

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)

№ 3



Ніжин – 2025

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор: Шейко Віталій Ілліч, доктор біологічних наук, професор, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка.

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).

Верхольська 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, Словачка 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 № 3 від 02.10.2025 р.

НЗ4 Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) / за заг. ред. В. І. Шейко. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2025. – № 3. – 99 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://kpv.ndu.edu.ua/index.php/bn>

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

Підписано до друку 05.11.2025 р.	Формат 60x84/8	Папір офсетний
Гарнітура Arial	Обл.-вид.арк. 7,73	Тираж 100 пр.
Замовлення №	Ум. друк. арк. 12,1	

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 3



Nizhyn – 2025

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

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief: Sheiko Vitaliy, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of General Biology and Methods of Teaching Natural Sciences Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk.

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 Kotsiubynskiy 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 № 3 of June 02, 2025.

N34 Research Notes. Biology Research (Nizhyn Mykola Gogol State University) / ed. V. I. Sheiko. Nizhyn: Mykola Gogol NSU, 2025. № 3. 99 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://lkp.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 7,73
press sheet 12,1

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, № 3, 2025 рік

ЗМІСТ

ЗООЛОГІЯ

Motruk Yu. B., Diedus V. I., Chumak M. V., Kyselyuk O. I., Krivosheyev R. E., Droghvalenko O. M., Glotov S. V. Contribution to fauna of saproxylic rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) in coniferous forests of the Carpathian National Nature Park. 7

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Богдан О. В., Приплавко С. О. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на ріст цукрової кукурудзи..... 24

Бородай Є. С., Лихолат Ю. В. Вплив аерополютантів примігстральних територій на активність антиоксидантних ферментів вегетативних органів дерноутворюючих трав..... 33

Bronnikova L., Khomenko L., Dikun M. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cell cultures as a model system for studying 44

БІОХІМІЯ

Гавій Т. А. Показники антиоксидантного захисту та розвитку запальної реакції при хронічній серцевій недостатності.....53

Мачужак А. А. Антибактеріальна терапія на основі синергізму у дітей з сепсисом, викликаним мультирезистентними організмами. 62

НОРМАЛЬНА І ПАТОЛОГІЧНА АНАТОМІЯ ТА ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ І ТВАРИН

Коломойцев М., Шейко В. І. Показники центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексів у меланхоліків та флегматиків.....69

Комісова Т. Є., Мамотенко А. В. Адаптаційний потенціал здобувачів освіти в залежності від їх стресостійкості.....78

Мхітарян Л. С., Кучменко О. Б., Гавій В. М. Дослідження морфології черепних швів за допомогою КТ й МРТ: огляд літератури.....87

CONTENTS

ZOOLOGY

- Motruk Yu. B., Diedus V. I., Chumak M. V., Kyselyuk O. I., Krivosheyev R. E., Droghvalenko O. M., Glotov S. V.** Contribution to fauna of saproxylic rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) in coniferous forests of the Carpathian National Nature Park 7

PLANT PHYSIOLOGY

- Bogdan O., Pryplavko S.** The effect of pre-sowing seed treatment with combinations of metabolically active substances on the growth of sweet corn 24
- Boroday Y., Yuriy V.** Influence of aeropollutans of attractant territories on the activity of antioxidant enzymes of vegetative organs of degrading grasses 33
- Bronnikova L., Khomenko L., Dikun M.** Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cell cultures as a model system for studying 44

BIOCHEMISTRY

- Havii T.** Indicators of antioxidant protection and development of inflammatory response in chronic heart failure 53
- Machuzhak A.** Antibacterial therapy based on synergy in children with sepsis caused by multidrug resistant organisms 62

NORMAL AND PATHOLOGICAL ANATOMY,
PHYSIOLOGY OF HUMANS AND ANIMALS

- Kolomoitsev M., Sheyko V.** Indicators of central hemodynamics and integrative hemodynamic indexes in melancholics and phlegmatics 69
- Komisova T., Mamotenko A.** Adaptation potential of students in dependence on their stress resilience 78
- Mkhitaryan L., Kuchmenko O., Havii V.** Review of research on the effectiveness of magnetic resonance imaging for human skull measurement 87

ЗООЛОГІЯ

UDC 595.763.2.768

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-7-23

Motruk Yu. B.

Ph.D student, Uzhhorod National University
Carpathian National Nature Park
motrukyurii@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1158-0368

Diedus V. I.

Ph.D., State Museum of Natural History NAS of Ukraine
valeriia.diedus@uzhnu.edu.ua
orcid.org/0000-0002-0957-5156

Chumak M. V.

Ph.D., Uzhhorod National University
maksym.chumak@uzhnu.edu.ua
orcid.org/0000-0001-7821-017X

Kyselyuk O. I.

Ph.D., Carpathian National Nature Park
kisolek@gmail.com
orcid.org/0009-0000-2064-7942

Krivosheyev R. E.

Ph.D., Schmalhausen Institute of Zoology NAS of Ukraine
accipitergentilis777@gmail.com.
orcid.org/0000-0001-7319-1205

Drovalenko O. M.

Ph.D student, Museum of Nature of V.N. Karazin Kharkiv National University
triplaxxx@ukr.net.
orcid.org/0000-0001-9855-8421

Glotov S. V.

Ph.D., State Museum of Natural History NAS of Ukraine; Lugansk Nature Reserve NAS of Ukraine;
Luhansk Taras Shevchenko National University
sergijglotov@gmail.com.
orcid.org/0000-0003-3986-0844

**CONTRIBUTION TO FAUNA OF SAPROXYLIC ROVE BEETLES
(COLEOPTERA: STAPHYLINIDAE) IN CONIFEROUS FORESTS
OF THE CARPATHIAN NATIONAL NATURE PARK**

Saproxylic beetles are insects that depend on dead and decaying wood for at least part of their lifecycle and play an important ecological roles in European ecosystems. Together with fungi, they contribute to the destruction of deadwood as well as are involved in decomposition processes and the recycling of nutrients in natural ecosystems. The family rove beetles Staphylinidae is one of the largest families of beetles. Many species of the family Staphylinidae are characterized by high abundance, a clear allocation to certain

natural habitats, and the ability to respond sensitively to changes in the environment, which allows them to be used as objects for bioindication of environmental pollution processes and monitoring of ecosystems. The aim of the study is to investigate the diversity of saproxylic beetles (Coleoptera, Staphylinidae) in primeval fir forest of the Carpathian National Nature Park. The report is based on the results of observations and collections which were conducted in coniferous forests of the Carpathian National Nature Park in 2023–2024. All traps were set up and operated yearly during the vegetation season from early April to late September. The community of saproxylic rove beetles collected in coniferous forests of the Carpathian National Nature Park is characterized by a high level of faunal diversity. The fauna of saproxylic rove beetles accounts for 217 species, of which 127 species are obligate or facultative saproxylic. The community of rove beetles collected in coniferous forests of the Carpathian National Nature Park is characterized by a high level of faunal diversity. The result of our research is a section of the composition of the beetle community at a certain stage of forest succession. In the future, these data can be used by researchers to assess other territories, in particular with the aim of forming proposals for rational sustainable forest use, which Ukrainian forestry is gradually moving towards. The presented taxonomic list does not claim to be comprehensive, but it serves as a basis for further inventorying and monitoring the diversity of saproxylic beetles, as well as maintaining a cadastre of natural complexes in the Carpathian National Nature Park

Key words: Coleoptera, Staphylinidae, saproxylic species, coniferous forests, fauna.

Introduction. Rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) is one of the largest families of beetles; to date, the world fauna comprises more than 66,928 species belonging to 35 subfamilies and 4038 genera [10]. More than 1,300 species are known in the fauna of Ukraine [12].

A number of progressive adaptive features has led to the emergence of specialized forms that successfully coexist with other animals, living in caves, burrows of mammals, nests of birds and social insects. Most larvae and adults of rove beetles are non-specialized predators that feed on a variety of invertebrates, acting as their natural regulators [13]. There are significantly fewer mycophages and saprophages among them; the first feed on the parts of fruit body and fungal spores [2, 5], while the second ones – on plant and animal remnants taking an active part in soil formation processes and in a natural cycle of matter [13]. Many rove beetles are characterized by high abundance, clear habitat allocation and the ability to respond sensitively to environmental changes. These features allow them to be used as indicators of environmental pollution and for ecosystem monitoring as well [3].

Saproxylic beetles are insects that depend on dead and decaying wood for at least part of their lifecycle and play an important ecological roles in European biocenosis [1]. Together with fungi, they contribute to the destruction of deadwood and are involved in decomposition processes and the recycling of nutrients in natural ecosystems. They interact with other organisms such as mites, nematodes, bacteria, and fungi, assisting in their dispersal across the landscape. They also provide an important food source for birds and mammals. The conservation of beetles that depend on dying or dead wood, has received a great deal of attention in many parts of the world in recent years. Human activities such as urbanization and logging, and their results, e.g. global warming, destroy natural ecosystems and threaten rare species [1].

The precise number of saproxylic beetle species is not known, but in Europe without doubt there are several thousands of saproxylic species [8, 9]. Beetle species inhabiting decaying wood are dependent on specific tree species, light and moisture regimes, wood decay stage, microorganisms, and other factors [1]. Saproxylic beetles have important interactions with other organisms which are significant for ecosystem and economy [8].

Materials and methods. The report is based on the results of observations and collections of Yu.B. Motruk, V.I. Diedus, and M.V. Chumak which were conducted in the

coniferous forests of the Carpathian National Nature Park in 2023–2024. All traps were set up and operated yearly during the vegetation season from early April to late September [4]. The current taxonomic status, nomenclature, and general distribution of the species follow A. Newton [10]. The geographical coordinates of localities and places of collecting are given according to www.google.com/maps/. Identification to species was carried out using a binocular magnifier MBS-10. If necessary, the mandibles, genitalia, and other parts of the beetles' bodies were dissected and fixed using thin dissecting needles. Sometimes the material was clarified by boiling or holding in a 10% NaOH solution. After that, the organs were placed in a fixing solution for long-term storage. Canadian balsam or Euparal was used as a fixative.

Study area. The Carpathian National Nature Park (hereinafter referred to as the Carpathian NNP) is the first and one of the largest national nature parks in Ukraine. Its territory stretches 55 km from north to south and 20 km from west to east. The majority of the park's territory is located within the absolute altitudes of 500 to 2000 m above sea level. The highest point of Ukraine, the top of Mount Hoverla (2061 m above sea level) is located within the Park. The park is located in the highest and most interesting sector of the Gorgany massif in terms of geography. The main part of its territory covers the upper reaches of the Prut River and its tributaries, as well as the Chorny Cheremosh River basin. The most important objects of the park's protection are natural forest, subalpine and alpine biogeocenoses of Chornohora, relict *Pinus cembra* stands preserved on the rocky placers of the Chornohora and Gorgany massifs, alpine landscapes with glacial holes, ramparts and lakes of glacial origin, valuable botanical, geological, and morphological monuments. The most valuable areas of the park were protected even before it was declared the National Nature Park. However, various forms of anthropogenic impact have taken place over a large area, resulting in significant transformations in the natural structure of the vegetation cover [6].





Fig. 1. **General view of research plots and general view of the combined window traps.**

Section of an old-aged spruce forest (Fig. 2.1). It is located on a south-eastern slope, at an altitude of 975 m above sea level, in the unit 10, quarter 22 of the Pidlisnivskyi Nature Research Department, Carpathian National Nature Park, near the village of Mykulychyn. Coordinates of the section: 48.357647 N, 24.634125 E. The section is located on well-drained, medium- and high-humus mountain-forest brown soils with a high organic content. The age of the plantations is approximately 110 years. The tree stand is characterized by horizontal crown closure and consists of 100% *Picea abies*, with some *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, and *Betula pendula*. The undergrowth is well developed and consists of *Abies alba* (60%) and *Picea abies* (40%), which is due to the higher shade tolerance of *Abies alba*, allowing it to successfully regenerate under the forest canopy. The undergrowth is about 30 years old, up to 3 m high, with a total density of about 1000 trees/ha. The understory consists of *Rubus* sp., *Rhamnus cathartica*, and young *Picea abies*. The herbaceous cover includes *Dryopteris filix-mas*, *Oxalis acetosella*, and mosses of the genera *Pleurozium* and *Hylocomium*. This composition is characteristic of the moist and undisturbed spruce forests of the Ukrainian Carpathians, which contributes to the formation of a unique microclimate and a large number of microhabitats.

Section of a middle-aged spruce forest (Fig. 2.2). It is located on a southwestern slope at an altitude of 820 m above sea level, in the unit 5, quarter 11 of the Pidlisnivskyi Nature Research Department, Carpathian National Nature Park, near the village of Mykulychyn. Coordinates of the section: 48.378711 N, 24.601081 E. The section is located on acidic brown soils, with significant development of larch-spruce type litter. The age of the plantations is about 60 years. The plantations are represented by a pure stand of *Picea abies* (100%), without accompanying species. The undergrowth is fragmented, mainly consisting of young *Picea abies*. The understory includes *Rubus idaeus*, *Rubus fruticosus*, *Juniperus communis* as well as typical shade-loving species, including *Oxalis acetosella* and *Dryopteris austriaca*. The dense canopy closure, limited access to sunlight, and large amount of dead wood, represented mainly by branches and scattered fallen tree trunks, create conditions for the development of many species of saproxylic insects that colonize dead wood at various stages of its decomposition.

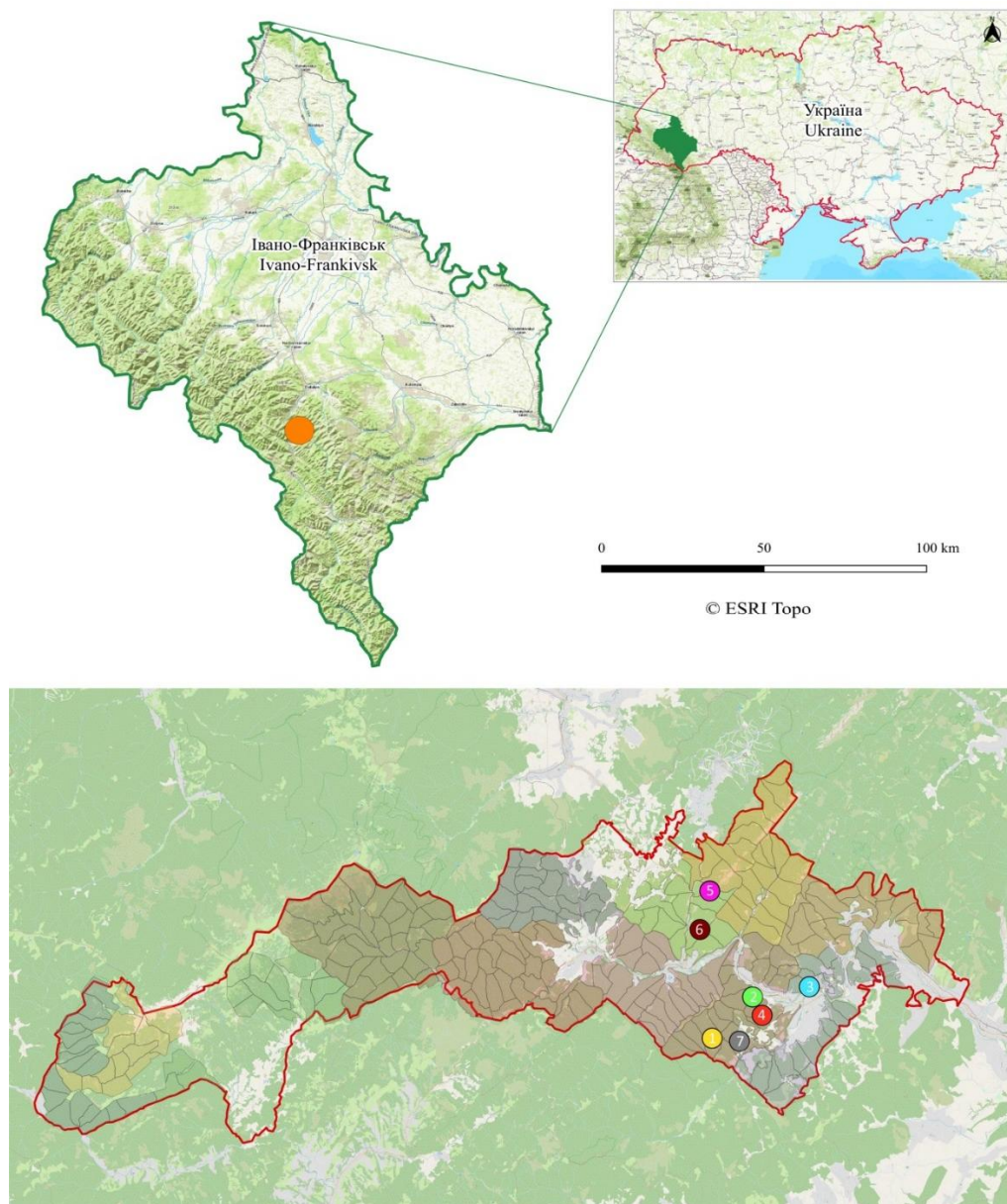


Fig. 2. **Location of the study area in fir forest of the Carpathian NNP: 1 – section of an old-growth spruce forest; 2 – section of a middle-aged spruce forest; 3 – section of a middle-aged spruce forest; 4 – section of an old-aged fir forest; 5 – section of a middle-aged managed fir forest; 6 – section of an old-aged non-managed fir primeval forest or forest; 7 – section of a middle-aged managed spruce forest.**

Section with a drying old-aged spruce forest (Fig. 2.3). It is located on a south-eastern slope, at an altitude of 715 m above sea level, in the unit 5, quarter 11 of the Yamnianskyi Nature Research Department, Carpathian National Nature Park, near the village of Mykulychyn. Coordinates of the section: 48.412419 E, 24.589156 E. The section is located on predominantly humus-brown soils with reduced acidity. The age of the plantings is about 100 years. The tree stand is represented by *Picea abies* (90%) and *Abies alba* (10%), with a small admixture of *Fagus sylvatica*. The undergrowth consists of *Calamagrostis arundinacea*, *Calluna vulgaris*, and young tree seedlings. Increased light under the forest canopy actively promotes the renewal of *Abies alba* and *Fagus sylvatica*. Within the site, the forest is severely damaged by *Ips typographus*, which has led to the death of a significant number of trees, resulting in the accumulation of large amounts of dead wood, dry wood, brushwood, and fallen trees. In some microareas with a higher

degree of degradation, the undergrowth is dominated by grassy patches, including *Rumex acetosa* and *Galium mollugo*. The section is of great importance as a habitat for saproxylic insects that colonize dead wood in the middle and late stages of decomposition.

