying probable post-traumatic stress disorder: Applying supervised machine learning to data from a UK military cohort. *Journal of Mental Health*, 28(1), 34–41. <https://doi.org/10.1080/09638237.2018.1521946> [in English].

19. American Psychological Association. (2023). Stress effects on the body. <https://www.apa.org/topics/stress/body> [in English].

20. Lee, R. S. (n.d.). The physiology of stress and the human body's response to stress. In *Epigenetics of Stress and Stress Disorders*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823039-8.00017-4> [in English].

Lanskoj A.

Postgraduate Student, Department of Human Biology,
Chemistry and Chemistry Teaching Methods,
Sumy State Pedagogical
University named after A. S. Makarenko
artem.lanskoi@gmail.com
orcid.org/0009-0004-4088-3271

Vakal Y.

Doctor of Philosophy,
Senior Lecturer, Department of Human Biology,
Chemistry and Chemistry Teaching Methods,
Sumy State Pedagogical
University named after A. S. Makarenko
julia.vakal@sspu.edu.ua
orcid.org/0000-0002-8722-7683

THE EMDR METHOD IN THE THERAPY OF POST-TRAUMATIC STRESS DISORDERS: A THEORETICAL REVIEW AND PROSPECTS FOR APPLICATION IN UKRAINE

The article is devoted to a comprehensive analysis of the theoretical foundations and empirical substantiation of the use of the Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR) method in the context of psychological rehabilitation of persons affected by the consequences of the armed conflict in Ukraine. Particular attention is paid to the physiological mechanisms of action of EMDR, which, through the restoration of neuronal homeostasis, significantly reduce the symptoms of post-traumatic stress disorder (PTSD) and other traumatic reactions. The paper analyzes the prevalence of post-traumatic stress disorder (PTSD) among different population groups - military personnel, civilians, children, etc. The study focuses on the influence of war factors and socio-economic depression, which induce significant neurobiological changes that lead to dysregulation of neurotransmission. The key pathophysiological mechanisms in this case are hyperactivation of the amygdala, hippocampal atrophy, and impaired synaptic plasticity. It is noted that 20-30% of veterans, 10-15% of internally displaced persons, and a significant proportion of children demonstrate symptoms of PTSD, which requires effective neuromodulatory therapeutic approaches.

The theoretical foundations of EMDR, developed by Francine Shapiro, are based on the idea of processing traumatic memories through bilateral stimulation (BS), which activates corticothalamic connections, modulates activity between the cerebral hemisphere,s and promotes desensitization of pathological memories stored in a network of synapses in the limbic system. The method includes eight phases – from history taking to reappraisal of the results – and is recognized by the WHO and the American Psychological Association as effective for the treatment of PTSD through the stimulation of long-term potentiation (LTP) and an increase in the level of brain-derived neurotrophic factor (BDNF). Analysis of modern literature confirms the high neurophysiological effectiveness of EMDR, which reaches 70-80% reduction of symptoms after 6-12 sessions, surpassing traditional methods such as cognitive behavioral therapy in speed, due to the normalization of hippocampal and prefrontal cortex activity recorded using functional magnetic resonance imaging (fMRI). The prospects for the use of EMDR in Ukraine are considered, taking into account the limited access to psychotherapy services (3-4 specialists per 100 thousand

population) and the need to train new personnel. The method is adapted to crisis conditions, which makes it promising for the treatment of PTSD in veterans, children, and civilians in front-line areas. However, implementation faces barriers: a shortage of certified therapists, insufficient funding, and limited infrastructure for neuroimaging. The authors analyze development strategies and local training programs, ways of cooperation with international organizations, and the creation of crisis centers with an emphasis on neurophysiological rehabilitation.

The article emphasizes the importance of further research into the neurophysiological effectiveness of EMDR in long-term rehabilitation, including monitoring changes in synaptic plasticity and neurogenesis, as well as integration with other neuromodulatory approaches. The conclusions indicate the significant potential of the method for restoring the mental health of Ukrainians, but emphasize the need for further implementation of the method in education, the creation of infrastructure for neuroimaging, and the popularization of therapy, taking into account neurophysiological features.

Key words: EMDR, Post-Traumatic Stress Disorder, PTSD, Neurophysiology, Synaptic Plasticity, Neurotransmission, Bilateral Stimulation, War in Ukraine, Neurogenesis, Neuromodulation, Rehabilitation, Therapeutic Approaches.

Стаття до редакції надійшла 06.05.2025 року

Рецензія на статтю надійшла 30.05.2025 року



«НАУКОВІ ЗАПИСКИ. БІОЛОГІЧНІ НАУКИ»
(НІЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИКОЛИ ГОГОЛЯ) /
RESEARCH NOTES. BIOLOGY RESEARCH
(NIZHYN MYKOLA GOGOL STATE UNIVERSITY)

Науковий журнал «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) – це наукове видання з біологічних наук, засноване у 2023 році Ніжинським державним університетом імені Миколи Гоголя.

Свідоцтво про реєстрацію: КВ № 25398-15338 Р від 20 січня 2023 р.

Періодичність: 4 рази на рік.

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 582 від 24.04.2024 (додаток 2) науковий журнал «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) внесений до переліку **наукових фахових видань України (категорії «Б»)** у галузі біологічних наук (091 «Біологія та біохімія»).

Зареєстрований Національною радою України з питань телебачення та радіомовлення (рішення № 1180, протокол № 13 від 11.04.2024 р., ідентифікатор медіа R30-03790).

У науковому журналі висвітлюються актуальні питання біологічної науки.

Редакція здійснює присвоєння кожному опублікованому матеріалу міжнародного цифрового ідентифікатора DOI.

До друку приймаються статті докторів наук, кандидатів наук, молодих науковців (аспірантів, здобувачів), а також інших осіб, які мають вищу освіту та займаються науковою діяльністю. Редакція залишає за собою право на редагування і відхилення статей. За достовірність фактів, статистичних даних та іншої інформації відповідальність несе автор. Передрук матеріалів збірника дозволяється тільки з дозволу автора і редакції.

РУБРИКИ ЖУРНАЛУ

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 091 БІОЛОГІЯ ТА БІОХІМІЯ

- | | |
|--|----------------------|
| 1. Ботаніка | 2. Зоологія |
| 3. Біохімія | 4. Фізіологія рослин |
| 5. Нормальна та патологічна анатомія та фізіологія людини і тварин | |

Мова публікації: українська, англійська.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТЕКСТУ РУКОПISУ

1. Формат А4; орієнтація – книжкова, матеріали збережені та підготовлені у форматі Microsoft Word (*.doc або *.docx). Поля з усіх сторін – 20 мм; шрифт – 14, основний шрифт – Times New Roman, *Arial* і *Courier New* для *текстових фрагментів*; інтервал між рядками – 1,5; вирівнювання тексту – по ширині; автоматична розстановка переносів – включена; абзацний відступ – 1,25 см; нумерація сторінок – не ведеться.

2. Малюнки та таблиці необхідно подавати в статті безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. Розмір шрифту табличного тексту зазвичай на 2 пункти менше основного шрифту. Кількість таблиць, формул та ілюстрацій має бути мінімальною та доречною. Рисунки і таблиці на альбомних сторінках не приймаються.

3. *Нерозривний пробіл (Ctrl+Shift+пробіл) ставиться обов'язково: між ініціалами та прізвищем (С. Русова); після географічних скорочень (м. Київ); між знаками номера (№) та параграфу і числами, які до них відносяться; у посиланнях на літературу [14, с. 60]; всередині таких скорочень: і т. д., і т. п. тощо; між внутрішньо-текстовими пунктами й інформацією, яка йде після них, між числами й одиницями виміру (20 кг), а також дат (XX ст., 2002 р.).*

4. Посилання на літературу подаються у тексті тільки у квадратних дужках до прикладу: [1, с. 2], бібліографічний список у кінці тексту. Посторінкові виноска та посилання не допускаються.