Section of an old-aged fir forest (Fig. 2.4) is located on a western slope at an altitude of 760 m above sea level, in units 30 and 31, quarter 13 of the Pidlisnivskyi Nature Research Department, Carpathian National Nature Park, near the village of Mykulychyn. Coordinates of the section: 48.384000 N, 24.613367 E. The section is located on slightly acidic and deep brown soils with a well-formed humus horizon. The section is represented by reference old-growth fir forests, almost 190 years old. The forest stand consists almost exclusively of *Abies alba* (100%), with occasional *Picea abies* and *Fagus sylvatica*. The pure fir composition is exceptional for the region and indicates the high natural value of the site. The undergrowth is well developed, consisting mainly of young trees around 30 years old, with a ratio of *Abies alba* (80%) to *Picea abies* and *Fagus sylvatica* (20%). The average height of the undergrowth is around 4 meters, and its density is high. The understory is represented by phytocenoses typical of fir forests, including *Corylus avellana*, *Juniperus communis*, and *Sambucus nigra*. The total undergrowth density is approximately 0.1. The grass cover within the site is rich and consists of shade-loving plant species, including *Brachythecium* ssp., *Plagiomnium* ssp., *Asarum europaeum*, and *Symphytum officinale*. The site is rich in standing and fallen dead wood at various stages of decomposition, providing favorable conditions for the development of a wide range of saproxylic insects. The biotope is unique in terms of its naturalness and is an important reference model for research on old-aged forests in the Ukrainian Carpathians.

Section of a middle-aged managed fir forest (Fig. 2.5). It is located on a slope of medium steepness, north-western exposure, at an altitude of 835 m above sea level, in the unit 19, quarter 20 of the Pidlisnivskyi Nature Research Department, Carpathian National Nature Park, near the village of Mykulychyn. Coordinates of the section: 48.372464 N, 24.636042 E. The section is located on mountain-forest brown soils with a well-drained, slightly acidic soil profile. The age of the plantations is about 100 years. The tree stand is characterized by horizontal closure with uneven density, creating a mosaic structure of the vertical profile, and is represented by mixed coniferous and broad-leaved species, with a predominance of *Abies alba* (90%), with an admixture of *Picea abies* (10%) and a few *Fagus sylvatica*. In some parts of the section, there is a decrease in closure, which promotes light penetration into the lower tiers and stimulates the formation of undergrowth. The undergrowth is represented by a well-developed generation of young trees, formed mainly by *Abies alba* (60%), *Picea abies* (20%), and *Fagus sylvatica* (20%). The age of the undergrowth is about 25 years, the average height is 3 m, and the density is approximately 2,000 trees/ha, which indicates that the forest is actively regenerating. In areas with low canopy cover, the undergrowth forms local clumps among the herbaceous vegetation. The understory consists of *Rubus* sp., *Rhamnus cathartica*, and young *Picea abies*. Its closure is about 0.1, which indicates weak development of the understory in conditions of dense light deficiency. The herbaceous cover is represented by *Oxalis acetosella*, *Dryopteris filix-mas*, and mosses of the genera *Pleurozium* and *Hylocomium*.

Section of old-aged non-managed fir primeval forest or forest (Fig. 2.6). It is located on a south-facing slope at an altitude of 975 m above sea level, in the unit 2, quarter 6 of the Yablunyskyi Nature Research Department, Carpathian National Nature Park, near the village of Tatariv. Coordinates of the section: 48.349783 N, 24.544597 E. The section is located on soils typical for the southern slopes in the upper mountain belt of the Eastern Carpathians and is represented by mountain-forest slightly acidic brown soils with a well-drained profile, high humus content, and medium stoniness. The basis of the spruce primeval forest, which is about 170 years old, is *Abies alba* (100%) with a small admixture of *Betula pendula*, in the form of single trees or lighting groups, mainly on the periphery of the forest. The density of the plantation is uneven, which determines the mosaic structure of the canopy and variable lighting conditions in the ground layer. The undergrowth,

approximately 40 years old, is quite dense and well developed, consisting mainly of *Picea abies* (70%) and *Abies alba* (30%), with an average height of up to 8 meters and a density of approximately 1,500 trees/ha. This structure indicates active natural regeneration under conditions of gradual thinning of the main tree layer. The undergrowth is poorly developed but has an important structural component in the form of berry bushes. Clumps of *Vaccinium myrtillus* bushes grow sporadically across the section, covering approximately 20% of the area. *Oxalis acetosella* is found in the shaded parts of the section as well as *Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens* mosses, the presence of which indicates stable humid conditions in the environment.

Section of a middle-aged managed spruce forest (Fig. 2.7). It is located on a southwestern slope at an altitude of 1,000 meters above sea level, in the unit 20, quarter 3 of the Yablunytskyi Nature Research Department, Carpathian National Nature Park, near the village of Yablunytsia. Coordinates of the section: 48.353317 N, 24.513503 E. The section is located on slightly acidic brown soils of the mountain-forest type, well-drained soils with a high content of organic matter, where characteristic flora of shade-loving and mesophytic species as well as a stable microclimate usually form. The age of the plantations is about 80 years. The forest stand is characterized by horizontal canopy closure and uneven density, with *Picea abies* (100%) predominating and constituting the bulk of the forest stand, with a small admixture of *Betula pendula*, which grows mainly in glades or in lighted areas. The undergrowth is fragmented, consisting mainly of young *Picea abies* individuals, which occur singly or in small clusters. *Abies alba* is found in shaded areas, indicating the natural dynamics of forest regeneration and a potential change in the dominant species in the future. The understory is not particularly diverse, but there are characteristic representatives of mesophytic and shade-loving flora, including *Rubus idaeus*, *Rubus fruticosus*, *Oxalis acetosella*, *Asarum europaeum* as well as isolated *Dryopteris* and *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, which form a continuous cover in the lower tier.

Results and discussion. As a result of research and analysis of the collected material, it was found that the family of staphylinid beetles in the coniferous forests of the Carpathian National Nature Park is represented by 217 species [7], of which 102 species (Table 1) are obligate saproxylic organisms [10]. The vast majority of saproxylic rove beetles do not feed directly on dead wood but they use dead wood at various stages of decomposition as wintering sites or places where beetles pupate and then emerge as adults. In most cases, these are representatives of the genera *Lordithon*, *Olisthaerus*, *Phloeocharis*, *Scaphidium*, *Scaphisoma*, and *Syntomium*. The complex of cortical species are unspecialized predators that hunt insect larvae and other invertebrates that live under the bark of trees. These are representatives of the genera *Cyphea*, *Dadobia*, *Dinaraea*, *Euryusa*, *Phloeopora*, *Silusa*, *Leptusa*, *Oligota*, *Anomognathus*, *Ischnoglossa*, *Haploglossa*, *Placusa*, *Phloeonomus*, *Phloeostiba*, and *Atrecus*. The entire complex of mycetobiont species is associated with various xylotrophic fungi, such as representatives of the genera *Agaricochara* and *Gyrophana*, whose larvae and adults feed on fungal spores while remaining constantly on the surface of the fruiting body. There are also species of the genera *Megarthus*, *Oxyporus*, *Proteinus*, *Scaphidium*, *Scaphisoma*, and *Sepedophilus*, whose larvae and adults feed on basidiom particles, sometimes gnawing passages in them. The group of mycetobionts also includes species in which one of the stages of ontogenesis is associated with fungi, or which are found in fungi, acting as predators (genera *Bolitochara* and *Lordithon*). In addition, 25 species identified are facultative saproxylic (Table 1), which use dead wood as shelter or a place where they hunt for insect larvae and other invertebrates that develop in dead wood or xylotrophic fungi.

Table 1

**Species composition of saproxylic rove beetles in coniferous forests
of the Carpathian National Nature Park**

Species	Preferences for microhabitats	Saproxylic	I	II	III	IV	V	VI	VII	Total
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Aleochara curtula</i> (Goeze, 1777)	Ed/Sx	fc	–	–	1	–	–	1	–	2
<i>Aleochara cuniculorum</i> Kraatz, 1858	Ed/Sx	fc	1	–	3	2	4	7	7	24
<i>Aleochara fumata</i> Gravenhorst, 1802	Ed/Sx	fc	–	–	–	1	–	1	–	2
<i>Aleochara lanuginosa</i> Gravenhorst, 1802	Ed/Sx	fc	–	–	1	–	–	1	–	2
<i>Aleochara sparsa</i> Heer, 1839	Ed/Sx	fc	6	–	–	–	–	–	–	6
<i>Atheta crassicornis</i> (Fabricius, 1792)	Sx	ob	1	–	1	–	1	1	–	4
<i>Cyphea curtula</i> (Erichson, 1837)	Sx	ob	–	–	–	1	–	2	1	4
<i>Dadobia immersa</i> (Erichson, 1837)	Sx	ob	–	–	–	–	–	1	–	1
<i>Dinaraea linearis</i> (Gravenhorst, 1802)	Sx	ob	–	–	–	–	–	2	–	2
<i>Euryusa castanoptera</i> Kraatz, 1856	Sx	ob	–	–	–	–	–	–	1	1
<i>Liogluta microptera</i> C.G.Thomson, 1867	Ed/Sx	fc	8	3	–	7	30	30	1	79
<i>Mocyta fungi</i> (Gravenhorst, 1806)	Ed/Sx	fc	8	–	2	17	1	44	16	88
<i>Phloeopora testacea</i> (Mannerheim, 1830)	Sx	ob	–	–	–	–	–	–	1	1
<i>Silusa rubiginosa</i> Erichson, 1837	Sx	ob	–	–	–	–	–	2	–	2
<i>Bolitochara obliqua</i> Erichson, 1837	Sx	ob	–	1	–	3	–	–	1	5
<i>Bolitochara pulchra</i> (Gravenhorst, 1806)	Sx	ob	–	–	–	2	–	–	–	2
<i>Gyrophaena affinis</i> Mannerheim, 1830	Sx	ob	2	–	2	6	3	–	6	19
<i>Gyrophaena boleti</i> (Linnaeus, 1758)	Sx	ob	–	–	–	22	14	25	16	77
<i>Gyrophaena gentilis</i> Erichson, 1839	Sx	ob	1	–	–	10	3	2	3	19
<i>Gyrophaena joyi</i> Wendeler, 1924	Sx	ob	–	–	–	1	–	–	–	1
<i>Gyrophaena joyioides</i> Wüsthoff, 1937	Sx	ob	–	–	–	3	14	–	–	17
<i>Gyrophaena minima</i> Erichson, 1837	Sx	ob	–	–	–	–	2	–	–	2

Species	Preferences for microhabitats	Saproxyllic	I	II	III	IV	V	VI	VII	Total
<i>Gyrophæna munsteri</i> A.Strand, 1935	Sx	ob	–	–	–	–	–	–	1	1
<i>Gyrophæna nana</i> (Paykull, 1800)	Sx	ob	–	–	–	1	–	–	–	1
<i>Gyrophæna pulchella</i> Heer, 1839	Sx	ob	–	–	–	–	1	–	–	1
<i>Gyrophæna strictula</i> Erichson, 1839	Sx	ob	–	–	–	4	–	–	–	4
<i>Leptusa fumida</i> (Erichson, 1839)	Sx	ob	5	1	–	16	4	14	35	75
<i>Leptusa pulchella</i> (Mannerheim, 1830)	Sx	ob	3	10	26	81	30	68	93	311
<i>Leptusa ruficollis</i> (Erichson, 1839)	Sx	ob	–	–	–	7	9	1	2	19
<i>Oligota pumilio</i> Kiesenwetter, 1858	Sx	ob	2	–	–	–	1	11	5	19
<i>Oligota pusillima</i> (Gravenhorst, 1806)	Sx	ob	–	–	–	1	–	1		2
<i>Anomognathus cuspidatus</i> (Erichson, 1839)	Sx	ob	–	–	1	17	1	8	13	40
<i>Pella limbata</i> (Paykull, 1789)	Ed/Sx	fc	–	10	159	5	5	–	–	179
<i>Ischnoglossa prolixa</i> (Gravenhorst, 1802)	Sx	ob	3	1		4		7	3	18
<i>Haploglossa villosula</i> (Stephens, 1832)	Sx	ob	4	–	2	17	6	44	23	96
<i>Oxypoda alternans</i> (Gravenhorst, 1802)	Sx	ob	1	–	–	12	14	14	16	57
<i>Placusa atrata</i> (Mannerheim, 1830)	Sx	ob	–	–	–	–	1	–	–	1
<i>Placusa complanata</i> Erichson, 1839	Sx	ob	–	–	–	–	–	10		10
<i>Placusa incompleta</i> Sjöberg, 1934	Sx	ob	–	–	–	–	3	1		4
<i>Placusa tachyporoides</i> (Waltl, 1838)	Sx	ob	–	–	–	21	–	–	–	21
<i>Bobitobus lunulatus</i> (Linnaeus, 1767)	Sx	ob	2	4	–	12	3	2	12	35
<i>Bolitobius castaneus</i> (Stephens, 1832)	Sx	ob	–	–	–	1	–	23	1	25
<i>Lordithon exoletus</i> (Erichson, 1839)	Sx	ob	–	–	–	2	–	–	–	2
<i>Lordithon speciosus</i> (Erichson, 1839)	Sx	ob	1	–	1	2	1	–	–	5
<i>Lordithon thoracicus</i> (Fabricius, 1777)	Sx	ob	–	–	–	–	1	–	3	4
<i>Lordithon trimaculatus</i> (Fabricius, 1792)	Sx	ob	–	–	–	–	1	–	–	1
<i>Lordithon trinotatus</i> (Erichson, 1839)	Sx	ob	2	1	2	7	1	1	–	14

Species	Preferences for microhabitats	Saproxyllic	I	II	III	IV	V	VI	VII	Total
<i>Parabolitobius formosus</i> (Gravenhorst, 1806)	Sx	ob	–	–	–	–	–	13	4	17
<i>Parabolitobius inclinans</i> (Gravenhorst, 1806)	Sx	ob	–	–	–	–	–	1	–	1
<i>Olisthaerus substriatus</i> (Paykull, 1790)	Sx	ob	1	–	–	–	–	–	–	1
<i>Anthobium atrocephalum</i> (Gyllenhal, 1827)	Ed/Sx	fc	–	–	–	11	–	–	12	23
<i>Dropephylla ioptera</i> (Stephens, 1834)	Sx	ob	–	–	–	3	–	–	2	5
<i>Acrulia inflata</i> (Gyllenhal, 1813)	Sx	ob	2	–	1	5	–	4	1	13
<i>Hapalaraea pygmaea</i> (Paykull, 1800)	Sx	ob	–	–	1	–	–	–	–	1
<i>Omaliium rivulare</i> (Paykull, 1789)	Sx	ob	–	–	1	9	1	–	4	15
<i>Phloeonomus punctipennis</i> C.G.Thomson, 1867	Sx	ob	3	–	2	6	2	3	5	21
<i>Phloeonomus pusillus</i> (Gravenhorst, 1806)	Sx	ob	7	2	–	25	–	–	–	34
<i>Phloeostiba plana</i> (Paykull, 1792)	Sx	ob	1	5	5	3	1	–	–	15
<i>Oxyporus maxillosus</i> Fabricius, 1792	Sx	ob	–	–	1	–	1	–	–	2
<i>Syntomium aeneum</i> (P.W.J.Müller, 1821)	Sx	ob	21	3	34	19	5	15	1	98
<i>Phloeocharis subtilissima</i> Mannerheim, 1830	Sx	ob	–	2	–	1	–	–	–	3
<i>Megarthus depressus</i> (Paykull, 1789)	Sx	ob	1	–	–	5	3	–	1	10
<i>Megarthus hemipterus</i> (Illiger, 1794)	Sx	ob	1	–	–	–	1	–	–	2
<i>Proteinus brachypterus</i> (Fabricius, 1792)	Sx	ob	2	–	1	4	1	1	8	17
<i>Batrisodes venustus</i> (Reichenbach, 1816)	Sx	ob	–	–	1	2	–	–	–	3
<i>Euplectus bonvouloiri narentinus</i> Reitter, 1882	Sx	ob	–	–	–	1	–	–	–	1
<i>Euplectus brunneus</i> (Grimmer, 1841)	Sx	ob	1	–	–	3	–	–	–	4
<i>Euplectus duponti</i> Aubé, 1833	Sx	ob	–	1	–	4	–	–	–	5
<i>Euplectus infirmus</i> Raffray, 1910	Sx	ob	1	–	1	4	5	1	–	12
<i>Euplectus karstenii</i> (Reichenbach, 1816)	Sx	ob	–	–	–	1	–	–	–	1
<i>Euplectus mutator</i> Fauvel, 1895	Sx	ob	–	–	1	2	–	–	–	3
<i>Euplectus piceus</i> Motschulsky, 1835	Sx	ob	2	1	–	23	17	58	7	108

Species	Preferences for microhabitats	Saproxyllic	I	II	III	IV	V	VI	VII	Total
<i>Euplectus signatus</i> (Reichenbach, 1816)	Sx	ob	8	–	1	11	8	20	1	49
<i>Bibloporus bicolor</i> (Denny, 1825)	Sx	ob	1	2	–	–	–	–	–	3
<i>Bibloporus mayeti</i> Guillebeau, 1888	Sx	ob	1	–	–	–	–	–	–	1
<i>Bibloporus minutus</i> Raffray, 1915	Sx	ob	73	–	11	189	92	33 7	21 0	912
<i>Biblopectus tenebrosus</i> (Reitter, 1881)	Sx	ob	–	–	–	17	–	–	–	17
<i>Trimium carpathicum</i> Saulcy, 1875	Sx	ob	–	–	–	208	38	6	–	252
<i>Trimium minimum</i> Doderò, 1900	Sx	ob	1	–	–	–	–	–	–	1
<i>Plectophloeus fischeri</i> (Aubé, 1833)	Sx	ob	–	–	–	2	–	–	–	2
<i>Plectophloeus nitidus</i> (Fairmaire, 1858)	Sx	ob	–	–	–	8	1	–	–	9
<i>Plectophloeus nubigena</i> (Reitter, 1877)	Sx	ob	–	–	–	3	–	–	–	3
<i>Brachygluta trigonoprocta</i> (Ganglbauer, 1895)	Sx	ob	–	–	1	–	–	–	–	1
<i>Bryaxis frivaldszkyi</i> (Reitter, 1887)	Sx	ob	3	1	2	15	6	8	1	36
<i>Bryaxis nigripennis</i> (Aubé, 1844)	Sx	ob	1	–	–	10	1	–	–	12
<i>Bryaxis viertli</i> (Reitter, 1882)	Sx	ob	–	–	–	1	–	–	–	1
<i>Scaphidium quadrimaculatum</i> A.G.Olivier, 1790	Sx		1	1	6	2	6	2	–	18
<i>Scaphisoma agaricinum</i> (Linnaeus, 1758)	Sx	ob	–	–	–	–	–	4	4	8
<i>Scaphisoma assimile</i> Erichson, 1845	Sx	ob	–	–	–	2	–	1	1	4
<i>Scaphisoma boleti</i> (Panzer, 1793)	Sx	ob	1	–	–	1	–	–	–	2
<i>Scaphisoma boreale</i> (Lundblad, 1952)	Sx	ob	–	1	5	2	–	–	–	8
<i>Scaphisoma inopinatum</i> (Löbl, 1967)	Sx	ob	2	–	–	1	1	1	–	5
<i>Scaphisoma limbatum</i> Erichson, 1845	Sx	ob	–	1	–	–	–	–	–	1
<i>Scaphisoma subalpinum</i> Reitter, 1881	Sx	ob	2	1	2	4	–	–	–	9
<i>Cephennium carpathicum</i> Saulcy, 1878	Sx	ob	–	–	–	–	1	–	–	1
<i>Euconnus denticornis</i> (P.W.J.Müller & Kunze, 1822)	Sx	ob	–	–	–	–	–	1	–	1

Species	Preferences for microhabitats	Saproxyllic	I	II	III	IV	V	VI	VII	Total
<i>Eutheia linearis</i> Mulsant & Rey, 1861	Sx	ob	–	–	–	2	–	–	–	2
<i>Neuraphes elongatulus</i> (P.W.J.Müller & Kunze, 1822)	Sx	ob	–	–	–	–	2	3	1	6
<i>Scydmorephes minutus</i> (Chaudoir, 1845)	Sx	ob	–	–	–	1	–	–	–	1
<i>Stenichnus bicolor</i> (Denny, 1825)	Sx	ob	–	–	–	–	–	4	–	4
<i>Stenichnus carpathicus</i> Lokay, 1921	Sx	ob	–	–	–	–	–	6	2	8
<i>Stenichnus godarti</i> (Latreille, 1806)	Sx	ob	–	–	–	2	1	–	–	3
<i>Bisnius fimetarius</i> (Gravenhorst, 1802)	Ed/Sx	fc	2	–	3	10	13	7	7	42
<i>Gabrius exspectatus</i> Smetana, 1952	Sx	ob	–	1	3	–	–	–	–	4
<i>Quedius cinctus</i> (Paykull, 1790)	Sx	ob	–	–	3	–	1	–	4	8
<i>Quedius fumatus</i> (Stephens, 1833)	Ed/Sx	fc	–	1	–	4	2	–	–	7
<i>Quedius humeralis</i> Stephens, 1832	Ed/Sx	fc	–	–	1	–	–	–	–	1
<i>Quedius lateralis</i> (Gravenhorst, 1802)	Ed/Sx	fc	–	–	–	–	–	–	1	1
<i>Quedius lucidulus</i> Erichson, 1839	Ed/Sx	fc	2	3	11	26	10	31	33	116
<i>Quedius mesomelinus</i> (Marsham, 1802)	Ed/Sx	fc	1	–	–	–	3	6	2	12
<i>Quedius paradisianus</i> (Heer, 1839)	Ed/Sx	fc	2	1	4	15	8	2	14	46
<i>Quedius truncicola</i> Fairmaire & Laboulbène, 1856	Sx	ob	–	–	–	–	–	1	–	1
<i>Quedionuchus plagiatus</i> (Mannerheim, 1843)	Sx	ob	–	–	–	1	–	–	–	1
<i>Sepedophilus immaculatus</i> (Stephens, 1832)	Sx	ob	1	–	–	–	–	–	–	1
<i>Sepedophilus littoreus</i> (Linnaeus, 1758)	Sx	ob	–	–	1	3	–	–	–	4
<i>Sepedophilus testaceus</i> (Fabricius, 1792)	Sx	ob	1	–	–	–	–	–	–	1
<i>Tachinus corticinus</i> Gravenhorst, 1802	Ed/Sx	fc	–	3	–	–	–	–	–	3
<i>Tachinus humeralis</i> Gravenhorst, 1802	Ed/Sx	fc	1	2	4	1	–	1	–	9
<i>Tachinus laticollis</i> Gravenhorst, 1802	Ed/Sx	fc	–	–	–	–	–	1	–	1
<i>Tachinus lignorum</i> (Linnaeus, 1758)	Ed/Sx	fc	1	–	–	–	–	–	–	1

Species	Preferences for microhabitats	Saproxylic	I	II	III	IV	V	VI	VII	Total
<i>Tachinus pallipes</i> (Gravenhorst, 1806)	Ed/Sx	fc	4	2	–	13	13	3	13	48
<i>Tachinus proximus</i> Kraatz, 1855	Ed/Sx	fc	–	–	–	–	4	–	–	4
<i>Tachinus rufipennis</i> Gyllenhal, 1810	Ed/Sx	fc	–	–	–	2	–	–	–	2
<i>Tachinus subterraneus</i> (Linnaeus, 1758)	Ed/Sx	fc	–	1	–	–	–	–	–	1
<i>Atracus affinis</i> (Paykull, 1789)	Sx	ob	–	–	–	–	–	–	2	2
<i>Atracus pilicornis</i> (Paykull, 1790)	Sx	ob	4	–	–	5	3	8	9	29
<i>Othius crassus</i> Motschulsky, 1858	Ed/Sx	fc	–	2	–	–	–	–	–	2
<i>Othius subuliformis</i> Stephens, 1833	Ed/Sx	fc	–	5	2	–	–	–	–	7
Total (species*/specimens):			50/206	50/73	37/308	71/957	54/385	55/861	47/599	128/3089

Note: Ed – edaphic or edaphicolous species; Sx – saproxylic species; fc – facultative saproxylic species; ob – obligate saproxylic species; I – section of an old-growth spruce forest; II – section of a middle-aged spruce forest; III – section of a middle-aged spruce forest; IV – section of an old-aged fir forest; V – section of a middle-aged managed fir forest; VI – section of an old-aged non-managed fir primeval forest or forest; VII – section of a middle-aged managed spruce forest.

Acknowledgements. We would like to thank our colleagues and friends prof. Dr. Thibault Lachat (Forest Sciences, School of Agricultural, Forest and Food Sciences HAFL, Bern University of Applied Sciences, Zollikofen, Switzerland and Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf, Switzerland) and prof. Dr. Martin Gossner (Forest Entomology, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf, Switzerland and Switzerland Institute of Terrestrial Ecosystems, Department of Environmental Systems Science, Zürich, Switzerland) for organizing and collaborating on several projects to study biodiversity in primeval forests of the Ukrainian Carpathians. We are grateful to A.Yu. Glotova (Novoiavorivsk, Ukraine) for correction of the English text of the manuscript as well as V.V. Mirutenko (Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine) for important suggestions.

Література

- Alexander, K.N.A., (2008). Tree Biology and Saproxylic Coleoptera: Issues of Definitions. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 10, 9–13. https://www.persee.fr/doc/revec_0249-7395_2008_sup_10_1_1455
- Ashe, J.S., (1984). Generic revision of the subtribe Gyrophaenina (Coleoptera: Staphylinidae: Aleocharinae) with a review of the described subgenera and major features of evolution. Quaestiones entomologicae, 20 (3), 129–349. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/204370>
- Bohac J. (1999). Staphylinid beetles as bioindicators. Agriculture, Ecosystems and Environment, 74, 357–372. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00043-2)

4. Duelli P., Obrist M.K., Schmatz D.R. (1999). Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: Above-ground insects. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74(1): 33–64. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00029-8) [4]
5. Glotov S. V., Drogvalenko O. M. (2022). On the fauna of mycetobiontic rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) of North-Eastern Ukraine. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 22 (2): 135–155. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10980166>
6. Киселюк О.І., Приходько М.М., Яворський А.І., Абрам'юк У.М., Белей Л.М., Бельмега В.В., Боберський Ю.Ю., Вертипорох Н.Л., Гайдук Л.М., Гнатюк Н.М., Годованець В.І., Головчак В.Ф., Гоцул Л.Ф., Гринішак М.Л., Грицюк І.В., Дожук М.Д., Калущкий І.Ф., Клапчук В.М., Клапчук М.В., Корчемлюк М.В., Косило Л.С., Кос'яненко О.В., Кріпчук В.О., Кудрін Р.Г., Лазарович Р.В., Ленько О.В., Мартинов В.В., Марчук В.М., Мателешко О.Ю., Микітчак Т.І., Мотрук М.В., Назаренко В.Ю., Петрашук О.Р., Петрашук Я.В., Петренко А.А., Побережник В. Й., Приходько М.М., Приходько Н.Ф., Прокопенко О.В., Решетило О.С., Різун В.Б., Рожко І.М., Савчук Б.Б., Стельмащук В.Я., Стефанюк В.Ю., Стефурак В.Л., Тимочко В.Б., Тимчук О. В., Тимчук Я.Я., Тороус О.Б., Федорчук Н.М., Чернявський М.В., Чіх Н. І., Чумак В.О., Шпільчак М.Б., Яремін І.Я., Яремін Л.М. Карпатський національний природний парк: монографія. Івано-Франківськ: Фоліант, 2009. 672 с.
7. Motruk Yu., Chumak M., Diedus V, Krivosheyev R., Glotov S. (2025). Rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) of coniferous forest of the Carpathian National Nature Park, Mykulychyn, Tatariv and Yablunytzia, Ivano-Frankivsk region, Ukraine. Version 1.1. Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/9tza27> accessed via GBIF.org on 2025-09-22
8. Müller, J., Büttler, R., 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *Eur. J. For. Res.* 129, 981–992. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5>
9. Nieto, A., Alexander, K.N.A. (2010). European Red List of saproxylic beetles. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 39 p. <https://doi:10.2779/84561>
10. Newton A. (2025). StaphBase (version Aug 2022). In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, D. R. Hernández Robles, C. A. Plata Corredor, T. Stjernegaard Jeppesen, A. Örn, T. Pape, D. Hobern, S. Garnett, H. Little, R. E. DeWalt, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, C. Aedo, E. Aesch, et al., *Catalogue of Life (Version 2025-07-10)*. Catalogue of Life Foundation, Amsterdam, Netherlands. <https://doi.org/10.48580/dg9ld-3gk>
11. Schmidl J., Bußler, H. (2004). Ökologische Gilden xylobionter Käfer Deutschlands. *Naturschutz Und Landschaftsplanung*, 36, 202–218.
12. Schülke M., Smetana A. Staphylinidae Latreille, 1802. In: Löbl, I., Löbl, D. (Eds). *Catalogue of Palaearctic Coleoptera. V. 1, 2, Hydrophiloidea–Staphylinidea*. Brill, Leiden & Boston. 2015. P. 304–1134.
13. Thayer M.K. (2005). Staphylinidae. In Beutel R.G. & Leschen R.A.B. (volume eds): *Coleoptera, Vol. I. Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim)*. Handbook of Zoology Vol. IV, Arthropoda: Insecta. Part 38. De Gruyter, Berlin, New York, pp. 296–345.

References

1. Alexander, K.N.A., (2008). Tree Biology and Saproxylic Coleoptera: Issues of Definitions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 10, 9–13. https://www.persee.fr/doc/revec_0249-7395_2008_sup_10_1_1455 [in English].
2. Ashe, J.S., (1984). Generic revision of the subtribe Gyrophaenina (Coleoptera: Staphylinidae: Aleocharinae) with a review of the described subgenera and major features of evolution. *Quaestiones entomologicae*, 20 (3), 129–349. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/204370> [in English].
3. Bohac J. (1999). Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 357–372. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00043-2) [in English].
4. Duelli P., Obrist M.K., Schmatz D.R. (1999). Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: Above-ground insects. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74(1): 33–64. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00029-8) [in English].

5. Glotov S. V., Drogvalenko O. M. (2022). On the fauna of mycetobiontic rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) of North-Eastern Ukraine. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 22 (2): 135–155. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10980166> [in English].

6. Kyselyuk O.I., Prykhodko M.M., Yavorskyi A.I., Abramiuk U.M., Belei L.M., Belmeha V.V., Boberskyi Yu.Iu., Vertyporokh N.L., Haiduk L.M., Hnatiuk N.M., Hodovanets V.I., Holovchak V.F., Hotsul L.F., Hrynishak M.L., Hrytsiuk I.V., Dozhuk M.D., Kalutskyi I.F., Klapchuk V.M., Klapchuk M.V., Korchemliuk M.V., Kosylo L.S., Kosianenko O.V., Kripchuk V.O., Kudrin R.H., Lazarovych R.V., Lenko O.V., Martynov V.V., Marchuk V.M., Mateleshko O.Iu., Mykitchak T.I., Motruk M.V., Nazarenko V.Iu., Petrashchuk O.P., Petrashchuk Ya.V., Petrenko A.A., Poberezhnyk V.Y., Prykhodko M.M. (molodshyi), Prykhodko N.F., Prokopenko O.V., Reshetylo O.S., Rizun V.B., Rozhko I.M., Savchuk B.B., Stelmashchuk V.Ia., Stefaniuk V.Iu., Stefurak V.L., Tymochko V.B., Tymchuk O. V., Tymchuk Ya.Ia., Torous O.B., Fedorchuk N.M., Cherniavskyi M.V., Chikh N. I., Chumak V.O., Shpilchak M.B., Yaremyn I.Ia., Yaremyn L.M. (2009). *Carpathian National Nature Park: a monograph*. Ivano-Frankivsk: Foliant, 672 p. [in Ukrainian].

7. Motruk Yu., Chumak M., Diedus V, Krivosheyev R., Glotov S. (2025). Rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) of coniferous forest of the Carpathian National Nature Park, Mykulychyn, Tatariv and Yablunysia, Ivano-Frankivsk region, Ukraine. Version 1.1. Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/9tza27> accessed via GBIF.org on 2025-09-22 [in English].

8. Müller, J., Büttler, R., 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *Eur. J. For. Res.* 129, 981–992. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5> [in English].

9. Nieto, A., Alexander, K.N.A. (2010). *European Red List of saproxylic beetles*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 39 p. <https://doi:10.2779/84561> [in English].

10. Newton A. (2025). StaphBase (version Aug 2022). In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, D. R. Hernández Robles, C. A. Plata Corredor, T. Stjernegaard Jeppesen, A. Örn, T. Pape, D. Hobern, S. Garnett, H. Little, R. E. DeWalt, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, C. Aedo, E. Aeschl, et al., *Catalogue of Life (Version 2025-07-10)*. Catalogue of Life Foundation, Amsterdam, Netherlands. <https://doi.org/10.48580/dg9ld-3gk> [in English].