5. Г. Славтич приділяє увагу проблемі формування психологічної культури навичок ділового спілкування, обґрунтовує зміст та умови її формування [1, с. 2]. Вчена визначає такі особливості розвитку психологічної культури ділового спілкування як «якісна характеристика потреби у спілкуванні, рівень її розвитку, мотиви спілкування, операційний компонент спілкування, рівень знань про професії бізнесу, техніка спілкування» [1; 6, с. 9–10].

6. Бібліографічний опис списку використаних джерел оформлюється з урахуванням розробленого в 2015 році Національного стандарту України **ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» (ДСТУ 8302:2015 р.)**.

7. References. Оформлюється відповідно до стандарту APA (APA Style Reference Citations). Автор (трансліт), назва статті (трансліт), назва статті (в квадратних дужках переклад англійською мовою), назва джерела (трансліт), вихідні дані (місто з позначенням англійською мовою), видавництво (трансліт).

Для складання списку за стандартом APA пропонуємо скористатися одним із генераторів посилань: <https://openscience.in.ua/references.html>, <https://www.sciencehunter.net/Services/Bibliography>.

Наприклад:

1. Danchuk, O.V. (2018). Peroksydney oksynennia lipidiv ta aktyvnist systemy antyoksydantnoho zakhystu v orhanizmi svynei z riznymy typamy vyshchoi nervovoi diialnosti [Peroxide oxidation of lipids and activation of the antioxidant defense system in the body of pigs with different types of higher nervous activity]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

2. Klevets, M.Yu., Manko, V.V. & Halkiv, M.O. (2011). Fiziolohiia liudyny i tvaryn (fiziolohiia nervovoi, miazovoi i sensorykh system) [Human and animal physiology (physiology of nervous, muscular and sensory systems)]. Lviv: LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

3. *Транслітерація імен та прізвищ з української мови здійснюється відповідно до вимог* Постанови Кабінету Міністрів України «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» від 27 січня 2010 р. № 55. <http://ukrlit.org/transliteratsiia>.

4. Реферат англійською мовою має бути оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань і мати: обсяг 1800–2000 знаків; інформативність (не містити загальних слів); оригінальність (не бути калькою анотації українською або російською мовою); змістовність (відобразити головний зміст статті та результати досліджень), структурованість (*наявність обов'язкових елементів*: мета, методика, результати, наукова новизна, практична значущість, ключові слова).

5. Обсяг статті – 10–25 сторінок.

За достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв та інших відомостей відповідають автори публікації.

Відповідальність за дотримання академічної доброчесності під час здійснення освітньо-наукової діяльності несуть автори поданих наукових статей. Відповідно до статті 42 Закону України «Про освіту» (05.09.2017 № 2145-VIII) академічною доброчесністю визначається сукупність етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та / або наукових (творчих) досягнень.

Дотримання академічної доброчесності педагогічними, науково-педагогічними та науковими працівниками передбачає:

- посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;
- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;
- надання достовірної інформації про методики і результати досліджень, джерела використаної інформації та власну педагогічну (науково-педагогічну, творчу) діяльність тощо.

Порушенням академічної доброчесності вважається:

- *академічний плагіат* – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та / або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства;
- *самоплагіат* – оприлюднення (частково або повністю) власних раніше опублікованих наукових результатів як нових наукових результатів;
- *фабрикація* – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в освітньому процесі або наукових дослідженнях;
- *фальсифікація* – свідомо зміна чи модифікація вже наявних даних, що стосуються освітнього процесу чи наукових досліджень;
- *обман* – надання завідомо неправдивої інформації щодо власної освітньої (наукової, творчої) діяльності чи організації освітнього процесу; формами обману є, зокрема, академічний плагіат, самоплагіат, фабрикація, фальсифікація та списування тощо.

Рукописи, що не відповідають вимогам, редакція не реєструє й не розглядає з метою публікації.

УМОВИ ОПЛАТИ

Редакційний збір становить **60 гривень** за одну сторінку. До друку приймаються статті обсягом від 10 до 25 сторінок. Редакційний збір покриває витрати, пов'язані з редагуванням статей, макетуванням та друком журналу. Поштова пересилка журналу авторам здійснюється на вказане ним поштове відділення Нової Пошти за рахунок автора.