11. Schmidl J., Bußler, H. (2004). *Ökologische Gilden xylobionter Käfer Deutschlands*. *Naturschutz Und Landschaftsplanung*, 36, 202–218 [in English].

12. Schülke M., Smetana A. *Staphylinidae Latreille, 1802*. In: Löbl, I., Löbl, D. (Eds). *Catalogue of Palaearctic Coleoptera. V. 1, 2, Hydrophiloidea–Staphylinoidea*. Brill, Leiden & Boston. 2015. P. 304–1134 [in English].

13. Thayer M.K. (2005). *Staphylinidae*. In Beutel R.G. & Leschen R.A.B. (volume eds): *Coleoptera, Vol. I. Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim)*. *Handbook of Zoology Vol. IV, Arthropoda: Insecta. Part 38*. De Gruyter, Berlin, New York, pp. 296–345 [in English].

Мотрук Ю. Б.

аспірант, Ужгородський національний університет
Карпатський національний природний парк
motrukyurii@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1158-0368

Дєдусь В. І.

доктор філософії, Державний природознавчий музей НАН України
valeriia.diedus@uzhnu.edu.ua
orcid.org/0000-0002-0957-5156

Чумак М. В.

кандидат біологічних наук,
Ужгородський національний університет
maksym.chumak@uzhnu.edu.ua
orcid.org/0000-0001-7821-017X

Киселюк О. І.

кандидат біологічних наук,
Карпатський національний природний парк
kisoлек@gmail.com
orcid.org/0009-0000-2064-7942

Кривошеєв Р. Є.

кандидат біологічних наук, Інститут зоології
імені Шмальгаузена НАН України
accipitergentilis777@gmail.com
orcid.org/0000-0001-7319-1205

Дрогваленко О. М.

аспірант, Музей природи
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
tripлахх@ukr.net
orcid.org/0000-0001-9855-8421

Глотов С. В.

кандидат біологічних наук, Державний природознавчий музей НАН України;
Луганський природний заповідник НАН України; Луганський національний
університет імені Тараса Шевченка
sergijglotov@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3986-0844

**ДО ФАУНИ САПРОКСИЛОБІОНТНИХ ЖУКІВ-СТАФІЛІНІД
(COLEOPTERA: STAPHYLINIDAE) ХВОЙНИХ ЛІСІВ
КАРПАТСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ**

Сапроксилобіонтні жуки – це комахи, які на різних стадіях життєвого циклу залежать від мертвої та гниючої деревини та відіграють важливу екологічну роль у біоценозах Європи. Разом із грибами вони виступають в ролі деструкторів мертвої деревини, а також беруть участь у процесах ґрунтоутворення та кругообігу речовин в природі. Родина жуків-стафілінід є однією з найбільших родин жуків. Багато видів родини Staphylinidae характеризуються високою чисельністю, чітким розподілом на певні природні середовища існування та здатністю чутливо реагувати на зміни в навколишньому середовищі, що дозволяє використовувати їх як об'єкти для біоіндикації процесів забруднення навколишнього середовища та моніторингу екосистем. Метою дослідження є вивчення різноманіття сапроксилобіонтних жуків-стафілінід хвойних лісів Карпатського національного природного парку. Рукопис базується на результатах наукових спостережень та зборів, проведених у хвойних лісах Карпатського національного природного парку у 2023–2024 роках. Усі бар'єрні пастки або політрапи встановлювалися та працювали два роки поспіль, протягом вегетаційного сезону з початку квітня до кінця вересня. Угруповання сапроксилобіонтних жуків-стафілінід, зібраних у хвойних лісах Карпатського національного природного парку, характеризується високим рівнем видового різноманіття. Фауна сапроксильних жуків-стафілінід налічує 217 видів, з яких 127 є облігатними або факультативними сапроксильними видами. Результатом нашого дослідження є зріз різноманіття угруповань представників родини на певних етапах лісової сукцесії. У майбутньому ці дані можуть бути використані дослідниками для оцінки рівня збереженості інших територій, зокрема з метою формування пропозицій щодо

раціонального сталого лісокористування, до чого поступово рухається українське лісове господарство. Представлений таксономічний список не претендує на повноту, але є основою для подальшої інвентаризації та моніторингу різноманіття сапроксилобіонтних твердокрилих, а також ведення кадастру природних комплексів НПП «Карпатський».

Ключові слова: Жуки-стафілініди, сапроксилобіонтні види, хвойні ліси, фауна.

Стаття надійшла 04.09.2025 року

Рецензія надійшла 22.09.2025 року

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

УДК [633.15:631.53.01]:[581.1:577.1]
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-24-32

Богдан О. В.

аспірант кафедри біології Ніжинського державного університету імені
Миколи Гоголя
oleksandrbogdan840@gmail.com
orcid.org/0009-0008-1797-9522

Приплавко С. О.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
ngubiolog@ukr.net
orsid.org/0000-0002-4326-6547

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ КОМБІНАЦІЯМИ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА РІСТ ЦУКРОВОЇ КУКУРУДЗИ

Для підвищення врожайності та біологічної продуктивності цукрової кукурудзи тривають активні пошуки ефективних агротехнологічних заходів, зокрема застосування різних типів біостимуляторів, здатних підвищувати стійкість рослин до дії стресових чинників і покращувати ріст. Одним із перспективних підходів цього напрямку є використання метаболічно активних речовин. Польові дослідження впливу цих речовин та їх комбінацій на морфогенез цукрової кукурудзи проводилися на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. У досліді використовували насіння кукурудзи сорту Спокуса, яке перед висівом обробляли розчинами таких метаболічно активних сполук: сульфат магнію ($MgSO_4$), убіхінон-10, вітамін E, метіонін та параоксibenзойна кислота (ПОБК). Ефективність цих сполук вивчали у складі таких комбінацій: вітамін E + убіхінон-10; вітамін E + метіонін + ПОБК; вітамін E + метіонін + ПОБК + магній сульфат ($MgSO_4$).

Оцінку ефективності досліджуваних препаратів проведено за комплексом таких показників: маса сирої речовини надземної та підземної частин, довжина коренів і пагонів, площа листової поверхні. Відбір проб здійснювали на основних фазах онтогенезу: 3-5 листків, викидання волоті, молочна та повна стиглість.

Найефективнішою за масою сирої речовини пагонів була комбінація у складі вітамін E + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$, яка перевищила значення у контролі на 44,3% у фазі повної стиглості. У фазі викидання волоті ця ж комбінація сприяла збільшенню маси сирої речовини коренів на 54,3%, а площі листків – на 7,4% у порівнянні з контролем. Натомість убіхінон-10 у поєднанні з вітаміном E, не забезпечив істотного приросту біомаси і в окремих випадках мав менший вплив порівняно з контролем.

Таким чином, встановлено доцільність застосування комбінації метаболічно активних речовин у складі вітамін E + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$ для передпосівної обробки насіння цукрової кукурудзи сорту Спокуса. Таке поєднання сприяє покращенню росту, розвитку фотосинтетичного апарату та загального

накопичення біомаси, що є передумовою підвищення врожайності досліджуваної культури.

Ключові слова: цукрова кукурудза, вітамін Е, метіонін, убіхінон-10, параоксисбензойна кислота, $MgSO_4$, біомаса, ріст, площа листка, морфометричні показники.

Вступ. Цукрова кукурудза (*Zea mays convar. saccharata*) є цінною овочевою культурою, що характеризується високими смаковими властивостями та значною поживною цінністю. Для забезпечення формування стабільного врожаю важливим є активний ріст та розвиток рослин на початкових етапах онтогенезу. Одним із ефективних агротехнічних заходів, який сприяє підвищенню життєздатності проростків і стійкості до дії несприятливих факторів, є передпосівна обробка насіння біологічно активними речовинами [1, 2].

Актуальність проведеного дослідження зумовлена необхідністю оптимізації використання комбінацій таких речовин з урахуванням біологічних особливостей культури, фаз її розвитку та впливу абіотичних чинників середовища. У науковій літературі висвітлено позитивний вплив різних груп біологічно активних сполук – зокрема регуляторів росту, амінокислот, мікроелементів, гумінових речовин і мікробіологічних препаратів – на показники схожості насіння та морфогенез рослин. Водночас більшість досліджень зосереджена переважно на зернових формах кукурудзи або на інших сільськогосподарських культурах, тоді як специфіка формування продуктивного потенціалу цукрової кукурудзи вивчена недостатньо. Особливо актуальним залишається порівняльний аналіз ефективності комбінованої дії метаболічно активних сполук на формування підземної та надземної частин рослин [3].

Сучасна система мінерального й біологічного живлення має враховувати рівень природної родючості ґрунтів, кліматичні особливості регіону та технологічні особливості вирощування культури. Особливої наукової уваги заслуговують речовини, здатні не лише активізувати розвиток кореневої системи, але й підвищувати загальну стресостійкість рослин до біотичних і абіотичних факторів, що в підсумку сприяє формуванню повноцінного та продуктивного стеблостою. До таких речовин належать метаболічно активні сполуки природного походження, зокрема вітамін Е, убіхінон-10, метіонін, параоксисбензойна кислота (ПОБК) та сульфат магнію ($MgSO_4$), які відіграють важливу роль у регуляції обміну речовин, антиоксидантної захисті, а також у синтезі фітогормонів і структурних компонентів клітин. Їх використання у передпосівній обробці насіння розглядається як перспективний прийом підвищення продуктивності цукрової кукурудзи за рахунок покращення початкового росту та розвитку рослин [2-4].

Метою дослідження було встановити вплив комбінацій біологічно активних речовин на ріст підземної та надземної частин цукрової кукурудзи на різних етапах онтогенезу та виявлення найбільш ефективних поєднань для передпосівної обробки насіння.

Методологія дослідження. Дослідження проводилося у 2024 році на території навчально дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя (Чернігівська обл., Україна). Об'єктом дослідження були рослини кукурудзи цукрової сорту Спокуса на різних фазах розвитку. Перед висівом насіння обробляли комбінаціями метаболічно активних речовин, серед яких були: вітамін Е, убіхінон-10, метіонін, параоксисбензойна кислота (ПОБК) та $MgSO_4$.

Досліджувані речовини використовували у складі таких комбінацій:

1. Вітамін Е + убіхінон-10.
2. Вітамін Е + метіонін + ПОБК.
3. Вітамін Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$.

Як контрольний варіант використовували насіння, оброблене дистильованою водою. Для оцінки ефективності комбінацій досліджуваних метаболічно активних сполук було застосовано препарат Вимпел-2.

Вимпел-2 – це регулятор росту природно-синтетичного походження з контактно-системною дією, який використовують для передпосівної обробки насіння. Його основні властивості включають стимулювання ростових процесів і фотосинтезу, регулювання транспірації та інтенсивності поглинання мінеральних елементів. Препарат також сприяє проростанню насіння та росту вегетативних органів. До складу препарату Вимпел-2 входять багатоатомні спирти, карбонові й гумінові кислоти. Його застосовують для обробки насіння овочевих культур, соняшнику та зернових культур. Робочий розчин препарату готували згідно з інструкцією: 10 мл препарату розчиняли у 0,5 л води, після чого насіння замочували у цьому розчині протягом 2 годин [5, 6].

Передпосівну обробку насіння цукрової кукурудзи метаболічно активними речовинами здійснювали шляхом замочування у водних розчинах протягом 2 годин при температурі 20 ± 2 °С. Після обробки насіння висівали безпосередньо у ґрунт на дослідних ділянках експериментального поля. Усі варіанти дослідів вирощували за однакових агротехнічних умов, без додаткового внесення мінеральних добрив та зрошення, що дозволяло оцінити вплив лише фактору обробки [7, 8].

Оцінку росту надземної та підземної частини здійснювали у фазах 3-5 листків, викидання волоті, молочної стиглості та повної стиглості. Вимірювали наступні показники:

- середня кількість коренів
- середня довжина кореня,
- середня довжина надземної частини,
- середня площа листової пластинки,
- середня маса сирої речовини кореня,
- середня маса сирої речовини пагона.

Обробку отриманих результатів проводили із використанням методів математичної статистики з визначенням достовірності відмінностей між варіантами на рівні $p < 0.05$ [8].

Результати досліджень та їх обговорення. З метою оцінки впливу комбінацій метаболічно активних речовин на ріст цукрової кукурудзи сорту Спокуса було проведено морфометричні вимірювання на різних етапах онтогенезу. Отримані результати дають змогу комплексно оцінити ефективність кожного з досліджуваних варіантів.

За результатами досліджень у фазі 3-5 листків найкращі результати були відмічені у варіанті обробки насіння комбінацією з вітаміну Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$ (таблиця 1). У цьому варіанті кількість коренів сягала 12,95 шт., що на 20,5% перевищує значення контролю. Довжина кореневої системи становила 73,28 см, що на 14,04% більше, ніж у контролі, а маса сирої речовини коренів – 0,419 г проти 0,337 г контрольного варіанту. У цьому ж варіанті фіксувалася і найбільша довжина пагонів та площа листової пластинки, що перевищували контрольні значення відповідно на 3,05 см та 14,9 см². Маса сирої речовини пагонів становила 4,86 г, що також перевищувало контрольні значення на 0,76 г.

Таблиця 1
Вплив комбінацій метаболічно активних речовин на морфофізіологічні показники рослин цукрової кукурудзи сорту Спокуса у фазі 3-5 листків

Варіант	Кількість коренів (шт)	Довжина коренів (см)	Маса сирої речовини коренів (г)	Довжина пагонів (см)	Маса сирої речовини пагонів (г)	Площа листка (см ²)
Контроль	10,75 ± 0,54	64,26 ± 3,21	0,337 ± 0,017	32,14 ± 1,61	4,12 ± 0,21	114,23 ± 5,71

Варіант	Кількість коренів (шт)	Довжина коренів (см)	Маса сирової речовини коренів (г)	Довжина пагонів (см)	Маса сирової речовини пагонів (г)	Площа листка (см ²)
Віт. Е + убіхінон-10	8,95 ± 0,45	43,91 ± 2,20*	0,365 ± 0,018	33,54 ± 1,68	3,82 ± 0,19*	95,93 ± 4,80*
Віт. Е + метіонін + ПОБК	9,45 ± 0,47	49,58 ± 2,48*	0,377 ± 0,019	30,33 ± 1,52	3,28 ± 0,16*	92,44 ± 4,62*
Віт. Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	12,95 ± 0,65*	73,28 ± 3,66*	0,419 ± 0,021*	35,19 ± 1,76*	4,86 ± 0,24*	129,09 ± 6,45*
Вимпел-2	11,35 ± 0,57	68,11 ± 3,41*	0,391 ± 0,020*	32,85 ± 1,64	4,84 ± 0,24*	119,45 ± 5,97

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, p < 0,05

У фазі викидання волоті найефективнішою також була комбінація з вітаміну Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ (таблиця 2). У цьому варіанті середня довжина коренів сягала 238,7 см, що майже на 85 см більше за значення у контролі. Маса сирової речовини коренів становила 3,92 г, тоді як у контролі – 2,54 г, а маса пагонів – 51,15 г, що на 17,54 г більше, ніж у контрольному варіанті. Значно вищими були і показники площі листової пластинки (1201,4 см²) та довжини пагонів (110,1 см) порівняно з контролем. Варіант з вітаміном Е + убіхіноном-10, незважаючи на збільшення кількості коренів (21,85 шт.), показав зменшення довжини коренів (143,9 см) та маси сирової речовини пагонів (34,82 г) порівняно з іншими дослідними варіантами.

Таблиця 2

Вплив комбінацій метаболічно активних речовин на морфофізіологічні показники рослин цукрової кукурудзи сорту Спокуса у фазі викидання волоті

Варіант	Кількість коренів (шт.)	Довжина коренів (см)	Маса сирової речовини коренів (г)	Довжина пагонів (см)	Маса сирової речовини пагонів (г)	Площа листка (см ²)
Контроль	15,25 ± 0,76	153,9 ± 7,69	2,54 ± 0,127	102,3 ± 5,11	33,61 ± 1,68	1118,8 ± 55,94
Віт. Е + убіхінон-10	21,85 ± 1,09*	143,9 ± 7,20	2,37 ± 0,12	106,3 ± 5,31	34,82 ± 1,74	1003,3 ± 50,16*
Віт. Е + метіонін + ПОБК	15,10 ± 0,76	172,1 ± 8,60*	2,94 ± 0,15*	108,3 ± 5,42	37,71 ± 1,89*	1004,1 ± 50,20*

Варіант	Кількість коренів (шт.)	Довжина коренів (см)	Маса сирої речовини коренів (г)	Довжина пагонів (см)	Маса сирої речовини пагонів (г)	Площа листка (см ²)
Віт. Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	21,35 ± 1,07*	238,7 ± 11,93*	3,92 ± 0,20*	110,1 ± 5,50	51,15 ± 2,56*	1201,4 ± 60,07
Вимпел-2	16,32 ± 0,82	161,4 ± 8,07	2,90 ± 0,15	105,1 ± 5,25	40,81 ± 2,04*	1131,9 ± 56,60

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$

У фазі молочної стиглості найвищі показники також продемонструвала комбінація із MgSO₄ (таблиця 3). При цьому кількість коренів зростає до 24,5 шт., їх довжина – до 267,8 см, а маса – до 4,63 г, що значно перевищує контрольні значення. Довжина пагонів у цьому варіанті склала 133,1 см, а площа листової пластинки – 1450,3 см², що свідчить про високу інтенсивність фотосинтетичних процесів. Маса сирої речовини пагонів також була найвищою і становила 56,15 г. У фазі викидання волоті ця комбінація сприяла збільшенню маси сирої речовини коренів на 54,3%, а площі листків – на 7,4% у порівнянні з контролем. У свою чергу, рослини варіанту з обробкою насіння вітаміном Е + убіхінон-10 мали дещо нижчі результати: довжина коренів – 118,5 см, маса сирої речовини пагонів – 42,19 г, що майже на 25% менше, ніж у варіанті комбінації з MgSO₄.

Таблиця 3
Вплив комбінацій метаболічно активних речовин на морфофізіологічні показники рослин цукрової кукурудзи сорту Спокуса у фазі молочної стиглості

Варіант	Кількість коренів (шт.)	Довжина коренів (см)	Маса сирої речовини коренів (г)	Довжина пагонів (см)	Маса сирої речовини пагонів (г)	Площа листка (см ²)
Контроль	17,56 ± 0,88	170,5 ± 8,52	3,526 ± 0,18	115,2 ± 5,76	38,21 ± 1,91	1250,8 ± 62,54
Віт. Е+убіхінон-10	19,17 ± 0,96	118,5 ± 5,92*	2,185 ± 0,11*	119,0 ± 5,95	42,19 ± 2,11*	1331,4 ± 66,57
Віт. Е + метіонін + ПОБК	17,10 ± 0,86	190,6 ± 9,53*	3,63 ± 0,18	120,8 ± 6,04	43,25 ± 2,16*	1350,4 ± 67,52
Віт. Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	24,50 ± 1,23*	267,8 ± 13,39*	4,63 ± 0,23*	133,1 ± 6,66*	56,15 ± 2,81*	1450,3 ± 72,52*
Вимпел-2	18,57 ± 0,93	187,4 ± 9,37*	3,501 ± 0,18	118,1 ± 5,90	48,62 ± 2,43*	1261,2 ± 63,06

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$

На завершальному етапі онтогенезу комбінація з вітаміну Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ забезпечила найкращі результати за всіма показниками (таблиця 4). Довжина коренів у цьому варіанті сягала 278,1 см, маса сирої речовини коренів –

5,05 г, довжина пагонів – 127,2 см, площа листової пластинки – 1596,4 см², а маса сирої речовини пагонів – 61,1 г. Усі ці показники значно перевищують значення контрольного варіанту. Так, наприклад, за масою сирої речовини пагонів вказана комбінація перевищила значення контрольного варіанту на 44,3%.

Інші варіанти застосування комбінацій метаболічно активних речовин для обробки насіння перед висівом поступалися значенням отриманим у варіанті застосування комбінації з вітаміну Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄, зокрема обробка насіння комбінацією з вітаміном Е + убіхінон-10 показала значно нижчі результати. Але ця комбінація ефективно впливала на збільшення показника кількості коренів до 31,21 шт., інші показники залишалися нижчими, ніж у більшості варіантів.

Таблиця 4

Вплив комбінацій метаболічно активних речовин на морфофізіологічні показники рослин цукрової кукурудзи сорту Спокуса у фазі повної стиглості

Варіант	Кількість коренів (шт.)	Довжина коренів (см)	Маса сирої речовини коренів (г)	Довжина пагонів (см)	Маса сирої речовини пагонів (г)	Площа листка (см ²)
Контроль	19,13 ± 0,96	181,5 ± 9,08	3,03 ± 0,15	124,3 ± 6,22	42,35 ± 2,12	1351,37 ± 67,57
Віт. Е + убіхінон-10	31,21 ± 1,56*	135,0 ± 6,75*	3,57 ± 0,18*	122,9 ± 6,14	44,78 ± 2,24	1389,47 ± 69,47
Віт. Е + метіонін + ПОБК	18,20 ± 0,91	249,8 ± 12,49*	4,17 ± 0,21*	124,5 ± 6,22	48,04 ± 2,40*	1409,30 ± 70,47
Віт. Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	27,75 ± 1,39*	278,1 ± 13,91*	5,05 ± 0,25*	127,2 ± 6,36	61,10 ± 3,05*	1596,35 ± 79,82*
Вимпел-2	21,55 ± 1,08	238,0 ± 11,90*	3,78 ± 0,19*	126,5 ± 6,33	45,50 ± 2,27*	1389,90 ± 69,50

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, p < 0,05

Отже, отримані результати досліджень свідчать про те, що саме комбінація з вітаміну Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ забезпечила найвищі показники росту рослин як на ранньому, так і на пізньому етапах онтогенезу. Така ефективність пояснюється синергічною дією компонентів комплексу, кожен з яких виконує важливу фізіолого-біохімічну функцію. Відомо, що вітамін Е виступає як потужний антиоксидант, стабілізуючи клітинні мембрани та захищаючи органели, зокрема хлоропласти, від ушкодження активними формами кисню, що особливо важливо під час проростання насіння та активного поділу клітин, забезпечуючи збереження функціональної активності фотосинтетичного апарату. Метіонін – сірковмісна амінокислота, бере участь у синтезі білків, фітогормонів і поліамінів. Ці речовини регулюють ріст і поділ клітин, тим самим стимулюють розвиток надземної і підземної частин рослин, сприяючи кращому укоріненню та росту пагонів. Параоксибензойна кислота, як аналог природних фітогормонів, зокрема ауксинів, підвищує інтенсивність росту кореневої системи, збільшуючи поглинальну здатність коренів та покращуючи водне і мінеральне живлення. Магній сульфат відіграє ключову роль у фотосинтезі, активує ферменти, що беруть участь в енергетичному обміні та синтезі білків і його наявність

сприяє більш активному розвитку листової поверхні та загальному приросту біомаси рослин [1-4].

Висновки. Таким чином, застосування комбінації метаболічно активних речовин у складі вітаміну Е + метіонін + параоксibenзойна кислота + $MgSO_4$ може розглядатися як перспективний елемент агротехнології вирощування цукрової кукурудзи сорту Спокуса. Упродовж усіх фаз онтогенезу ця комбінація сполук стабільно забезпечувала найвищі показники росту надземної та підземної частин: спостерігалося істотне збільшення довжини та маси сирої речовини кореневої системи, довжини пагонів, площі листків та загальної сирої маси надземної частини рослин.

Отримані результати доцільно використати для формування адаптивних схем обробки насіння цукрової кукурудзи з урахуванням стресових факторів довкілля. Подальші дослідження мають бути спрямовані на визначення впливу зазначених речовин на показники урожайності, якості продукції та економічну ефективність технології.

Література

1. Mastropetros S. G., Darras A. I., Matsi T. Effect of Pre-Sowing Seed Stimulation on Maize Seedling Vigour. *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 10. – Article 9248.
2. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур : навч. посібник / В. В. Лихочвор, В. Ф. Петриченко. – Львів : Українські технології, 2006. – 730 с.
3. Лісовицький В. В., Кучменко О. Б. Вплив метаболічно-активних речовин на окремі фізіолого-біохімічні показники росту і розвитку огірків сорту Ніжинський // *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія*. – 2020. – Т. 3. – С. 35–42.
4. Кучменко О. Б. Біохімія вітамінів / О. Б. Кучменко. – Київ : Університет «Україна», 2012. – 528 с.
5. Міщенко С. І., Шерстюк В. І., Завгородній В. А., Копилова І. О. Технологія вирощування кукурудзи з використанням стимуляторів росту // *Науковий вісник НУБіП України*. – 2017. – Вип. 278. – С. 112–118.
6. Ласло О. О., Мельничук А. В. Ефективність застосування регулятора Вимпел-2 та комплексного мікродобрива у посівах сої // *Scientific Progress & Innovations*. – 2021. – № 4. – С. 24–29.
7. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, В. П. Опришко, П. В. Костогриз. – Київ : Дія, 2005. – 288 с.
8. Опря А. Т. Статистичні методи аналізу урожаю й урожайності: особливості комплексного використання при концептуальному визначенні урожайності як економічної категорії // *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії*. Серія: Економічні науки. – 2011. – Вип. 2, Т. 1. – С. 181–193.

References

1. Mastropetros, S. G., Darras, A. I., & Matsi, T. (2023). *Effect of pre-sowing seed stimulation on maize seedling vigour* [Effect of pre-sowing seed stimulation on maize seedling vigour]. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), Article 9248. [in Switzerland].
2. Lykhochvor, V. V., & Petrychenko, V. F. (2006). *Roslynnytstvo. Suchasni intensyvni tekhnologii vyroshchuvannia osnovnykh poliovykh kultur* [Crop production. Modern intensive technologies for growing major field crops]. Lviv (Ukraine): Ukraini Tekhnologii. [in Ukrainian].
3. Lisovytskyi, V. V., & Kuchmenko, O. B. (2020). *Vplyv metabolichno-aktyvnykh rechovyv na okremi fizioloho-biohimichni pokaznyky rostu i rozvytku ohirkiv sortu Nizhynskyi* [Effect of metabolically active substances on physiological and biochemical parameters of Nizhyn cucumber growth]. *Naukovi Zapisky NaUKMA. Biologhiia ta Ekologhiia*, 3, 35–42. [in Ukrainian].
4. Kuchmenko, O. B. (2012). *Biokhimiia vitaminiv* [Biochemistry of vitamins]. Kyiv (Ukraine): Universytet "Ukraine". [in Ukrainian].

5. Mishchenko, S. I., Sherstyuk, V. I., Zavgorodniy, V. A., & Kopylova, I. O. (2017). Tekhnolohiia vyroshchuvannia kukurudzy z vykorystanniam stymulatoriv rostu [Technology of maize with growth stimulants application]. *Naukovyi Visnyk NUBiP Ukrainy*, 278, 112–118. [in Ukrainian].

6. Laslo, O. O., & Melnychuk, A. V. (2021). Efektyvnist zastosuvannia rehulitora Vympel-2 ta kompleksnoho mikrodbryva u posivakh soi [Effectiveness of Vympel-2 and complex micronutrient fertilizer in soybean crops]. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 24–29. [in Ukrainian].

7. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Opryshko, V. P., & Kostohryz, P. V. (2005). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii* [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kyiv (Ukraine): Diiia. [in Ukrainian].

8. Opra, A. T. (2011). Statystychni metody analizu urozhaiv i urozhaïnosti: osoblyvosti kompleksnoho vykorystannia pry kontseptualnomu vyznachenni urozhaïnosti yak ekonomichnoi katehorii [Statistical methods of yield and productivity analysis: features of complex application for conceptual definition of yield as an economic category]. *Naukovi Pratsi Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii. Seriya: Ekonomichni Nauky*, 2(1), 181–193. [in Ukrainian].

Bogdan O.

Postgraduate Student, Department of Biology
Nizhyn Mykola Gogol State University
oleksandrbogdan840@gmail.com
orcid.org/0009-0008-1797-9522

Pryplavko S.

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Department of Biology
Nizhyn Mykola Gogol State University
ngubiolog@ukr.net
orsid.org/0000-0002-4326-6547

THE EFFECT OF PRE-SOWING SEED TREATMENT WITH COMBINATIONS OF METABOLICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON THE GROWTH OF SWEET CORN

In modern agricultural production, effective methods for increasing the yield and biological productivity of sweet corn are being actively explored, particularly through the use of biostimulants that enhance plant resistance to stress factors and stimulate growth. One of the promising approaches is the use of metabolically active substances. To assess their impact on plant morphogenesis, a field experiment was conducted at the Research and Training Agro-biostation of Mykola Gogol Nizhyn State University.

The aim of the study was to determine the effectiveness of pre-sowing seed treatment of sweet corn (cv. Spokusa) with metabolically active substances and their combinations for stimulating growth processes, developing the photosynthetic apparatus, and increasing the overall productivity of the crop.

In the experiment, seeds of the Spokusa variety were treated before sowing with solutions of magnesium sulfate ($MgSO_4$), ubiquinone-10, vitamin E, methionine, para-aminobenzoic acid (PABA), and their combinations: vitamin E + ubiquinone-10; vitamin E + methionine + PABA; vitamin E + methionine + PABA + $MgSO_4$. The control variant involved seeds treated with distilled water; for comparison, the commercial product Vympel-2 was used. Sampling was carried out at the following growth stages: 3–5 leaves, tasseling, milk ripeness, and full ripeness. Morphometric parameters were evaluated, including fresh weight of aboveground and underground parts, shoot and root length, and leaf surface area.

The highest efficiency was observed with the combination of vitamin E + methionine + PABA + MgSO₄. At full ripeness, this treatment increased the fresh weight of shoots by 44.3% compared to the control; at tasseling stage, root biomass increased by 54.3%, and leaf area exceeded the control by 7.4%. Whereas the combination of ubiquinone-10 and vitamin E did not demonstrate a beneficial effect and in some cases even reduced biomass accumulation.

Scientific novelty lies in the first-time investigation of the complex effect of new combinations of metabolically active substances on the growth and development of sweet corn (cv. Spokusa) under the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Practical significance of the obtained results is the confirmation of the effectiveness of pre-sowing seed treatment with a combination of vitamin E, methionine, PABA, and MgSO₄ as an efficient agrotechnical approach that enhances growth processes, promotes the development of the leaf apparatus, and contributes to biomass accumulation, which ultimately serves as a prerequisite for increased crop yield.

Key words: sweet corn, vitamin E, methionine, ubiquinone-10, paraoxybenzoic acid, MgSO₄, biomass, growth, leaf area, morphometric parameters.

**Стаття до редакції надійшла 03.09.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 18.09.2025 року**

УДК 581.1

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-33-43

Бородай Є. С.

аспірантка кафедри фізіології та інтродукції рослин,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
e-boroday@ukr.net
orsid.org/0009-0007-4732-444X

Лихолат Ю. В.

доктор біологічних наук, професор кафедри фізіології та інтродукції рослин
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
lykholat2006@ukr.net
orsid.org/0000-0003-3354-8251

**ВПЛИВ АЕРОПОЛЮТАНТІВ ПРИМАГІСТРАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ
НА АКТИВНІСТЬ АНТИОКСИДАНТНИХ ФЕРМЕНТІВ
ВЕГЕТАТИВНИХ ОРГАНІВ ДЕРНОУТВОРЮЮЧИХ ТРАВ**

*Дерноутворюючі види трав, що зростають у фітоценозах промислових зон та вздовж автомагістралей, зазнають хронічного впливу аерополютантів, що призводить до порушення метаболічних процесів рослинного організму і може проявлятися у зниженні адаптивного потенціалу видів. У відповідь на стресові чинники активується антиоксидантна ферментативна система, зокрема каталаза та пероксидаза, які нейтралізують активні форми кисню. Метою дослідження було визначення активності антиоксидантних ферментів, а саме каталази (КФ 1.11.1.6.) та пероксидази (КФ.1.11.1.7), на різних етапах онтогенезу рослин для оцінки стійкості видів дерноутворюючих трав в умовах урбанізованого середовища за впливу викидів автотранспорту в м.Дніпро. Об'єктами досліджень були пирій повзучий (*Elytrigia répens* (L.) Nevski.) та мишій зелений (*Setaria viridis* (L.) Beauv.). Встановлено, що в дерноутворюючих рослин *Elytrigia répens* та *Setaria viridis*, спостерігалось достовірне підвищення активності каталази та пероксидази у вегетативних органах за впливу аерополютантів. Виявлено посилення активності каталази порівняно з контролем відповідно на 16-46 % в листках і 10-49 % в коренях (пирій повзучий) та на 23-70 % в листках і на 20-68 % в коренях (мишій зелений). В ході онтогенезу зареєстровано інтенсифікацію активності пероксидази у листках і коренях досліджуваних рослин: в фазу вірґінільну пирій повзучий (35 % і 25 %), мишій зелений (65,5 % і 50 %); в генеративну фазу пирій повзучий (35,5 % і 49,5 %), мишій зелений (67,5 % і 56,5 %); в субсенільну фазу пирій повзучий (46 % і 38,5 %), мишій зелений (59,5 % і 49 %). Найвищі значення ферментативної активності спостерігаються у рослин на дослідній ділянці біля ДМЗ. Показники активності каталази та пероксидази є важливими для моніторингу стану дерноутворюючих рослин у стресових умовах й їх стійкості до впливу забруднення повітря в міському середовищі. Виявлені зміни активності каталази та пероксидази можуть бути використані як надійні біомаркери для оцінки рівня забруднення міського середовища та екологічної стійкості рослинних угруповань. Збільшення активності антиоксидантних ферментів є одним із ключових механізмів адаптації рослин до хронічного впливу антропогенних факторів. Максимальні значення активності ферментів фіксуються у субсенільних особин, що підкреслює важливість антиоксидантного захисту на пізніх етапах розвитку. Найбільші відмінності між контрольними та дослідними рослинами спостерігаються у листках, що може бути пов'язано з інтенсивнішим впливом аерополютантів на листову поверхню. Результати дослідження підтверджують доцільність використання *Elytrigia**

repens (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv як індикаторних видів для моніторингу стану урбофітоценозів.