Редакційна колегія наукового вісника здійснює внутрішнє анонімне рецензування та перевіряє їх на плагіат. У разі вдалого проходження перевірки авторам надсилаються реквізити для оплати публікаційного внеску. В іншому випадку стаття повертається на доопрацювання.

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК 378:14

1. Фізіологія та біохімія

ІМУНОЛОГІЧНИЙ ТА БІОХІМІЧНИЙ СТАТУС НА ТЛІ ФОРМУВАННЯ АДАПТАЦІЙНОГО СИНДРОМУ

Шевченко Сергій Миколайович,

кандидат біологічних наук,
доцент кафедри біології

Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
shevchenko@gmail.com
orcid.org/_____

Анотація українською мовою.

Обсяг: 1800-2000 знаків без пробілів.

Ключові слова: 5–10 слів чи словосполучень.

IMMUNOLOGICAL AND BIOCHEMICAL STATUS ON THE BACKGROUND OF THE FORMATION OF THE ADAPTATION SYNDROME

Shevchenko Serhiy Mykolayovych

Candidate of biological Sciences,
Associate Professor at the Department of Biology
Nizhyn Mykola Gogol State University
shevchenko@gmail.com
orcid.org/_____

Анотація англійською мовою.

Обсяг: 1800-2000 знаків без пробілів.

Key words: 5–10 слів чи словосполучень.

РОЗДІЛИ СТАТТІ

Вступ. Актуальність дослідження, критичний аналіз літературних джерел за темою статті.

Формулювання мети статті.

Методи та організація дослідження. Опис схеми дослідження, методів дослідження, дотримання норм біоетики.

Результати досліджень та їх обговорення.

Висновки з дослідження та перспективи подальшого дослідження згідно матеріалу, поданому в статті.

Література

1. Мойбенко О. О., Сагач В. Ф., Ткаченко М. М. Фундаментальні механізми дії оксиду азоту на серцево-судинну систему як основи патогенетичного лікування її захворювань. *Фізіологічний журнал*. 2004. Т. 50. № 1. С. 11–30.

References

1. Moibenko, O.O., Sahach, V.F., Tkachenko, M.M. (2004). Fundamentalni mekhanizmy dii oksydu azotu na sertsevo-sudylnnu systemu yak osnovy patohenetychnoho likuvannia ii zakhvoriuvan [Fundamental mechanisms of action of nitric oxide on the cardiovascular system as the basis of pathogenetic treatment and diseases]. *Fiziolohichniy zhurnal – Physiological journal*. Issue 50 (1). P. 11–30 [in Ukrainian].

ПОРЯДОК ПОДАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Для опублікування статті у науковому журналі «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) необхідно надіслати електронною поштою на адресу pv.naukovizapiski@gmail.com наступні матеріали:

1) довідку про автора: прізвище, ім'я, по батькові, місце роботи (для аспірантів – місце навчання), посада, науковий ступінь, вчене звання, orcid, e-mail, домашня адреса (індекс обов'язково), адреса електронної пошти, контактні телефони;

2) статтю.

У разі успішного рецензування статті необхідно надіслати відскановану електронну копію підтвердження сплати редакційного збору.

Без попередньої оплати стаття до друку не допускається.

Приклад підпису файлів: Іванченко_стаття, Іванченко_квитанція.

КОНТАКТНА ІНФОРМАЦІЯ

Кафедра біології
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя,
вул. Графська, 2,
м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16602

Електронна адреса: pv.naukovizapiski@gmail.com

Телефон: +38 067 266 70 99

**У РАЗІ НЕДОТРИМАННЯ АВТОРАМИ ВСІХ ВИЩЕЗАНАЧЕНИХ УМОВ
РЕДАКЦІЯ МАЄ ПРАВО ПОВЕРНУТИ СТАТТЮ
НА ДООПРАЦЮВАННЯ ЧИ ВІДМОВИТИ В ЇЇ ДРУКУВАННІ**