Ключові слова: дерноутворюючі трави, *Elytrigia repens*, *Setaria viridis*, антиоксидантна система, каталаза, пероксидаза, аерополітантми.

Вступ. В сучасних умовах інтенсивного техногенного навантаження на довкілля вивчення адаптаційних механізмів рослин, що зростають в урбанізованому середовищі, привертає особливу увагу. Однією з ключових груп рослин, що відіграють важливу роль у стабілізації ґрунту, формуванні мікроклімату та підтриманні екологічної рівноваги, є дерноутворюючі види [2, 3, 15]. Вздовж автомагістралей ці рослини постійно зазнають хронічного впливу аерополітантів, і автотранспорт є одним із головних джерел забруднення повітря в міському середовищі. До складу автотранспортних викидів входять оксиди азоту (NO, NO₂), оксиди сірки (SO₂), вуглекислий газ (CO₂), чадний газ (CO) леткі органічні сполуки, сажа, пил та важкі метали (Pb, Cd, Zn, Cu) [2, 15]. Ці речовини мають високу реакційну здатність проникати в рослинні тканини, викликаючи морфологічні зміни (зменшення площі листової поверхні, деформації листків, вкорочення пагонів та кореневої системи), порушення фізіологічних-біохімічних процесів (пригнічення фотосинтезу, синтезу білків, вуглеводів та ліпідів, надмірне утворення активних форм кисню). Це, в свою чергу, знижує адаптивний потенціал видів, впливає на здатність до самовідновлення [1, 14, 17].

Зміни у морфо-фізіологічному стані та метаболізмі дерноутворюючих рослин може призводити до трансформації структури фітоценозу, зниження біорізноманіття та порушення функціонування екосистеми загалом. Наслідки впливу викидів автотранспорту на морфоструктуру та метаболізм рослин залежать від концентрації токсичних речовин і тривалості дії. Дерноутворюючі трави, завдяки властивості до швидкого відновлення механічно пошкоджених ділянок та стійкості до інтенсивного використання, є важливим елементом міського озеленення, що виконує низку екологічних, естетичних та соціальних функцій, та застосовуються для озеленення не тільки парків, скверів, а й техногенно порушених територій, зокрема узбіч доріг, промислових зон [3, 6]. Використання в ландшафтному дизайні та благоустрої міських територій дерноутворюючих рослин відіграє значну роль в покращенні якості повітря, зниженні температури повітря, що позитивно впливає на формування міського мікроклімату, в регуляції водного балансу та збереженні біорізноманіття.

Для збереження функціональності рослинного організму і підтримання гомеостазу за негативного впливу умов міського середовища як захисна реакція активуються додаткові механізми регуляції, зокрема антиоксидантна ферментативна система (каталаза, пероксидаза та супероксиддисмутаза) [2, 13, 14]. Підвищення активності СОД за дії аеротехногенного забруднення призводить до накопичення в рослинному організмі пероксиду водню, який є токсичною сполукою і негативно впливає на метаболічні процеси. Основними ферментами, які знешкоджують H₂O₂ в клітинах, є каталаза і пероксидаза. Ці ензими працюють у другій лінії захисту від окиснювального стресу. Каталаза є одним з найактивніших ферментів у рослинах. Відомо, що висока активність каталази свідчить про підвищену стійкість рослин до стресових умов [13, 14]. На відміну від пероксидаз, цей фермент не потребує відновленого субстрату для активності. Зниження активності каталази призводить до утворення реакційно агресивного ініціатора ПОЛ – гідроксильного радикалу – і може бути діагностичною ознакою чутливості рослин до антропогенних навантажень [12, 17]. Висока активність пероксидази, як і каталази, є адаптивною відповіддю на дію стресових факторів в умовах урбанізованого середовища, спрямованою на збереження клітинної цілісності та забезпечення життєздатності рослин. Тому, актуальним є дослідження антиоксидантних ферментів у дерноутворюючих трав під

впливом аерополютантів, що дозволить глибше зрозуміти механіми їхньої адаптації та розробити підходи до збереження екологічної стабільності урбанізованих територій.

Отже, **метою дослідження було** вивчити динаміку активності ферментів антиоксидантної системи каталази та пероксидази за впливу аерополютантів міста у вегетативних органах дерноутворюючих рослин на різних етапах онтогенезу.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктами дослідження були дерноутворюючі трави пирій повзучий (*Elytrigia répens* (L.) Nevski) та мишій зелений (*Setaria viridis* (L.) Beauv.) на різних етапах онтогенезу: у віргінільному, генеративному та субсенільному вікових станах. Дослідні зразки були відібрані в місті Дніпро біля Дніпровського металургійного заводу та на проспекті Б. Хмельницького. Контрольні зразки рослин відбирали на території ботанічного саду ДНУ. Активність антиоксидантних ферментів каталази та пероксидази відзначали за загальноприйнятими методиками в триразовій повторності [8].

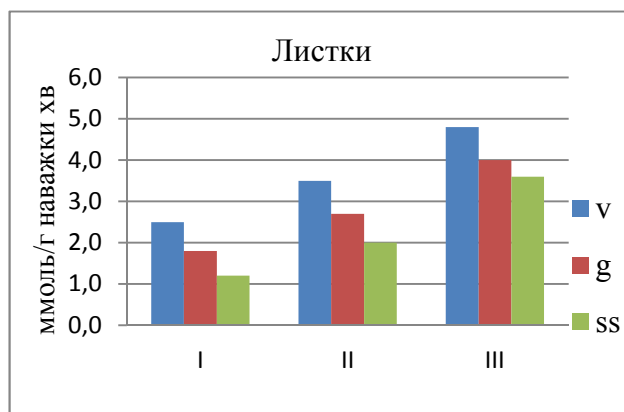
Для одержання ферментного препарату наважку рослинної тканини 0,1 г розтирали у порцеляновій ступці з 0,2 М ацетатного буферу рН 5,4. Одержаний гомогенат після 30 хв настоювання центрифугували протягом 20 хв при 15000 g при 4 С. Супернатант перемістили в чисті сухі пробірки, поміщені в стакани із льодом, й далі використовували при проведенні реакції.

Для визначення активності пероксидази (КФ.1.11.1.7) фіксували зміну оптичної густини реакційної суміші за довжини хвилі 490 нм. До складу реакційної суміші 0,2 мл рослинного екстракту, 0,8 мл 0,2 М ацетатного буферу рН 5,4 та 1 мл бензидину. Для запуску ферментативної реакції в дослідну кювету додавали 1 мл 1 % розчину пероксиду водню і одразу починали вимірювання оптичної густини при довжині хвилі 490 нм протягом хвилини з інтервалом в 5 с напроти контрольної проби, яка містила 1 мл ацетатного буферу замість пероксиду водню.

Активність каталази (КФ 1.11.1.6) визначали фотометрично за довжини хвилі 410 нм в реакційній суміші з 0,2 мл супернатанту, 0,1 % H_2O_2 і 4 % молібдату амонію. Цей метод ґрунтується на утворенні стійкого забарвленого комплексу пероксиду водню з солями молібдену, інтенсивність забарвлення залежить від кількості H_2O_2 у досліджуваному розчині.

Отримані результати дослідження обробляли за допомогою статистичного програмного забезпечення Statistica 7.1 StatSoft.

Результати та їх обговорення. Проведені дослідження по ферменту каталаза в листках і коренях *Elytrigia repens* дали змогу встановити високий рівень його активності у всіх досліджуваних варіантах. Як видно із даних рис. 1, активність каталази у вегетативних органах пирію повзучого з відібраних проб біля ДМЗ на початку онтогенезу підвищені на 25 і 20 % відносно контрольних рослин. У рослин, зібраних з узбіччя проспекту Б. Хмельницького активність каталази збільшена лише на 16 % (листки) і 10 % (корені).



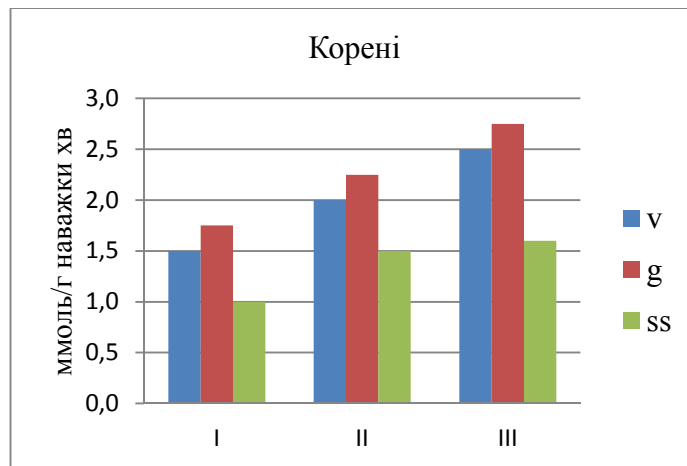


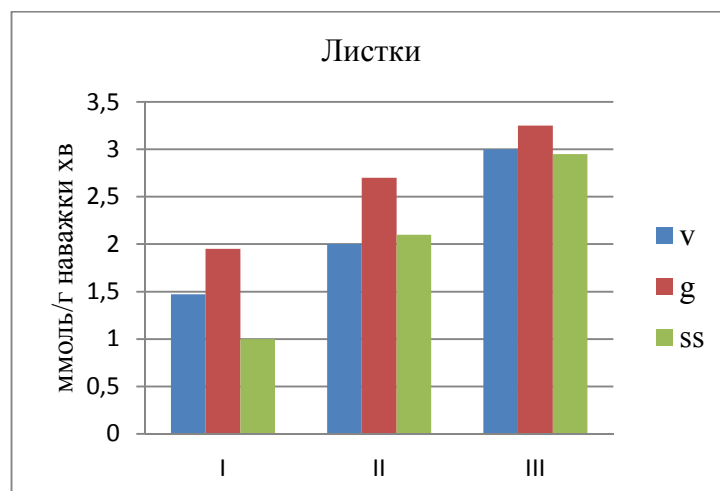
Рис. 1. Вплив аерополітантів на активність каталази у вегетативних органах *Elytrigia repens* (L.) Nevski: I – ботсад ДНУ (контроль), II – проспект Б. Хмельницького, III – ДМЗ, v – віргінільний, g – генеративний та ss – субсенільний вікові стани

Для рослин *Elytrigia repens* в період переходу до генеративної фази розвитку активність ферменту зростала порівняно з попереднім етапом в листках-коренях з контрольної ділянки на 36-31 %, у вегетативних органах рослин з ділянки II і III – на 46-44 і 49-48 %.

При порівнянні контролю і досліджу зафіксовано інтенсифікація каталазної активності на 25 і 20 % у листках і коренях особин, які зростають на проспекті Б. Хмельницького й 37 і 33 % – у вегетативних органах рослин з ДМЗ.

Вступ рослин піррю повзучого у субсенільну фазу відзначено незначним зниженням активності ензиму відносно попередньої фази розвитку в середньому на 5–12 %. Але активність каталази у вегетативних органах *Elytrigia repens* з моніторингових ділянок достовірно збільшена порівняно з контрольними рослинами на 35-25 % (проспект Б. Хмельницького) та 49-39 % (ДМЗ).

У листках і коренях *Setaria viridis* віргінільного періоду в забрудненому промисловими викидами та вихлопами автотранспорту фітоценозі активність каталази збільшена відносно рослин контрольного фітоценозу на 23-42 % і 20-33 % (рис. 2).



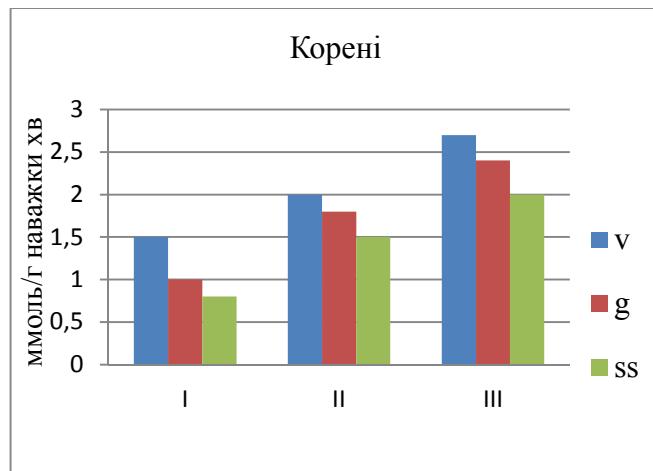


Рис. 2. Вплив аерополітантів на активність каталази у вегетативних органах *Setaria viridis* (L.) Beauv.: I – ботсад ДНУ (контроль), II – проспект Б. Хмельницького, III – ДМЗ, v – віргінільний, g – генеративний та ss – субсенільний вікові стани

Надалі (генеративний стан) активність ферменту зростала відносно попередньої фази у контролі на 33 %, а у досліді – 51-55 %. Для рослин мишію зеленого, які зростають на ділянці II (проспект Б. Хмельницького) активація ферменту становила 40 і 31 % вище контролю. Особини, зібрані на ділянці III (ДМЗ) відзначились вищими значеннями активності: 60-55 %.

У субсенільний період онтогенезу тенденція до перебільшення контрольного рівня зберігалась на 50-70 % в надземній масі *Setaria viridis* і 42-68 % в підземних органах у усіх дослідних фітоценозах.

Відзначене в нашому дослідженні збільшення активності каталази в листках і коренях дерноутворюючих трав на всіх етапах онтогенезу, пов'язано із стійкістю даних видів до хронічного впливу автотранспортних викидів на окисно-відновні процеси. Оскільки відомо, що стійкі рослинні організми мають більш високі рівні й активності ферментів-антиоксидантів, тобто ефективнішу систему захисту, то рослини *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv., проявляють стійкість до умов свого існування [2, 13].

Таким чином, одним з механізмів адаптації досліджуваних рослин до хронічної дії антропогенних факторів міського середовища м. Дніпро є інтенсифікація функціонування каталазної активності, спрямованої на ефективне знешкодження пероксиду водню, що утворюється в реакції, яку каталізує СОД.

Враховуючи важливість пероксидази в механізмі адаптації рослин до різних видів стресу, ми вивчали активність пероксидази в онтогенезі дерноутворюючих трав *Elytrigia repens* та *Setaria viridis*, що зростають в фітоценозах міста Дніпро.

Як видно з рис.3, активність пероксидази листків і коренів контрольних рослин пірію повзучого у віргінільну фазу онтогенезу складала 24,42 і 20,24 ум.од./г наважки хв. У рослин, зібраних на території проспекту Б. Хмельницького цей показник становив 31,75 і 24,2 ум.од./г наважки хв. (на 30 і 20 % вище за контроль). Для особин *Elytrigia repens* з ділянки ДМЗ відзначено найвищі значення активності ферменту 35,4 і 27,32 ум.од./г наважки хв. (на 45 і 35 % вище контрольних значень).

При переході від віргінільного стану до генеративного динаміка активності пероксидази у вегетативних органах пірію повзучого з різних досліджуваних районах була спрямована в бік інтенсифікації. Так, в листках і коренях з контрольної ділянки стимуляція активності ензиму становила 7-15 %, а з дослідних ділянок фітоценозів на 16-25 і 15-22 %.

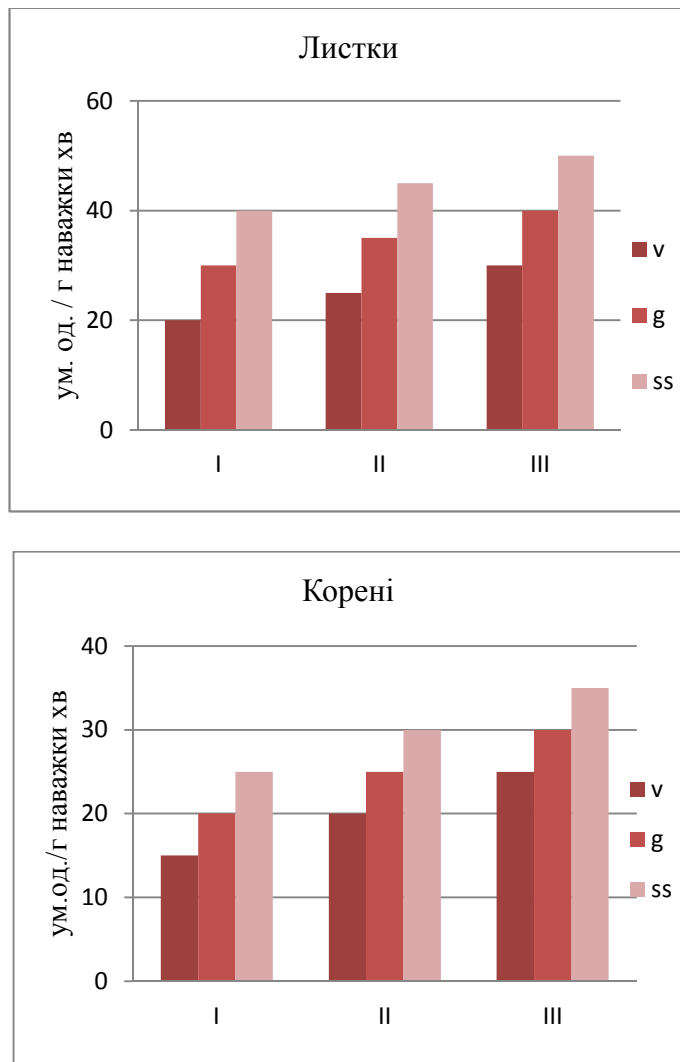


Рис. 3. Активність пероксидази вегетативних органів *Elytrigia repens* (L.) Nevski: з антропогенних фітоценозів: I – ботсад ДНУ (контроль), II – проспект Б. Хмельницького, III – ДМЗ, v – віргінільний, g – генеративний та ss – субсенільний вікові стани

При порівнянні контролю і досліду зафіксовано стимуляцію пероксидазної активності на 40 і 55 % у листках пір'ю повзучого, який зростає на ділянках II (проспект Б. Хмельницького) і III (ДМЗ), у коренях – на 31 і 44 % відповідно.

Субсенільний етап онтогенезу відзначається подальшим збільшення активності ензиму відносно попередньої фази розвитку. При цьому активність пероксидази у вегетативних органах *Elytrigia repens* з моніторингових ділянок достовірно збільшена порівняно з контрольними рослинами на 42 і 35 % (проспект Б. Хмельницького) та 50 і 42 % (ДМЗ).

У листках віргінільних рослин *Setaria viridis* фітоценозів, забруднених вихлопами автотранспорту і промисловими аерополітантами активність пероксидази перевищувала контрольний рівень на 50 і 71 % відповідно. У коренях на цьому етапі онтогенезу активність ферменту був достовірно збільшеним на 40 і 60 %.

Подальше підвищення активності пероксидази зафіксовано у генеративну стадію онтогенезу мишію зеленого у листках на 60-75 %, коренях – 51-62 %.

Максимальні значення притаманні рослинам у субсенільному стані. При цьому рівень активності пероксидази збільшений на 54-65 у надземних і 43-55 % підземних органах (рис. 4).

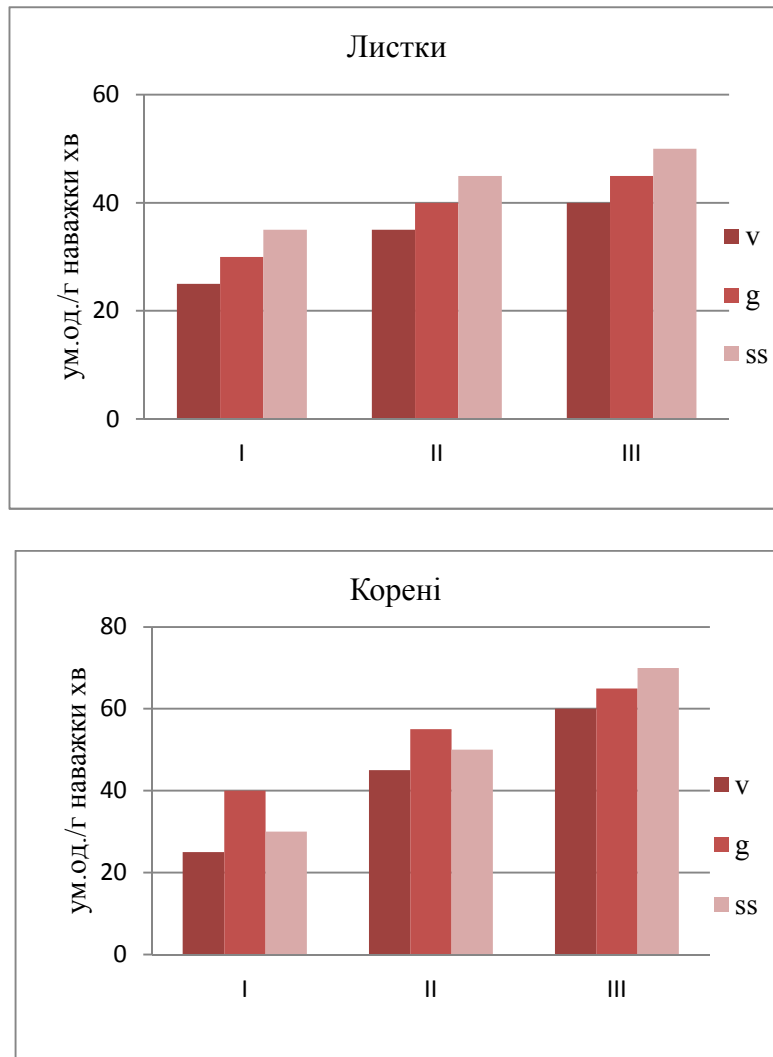


Рис. 4. Активність пероксидази вегетативних органів *Setaria viridis* (L.) Beauv. з антропогенних фітоценозів: I – ботсад ДНУ (контроль), II – проспект Б. Хмельницького, III – ДМЗ, v – віргінільний, g – генеративний та ss – субсенільний вікові стани

Отже, підвищення активності ферменту пероксидази спостерігається протягом усіх етапів онтогенезу дерноутворюючих рослин, незалежно від місця зростання, проте найбільш високий рівень активності ферменту зафіксовано у субсенільному віковому стані. Порівняно з контрольними зразками відзначено інтенсифікацію ферментативної активності за хронічної дії аерополютантів.

Зміна активності ферментів антиоксидантного захисту, а саме підвищення активності каталази та пероксидази, на всіх етапах розвитку дерноутворюючих трав *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv є одним із механізмів стійкості рослин до несприятливих факторів міського середовища, особливо до забруднення повітря викидами автотранспорту. Результати дослідження активності антиоксидантних ферментів в умовах посиленого антропогенного навантаження свідчать про високий ступінь адаптаційних можливостей пирію повзучого та мишію зеленого, та можуть бути використані для оцінки комплексного впливу стресових факторів на рослини в урбофітоценозах.

Висновки. У досліджуваних дерноутворюючих злаків *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv зафіксовано достовірне підвищення активності каталази та

пероксидази у вегетативних органах під впливом аерополютантів міського середовища. Найбільше зростання активності ферментів спостерігається у рослин, що зростають на територіях із підвищеним рівнем забруднення (ДМЗ), що свідчить про їхню здатність до ефективної антиоксидантної відповіді. На всіх етапах онтогенезу (віргінільний, генеративний, субсенільний) активність каталази та пероксидази у дослідних рослин перевищує контрольні значення, що вказує на збереження високого рівня захисних механізмів протягом усього онтогенезу. Максимальні значення активності ферментів фіксуються у субсенільних особин, що підкреслює важливість антиоксидантного захисту на пізніх етапах розвитку. Найбільші відмінності між контрольними та дослідними рослинами спостерігаються у листках, що може бути пов'язано з інтенсивнішим впливом аерополютантів на листову поверхню.

Встановлено, що у вегетативних органах *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv, які зазнають впливу аерополютантів, фіксували достовірне посилення активності каталази відповідно на 16-46 і 10-49 % (листки і корені) та 23-70 і 20-68 %. Це свідчить про активацію внутрішньоклітинних процесів знешкодження молекул пероксиду водню за участю даного ферменту. В ході онтогенезу зареєстровано інтенсифікацію активності пероксидази у листках і коренях досліджуваних рослин: в фазу віргінільну пирій повзучий (35 і 25 %), мишій зелений (65,5 і 50 %); в генеративну фазу пирій повзучий (35,5 і 49,5 %), мишій зелений (67,5 і 56,5 %); в субсенільну фазу пирій повзучий (46 і 38,5 %), мишій зелений (59,5 і 49 %).

Виявлені зміни активності каталази та пероксидази можуть бути використані як надійні біомаркери для оцінки рівня забруднення міського середовища та екологічної стійкості рослинних угруповань. Збільшення активності антиоксидантних ферментів є одним із ключових механізмів адаптації рослин до хронічного впливу антропогенних факторів.

Результати дослідження підтверджують доцільність використання *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv як індикаторних видів для моніторингу стану урбофітоценозів.

Література

1. Bielyk Y.V., Savosko V.M., Lykholat Y.V. Assessment of the woody plant species vital condition distributed on the devastated lands of the iron ore dump. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2021, (1), 22–27, <https://doi.org/10.37555/2707-3114.1.2021.247351>
2. Boroday Ye.S., Lykholat T.Yu., Lykholat Yu.V. Dynamics of SOD activity and accumulation of TBA-active products in the process of ontogeny of some sod-forming plants in a megalopolis. *Ecology and Noospherology* 2023, 34(2), 112–116 <https://doi.org/15421/032317>
3. Григорюк І.П., Яворовський П.П., Лихолат Ю.В. Технології вирощування і біорегуляція стійкості газонних рослин у міському урбанізованому середовищі: монографія Київ: НУБІП України. 2014, 223 с.
4. Kom Yangchen Dolma, Karthiyayini Ramaswamy, Suresh Surya Phytochemical Profiling and Antioxidant Evaluation of *Rhododendron arboreum* Sm leaf and flower: Integrative Analysis using Advanced Analytical Techniques. *Drug development and industrial pharmacy*. 2024, 50. 1 – 56 <https://doi.org/10.1080/03639045.2024.2390029>
5. Lykholat Y. L., Didur O. O., Khromykh N. O., Davydov, V. R., Borodai Y. S., Kravchuk K. V., Lykholat T. Y. Comparative analysis of the antioxidant capacity and secondary metabolites accumulation in the fruits of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and some closely related species. *Ecology and Noospherology*. 2021, 32(1), 3 – 8 <https://doi.org/10.15421/032101>
6. Лихолат Ю. В., Хроміх Н. О., Дідур О. О., Оковитий С. І., Матюха В. Л., Савосько В. М., Лихолат Т. Ю. Сучасний стан антропогенної трансформації екосистем степового Придніпров'я. Кривий Ріг: ФОР Чернявський Д.О., 2019, 146 с.
7. Savosko V., Komarova, I., Lykholat, Y., Yevtushenko, E., Lykholat T. Predictive model of heavy metals inputs to soil at Kryvyi Rih District and its use in the training for specialists in the field of Biology. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012011>

8. Спецпрактикум з фізіології та біохімії рослин. Вінниченко О.М., В. Більчук В.С., Лихолат Ю.В., Россихіна-Галича Г.С., Шупранова Л.В. Дніпропетровськ: ФОП Середняк Т. К., 2014, 224 с.
9. Sanna D., Fadda A. Role of the Hydroxyl Radical-Generating System in the Estimation of the Antioxidant Activity of Plant Extracts by Electron Paramagnetic Resonance (EPR). *Molecules*. 2022, 27, 4560 <https://doi.org/10.3390/molecules27144560>
10. Savosko V., Bielyk Y., Lykholat Y., Heilmeier H., Grygoryuk I., Khromykh N., Lykholat T. (2021). The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021, 30, <https://doi.org/153-164>. 10.15421/112114
11. Xie X., He Z., Chen N., Tang Z., Wang Q., Cai Y. The Roles of Environmental Factors in Regulation of Oxidative Stress in Plant. *Biomed Res International*. 2019, <https://doi.org/10.1155/2019/9732325>
12. Li H., Wang H., Wen W., Yang G. The antioxidant system in *Suaeda salsa* under salt stress. *Plant Signal Behaving*. 2020, 2, 15(7), 1771939 <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1771939>
13. Приседський Ю.Г., Лихолат Ю.В. Адаптація рослин до антропогенних чинників: монографія ДонНУ імені Василя Стуса. Вінниця: ТОВ "Нілан-ЛТД", 2017, 98 с.
14. Лихолат Ю. В., Лихолат Т. Ю., Квітко М. О., Бородай Є. С., Гальченко В. М. Стан та перспективи відновлення рослинного покриву на техногенних територіях. *Proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference*. Rotterdam, Netherlands. 2024, 21 – 25.
15. Kulbachko Y., Boroday Ye., Lykholat T., Lykholat Yu., Lykholat O., Kvitko M., Marenkov O., Yevtushenko E., Lykholat Y. Accumulation of heavy metals by different representatives of biota in the operation zone of the Prydniprovsk thermal power plant. 2024, 1415, 012005, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012005>
16. Kvitko M., Lykholat T., Lykholat Yu., Lykholat O, Marenkov O. Assessment of changes in the structure of the forest ecosystems for example sanitary woody plantations in the Steppe Dnipro. *Earth and Environmental Science*. 2024, 1415, 012048, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012048>
17. Wang P., Liu W.C., Han C., Wang S., Bai M.Y., Song C.P. Reactive oxygen species: Multidimensional regulators of plant adaptation to abiotic stress and development. *Journal Integr Plant Biology*. 2024, 66(3), 30-367 <https://doi.org/10.1111/jipb.13601>

References

1. Bielyk, Y.V., Savosko, V.M., & Lykholat, Y.V. (2021) Assessment of the woody plant species vital condition distributed on the devastated lands of the iron ore dump. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. (1), 22 – 27. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.1.2021.247351>
2. Boroday, Ye.S., Lykholat, T.Yu., Lykholat, Yu.V. (2023) Dynamics of SOD activity and accumulation of TBA-active products in the process of ontogeny of some sod-forming plants in a megalopolis. *Ecology and Noospherology*. 34(2), 112 – 116 <https://doi.org/10.15421/032317>
3. Hryhoriuk, I.P., Yavorovskiy, P.P., Lykholat, Yu.V. (2014) *Tekhnolohii vyroshchuvannya i biorehuliatytsii stiihosti hazonnykh roslyn u miskomu urbanizovanomu seredovyshchi: monohrafiia Kyiv: NUBIP Ukrainy [in Ukrainian]*
4. Kom, Y.D., Karthiyayini, R., Suresh, S. (2024) Phytochemical Profiling and Antioxidant Evaluation of *Rhododendron arboreum* Sm leaf and flower: Integrative Analysis using Advanced Analytical Techniques. *Drug development and industrial pharmacy*. 50, 1-56 <https://doi.org/10.1080/03639045.2024.2390029>
5. Lykholat, Y. L., Didur, O. O., Khromykh, N. O., Davydov, V. R., Borodai, Y. S., Kravchuk, K. V., Lykholat, T. Y. (2021). Comparative analysis of the antioxidant capacity and secondary metabolites accumulation in the fruits of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and some closely related species. *Ecology and Noospherology*, 32(1), 3-8 <https://doi.org/10.15421/032101> [in English]
6. Lykholat, Yu. V., Khromykh, N. O., Didur, O. O., Okovytyi, S. I., Matiukha, V. L., Savosko, V. M., Lykholat, T Yu. (2019) Suchasnyi stan antropohennoi transformatsii ekosystem stepovoho Prydniprovia. Kryvyi Rih: FOP Cherniavskiy D.O. [The current state of antropogenic transformation of the steppe Pridnestrovie] [in Ukrainian]

7. Savosko, V., Komarova, I., Lykholat, Yu., Yevtushenko, E., Lykholat, T. (2021) Predictive model of heavy metals inputs to soil at Kryvyi Rih District and its use in the training for specialists in the field of Biology. *Journal of Physics: Conference Series*. 1840, 012011, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012011>
8. Spetspraktikum z fiziologii ta biokhunii roslyn. (2014). Vinnychenko O.M., Bilchuk, B.V., Lykholat, Yu.V., Rossykhina-Halycha, H.S., Shupranova, L.V. Dnipropetrovsk: FOP Seredniak T. K., 224 s. [Special workshop on plant physiology and biochemistry][in Ukrainian]
9. Sanna, D., Fadda, A. (2022) Role of the Hydroxyl Radical-Generating System in the Estimation of the Antioxidant Activity of Plant Extracts by Electron Paramagnetic Resonance (EPR). *Molecules*. 27, 4560 <https://doi.org/10.3390/molecules27144560>
10. Savosko, V., Bielyk, Yu., Lykholat, Yu., Heilmeier, H., Grygoryuk, I., Khromykh, N., Lykholat, T. (2021) The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 30. 153-164 <https://doi.org/10.15421/112114>
11. Xie, X., He, Z., Chen, N., Tang, Z., Wang, Q., Cai, Y. (2019) The Roles of Environmental Factors in Regulation of Oxidative Stress in Plant. *Biomed Res Int*. 9732325 <https://doi.org/10.1155/2019/9732325>
12. Li, H., Wang, H., Wen, W., Yang, G. (2020) The antioxidant system in *Suaeda salsa* under salt stress. *Plant Signal Behaving*. 15(7), 1771939 <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1771939>
13. Prysedskyi, Yu.H., Lykholat, Yu.,V. (2017) Adaptatsiia roslyn do antropohennykh chynnykiv: monohrafiia DonNU imeni Vasylia Stusa. Vinnytsia: TOV "Nilan-LTD", 2017, 98 s [Adaption of plants to Antropogenic factors: Monograf by Vasyl Stus, Donetsk National University. Vinnitsia] [in Ukrainian]
14. Lykholat, Yu.V., Lykholat, T.Yu., Kvitko, M.O., Borodai, Ye.S., Halchenko, V.M. (2024) Stan ta perspektyvy vidnovlennia roslynnoho pokryvu na tekhnohennykh terytoriakh. *Proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference*. Netherlands. 21-25 [The state and prospect of vegetation restoration in man-made area] [in Ukrainian]
15. Kulbachko, Y., Boroday, Ye., Lykholat, T., Lykholat, Yu., Lykholat, O. Kvitko, M., Marenkov, O., Yevtushenko, E. (2024) Accumulation of heavy metals by different representatives of biota in the operation zone of the Prydniprovsk thermal power plant. *Earth and Environmental Science*. 141, 012005, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012005>
16. Kvitko, M., Lykholat, T., Lykholat, Yu., Lykholat, O., Marenkov, O. (2024) Assessment of changes in the structure of the forest ecosystems for example sanitary woody plantations in the Steppe Dnipro. *Earth and Environmental Science*. 1415, 012048, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012048>
17. Wang, P., Liu, W.C., Han, C., Wang, S., Bai, M.Y., Song, C.P. (2024) Reactive oxygen species: Multidimensional regulators of plant adaptation to abiotic stress and development. *Journal Integr Plant Biology*. 66(3), 330-367 <https://doi.org/10.1111/jipb.13601>

Boroday Y.

Postgraduate student at the Department of
Plant Physiology and Introduction,
Oles Honchar Dnipro National University
e-boroday@ukr.net
orsid.org/0009-0007-4732-444X

Lykholat Y.

Doctor of Biological Sciences, Professor of
the Department of Plant Physiology and Introduction
Oles Honchar Dnipro National University
lykholat2006@ukr.net
orsid.org/0000-0003-3354-8251

**INFLUENCE OF AEROPOLLUTANS OF ATTRACTANT TERRITOTIES
ON THE ACTIVITY OF ANTIOXIDANT ENZYMES
OF VEGETATIVE ORGANS OF DEGRADING GRASSES**

*Phytocenoses of urban areas and industrial zones are chronically affected by air pollutants, a significant part of which is emissions from motor vehicles. Sod-forming plant species are an integral and important component of urbophytocenoses, therefore it is important to study the stability and adaptive potential of these species in the conditions of the urban environment. Under conditions of air pollution, the metabolic reactions of the plant organism are disrupted, plants are exposed to oxidative stress, therefore, in response, the antioxidant enzyme system is activated, in particular catalase and peroxidase, which neutralize reactive oxygen species. The aim of the study was to determine the activity of catalase and peroxidase in the vegetative organs of sod-forming grasses at different stages of ontogenesis under the influence of air pollution in the urban environment in the city of Dnipro. The objects of research were couch grass (*Elytrigia répens* (L.) Nevski.) and green foxtail (*Setaria viridis* (L.) Beauv.). It was established that in the sod-forming plants *Elytrigia répens* and *Setaria viridis*, a significant increase in the activity of catalase and peroxidase was observed in vegetative organs under the influence of air pollutants compared to the control in both leaves and roots. *Elytrigia répens* catalase activity increased by 16-46 % in leaves and by 10-49 % in roots. An increase in peroxidase activity was observed at all stages of ontogenesis, but the highest values were recorded at the subsenile stage, 46% in leaves and 38.5% in roots. For the *Setaria viridis*, there was also an increase in the activity of enzymes in the experimental areas, catalase by 23-70% in leaves and 20-68% in roots, and a significant increase in peroxidase activity in all phases of development, especially in the generative phase by 67.5% and 56.5%, respectively, in leaves and roots. Indicators of catalase and peroxidase activity are important for monitoring the state of sod-forming plants under stressful conditions and their resistance to the effects of air pollution in the urban environment.*

*The maximum enzyme activity values are recorded in subsenile individuals, which emphasises the importance of antioxidant protection in the later stages of development. The greatest differences between control and experimental plants are observed in the leaves, which may be due to the more intense impact of air pollutants on the leaf surface. The results of the study confirm the feasibility of using *Elytrigia repens* (L.) Nevski and *Setaria viridis* (L.) Beauv as indicator species for monitoring the state of urban phytocenoses. Key words: sod-forming grasses, *Elytrigia répens*, *Setaria viridis*, antioxidant system, catalase, peroxidase, air pollutants.*

**Стаття до редакції надійшла 03.09.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 18.09.2025 року**

UDC 575.1:575.2:576.5:581.133.1

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-44-52

Bronnikova L.

Postgraduate student,
Department of Plant Physiology and Introduction
Oles Honchar Dnipro National University
Junior Research Fellow
Institute of Plant Physiology and Genetics,
National Academy of Sciences of Ukraine
Zlenko_lora@ukr.net
orsid.org/0000-0002-8103-0548

Khomenko L.

Candidate of Agricultural Sciences
Senior Research Fellow
Department of Plant Genetic Improvement
Institute of Plant Physiology and Genetics,
National Academy of Sciences of Ukraine
Lidole@ukr.net
orsid.org/0000-0002-3776-6208

Dikun M.

Category 1 Engineer
Grain Quality Laboratory
Institute of Plant Physiology and Genetics,
National Academy of Sciences of Ukraine
Mariadykun@gmail.com
orsid.org/0000-0003-4187-0865

**WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) CELL CULTURES
AS A MODEL SYSTEM FOR STUDYING**

Random changes, especially stress, cause plants to undergo significant metabolic and structural modifications. Most of these are adaptive responses that make the organism more suited to new conditions. Salinisation is the most harmful abiotic stress. In the case of severe stress, the effectiveness of the genotype's vital functions becomes apparent over a long period of time. Cell culture allows us to avoid problems: physiological, biochemical, and other changes that occurred due to the stressor. The aim of this study was to analyse the content of free proline and protein in different cell cultures of wheat varieties subjected to prolonged osmotic stress. However, the accumulation of this osmolyte alone cannot serve as an indicator of successful adaptation. Under conditions of severe stress, which significantly limits the availability of external trophic and energy resources, proline can act as a reserve source of nitrogen and carbon. Therefore, the Pro pool in cells subjected to prolonged stress can change significantly. When studying the dynamics of changes in wheat plants, we found that the level of proline in callus cells in the Volodarka variety decreased as stress pressure increased, and the synchronous decrease in amino acid content during prolonged salt stress in the Zolotokolos and Smuglyanka varieties was $18.3 \pm 3.4\%$ and $21.4 \pm 4.6\%$, respectively. In wheat, reserve proteins (gliadin and glutenin) belong to this category of proteins. In wheat grains, they account for 75-85% of the total protein composition; the gliadin/glutenin ratio depends on the specific variety or genotype of the plant. In addition, these proteins are rich in arginine and glutamine. The remaining part of the endosperm proteins consists of albumins and globulins, many of which have enzymatic activity. We observed a significant depletion of the protein pool, independent of the type of salinity. Since glutenin is also enriched with proline, the increase in the content of this amino acid in cells during salinisation could be

the result of their hydrolysis. Indirect evidence of this may be the decrease in osmolyte content on the 25th day. The progressive decline in glutenin reserves led to a decrease in proline.

Key words: salinisation, proline, protein, winter wheat, cell selection.

Introduction. For successful life activity, plants, as attached organisms, must continuously adapt to dynamic (often critical) environmental factors. Changes (deterioration) in living conditions are no longer local problems; they have become global. They also affect Ukraine [2, 15]. The forecasts are not encouraging. Natural abiotic stresses are significantly modified/intensified by the introduction of by-products of industrial activity. Local changes in the environment are becoming ecological disasters. There is a growing need for forms that are characterised by a high level of complex resistance to abiotic stresses. In this regard, there is a need to improve biological technologies aimed at obtaining resistant (adaptive) genotypes [4, 5].

A special place in the development of this problem is occupied by It is and will remain the main component of the diet of most of the world's population. Significant human and material resources are spent on obtaining wheat varieties with improved stress resistance, yield and grain quality. It is obvious that macrostructural changes, as well as general integral indicators (growth, productivity), depend on the activity of cellular physiological and biochemical reactions [2, 15]. Wheat is also a valuable food product for humans, can be used as animal feed, is processed in the production of starch and ethanol, and is of interest as a potential source of technical biofuel. Areas of genetic improvement of wheat grain quality cover all of the above-mentioned industries.

In addition to scientific development, other pressing issues are also included, namely: resistance to biotic and abiotic stresses [3, 14].

In vitro culture provides unique opportunities for studying cellular-level reactions. The approaches used in this process will allow for the selection of cells with altered metabolism. Such cell variants can become the starting material for the search and isolation of genes associated with specific sections of metabolic chains. They will be the subject of further manipulations aimed at obtaining regenerants [15, 16]. It is extremely important to conduct a comparative study of the cell line and the regenerant plant, which will reveal the expression of the new characteristic in the whole plant. This will allow the polymorphism of new forms to be identified, primarily by adaptive traits [17, 18].

Optimisation of the standard protocol is ensured by continuous dynamic monitoring of cell metabolism. When studying the dynamics of changes in free proline and protein in wheat varieties, we found that under stressful conditions, some of these substances are first transferred to the tissues that are directly affected by the stressor. In our opinion, such a redistribution of the protective compound may contribute to the prolongation of the viability of genotypes. Cell culture excludes this physiological reaction. In this case, the level of proline and protein is the result of the interaction of the synthesis, transport and catabolism systems.

The aim of this study was to analyse the content of free proline and protein in different cell cultures of wheat varieties subjected to prolonged osmotic stress. Methods and materials. For the study, wheat varieties selected by the Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Volodarka, Smuglyanka, Zolotokolosa, which are included in the National Register of Variety Standards [19], were selected. Callus was induced from sterile plant sprouts, which was grown over 4 passages to obtain the required amount of biomass on Hamburg B5 medium [20]. In the experiment, the callus was exposed to sulphate-chloride (sea water salt) and sulphate salting at a concentration of 20.0 g/l. According to the literature [14-16], this concentration creates severe salt stress. The resulting callus was divided vertically and transferred to a fresh medium in equal parts. The variants were kept under salinity conditions during a standard

passage (30 days). During this time, under normal conditions, cell cultures go through all stages of development.

The proline content was determined using a standard method [7]. Protein was determined using the Lowry method [8]. The data were obtained in three replicates, and statistical processing was performed using standard methods of variational statistics with the use of Microsoft Excel. The difference between the data was considered significant at $p \leq 0.05$.

Results and discussion. The *in vitro* system ensures standardisation of cultivation conditions. Under severe stress, both physiological and genetic responses of the studied organism are revealed. This makes it possible to distinguish between general and specific characteristics of the organism. A convenient criterion is the amino acid proline (Pro) [1, 13].

Diagram 1 shows the levels of free Pro in cell cultures of wheat of different genotypes, measured on the 15th day of the experiment. By this time, under normal conditions, the culture is in a stage of stationary growth, when genotypic characteristics are maximally revealed. Under unfavourable conditions, physiological adaptation reactions may occur during this time, rather than primary stress-induced responses.

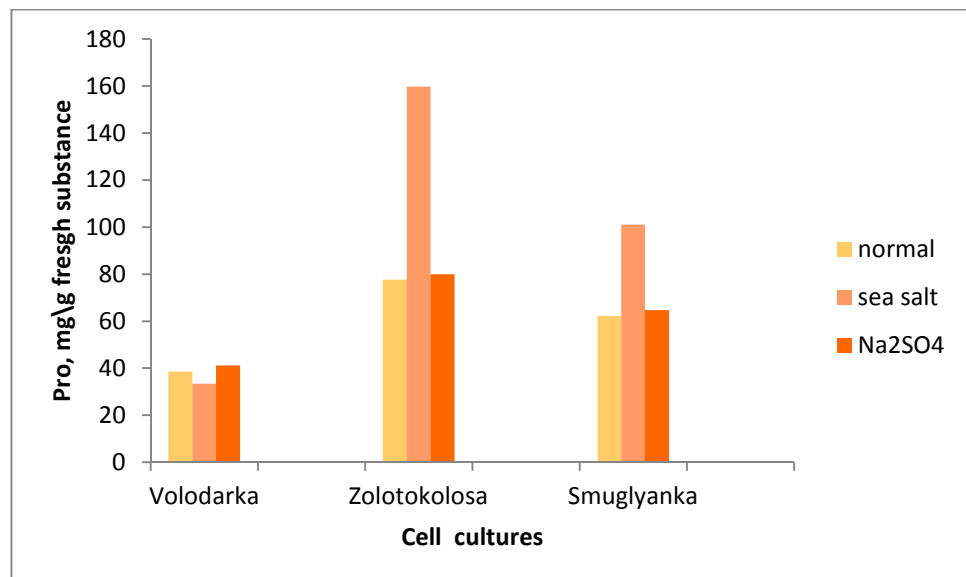


Fig. 1. Free proline content in cell cultures of Volodarka, Zolotokolos and Smuglyanka wheat varieties cultivated under normal conditions and under salt stress.

The diagram shows that the level of amino acids in cells decreased as stress pressure increased. At the same time, the type of salinity did not affect the decrease. In both cases, the decrease was ~ 20 %. A similar effect was observed in other genotypes. The synchronous decrease in amino acid content during prolonged salt stress in the Zolotokolos and Smuglyanka varieties was 18.3 ± 3.4 % and 21.4 ± 4.6 %, respectively. Salinisation is one of the most aggressive stress factors, as its damaging effect is the result of the combination of osmotic, ionic and oxidative stresses. The accumulation of free Pro in cells is aimed at compensating for pathological changes [6, 10, 11]. However, the accumulation of this osmolite alone cannot serve as an indicator of successful adaptation. Under conditions of severe stress, which significantly limits the availability of external trophic and energy resources, proline can act as a reserve source of nitrogen and carbon. Therefore, the Pro pool in cells exposed to prolonged stress can change significantly.

Figure 2 shows the free Pro content in wheat culture cells (genotype Volodarka) at the initial and final stages of testing on a salt background.

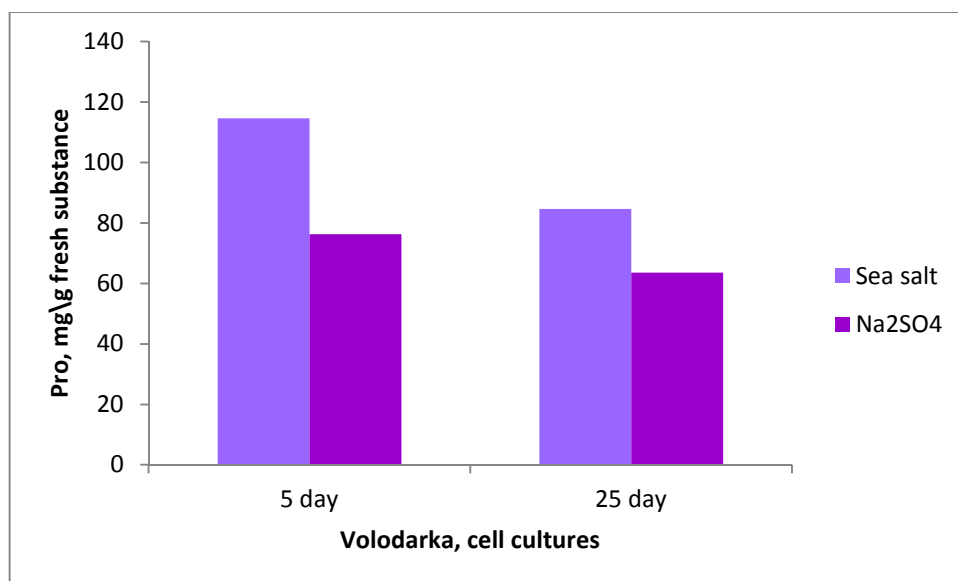


Fig. 2. Free proline content in callus cells of Volodarka wheat variety cultivated under salt stress

Other authors who have studied this parameter also point to the priority of dynamic indicators [9, 12]. Thus, in callus cultures of barley of a number of salt-tolerant genotypes, the amino acid content in cells increased, stabilised, or decreased with increasing cultivation duration. The author believes that this is how the proline-forming ability of genotypes is realised. In our opinion, a high level of cellular Pro does not guarantee the viability of the organism, since its accumulation can occur not only as a result of increased synthesis, but also as a result of the degradation of proline-enriched proteins [1, 16].

In wheat, reserve proteins (gliadin and glutenin) belong to this category of proteins. In wheat grains, they account for 75-85% of the total protein composition; the gliadin/glutenin ratio depends on the specific variety or genotype of the plant. In addition, these proteins are rich in arginine and glutamine. The remaining part of the endosperm proteins consists of albumins and globulins, many of which have enzymatic activity. However, viable cell culture differs qualitatively from grain. Under normal conditions, callus biomass increases as a result of active dynamic metabolism. Under severe stress (salinisation), metabolism decreases, and prolonged exposure may result in cell death due to the destruction of cell structures [13, 17, 18].

Since the experiment showed that callus cultivation on a salt medium was accompanied by an increase in Pro content, electrophoresis of gliadin and glutenin fractions was performed as possible sources of amino acids. The analysis revealed a number of phenomena. First, the extract lacked the gliadin fraction, which, at first glance, could indicate their hydrolysis.

Gliadin, especially ω -gliadin, consists almost entirely of repeating glutamine and proline residues [18]. However, from our point of view, this was a reflection of the properties (reactions) of the cell culture as a research object, since it was observed regardless of genotype and cultivation conditions. The influence of the *in vitro* system, which affects the nature of intracellular metabolism, cannot be ruled out either. In any case, according to our assumption, this event was not the cause of the increase in proline levels. Electrophoretic analysis of glutenins was also performed. Figure 3 shows the culture indicators on the 25th day.

A significant depletion of the protein pool was observed, regardless of the type of salinity. Since glutenins are also enriched with proline, the increase in the content of this amino acid in cells during salinity could be a consequence of their hydrolysis. Indirect evidence of this may be the decrease in osmolyte content on day 25.

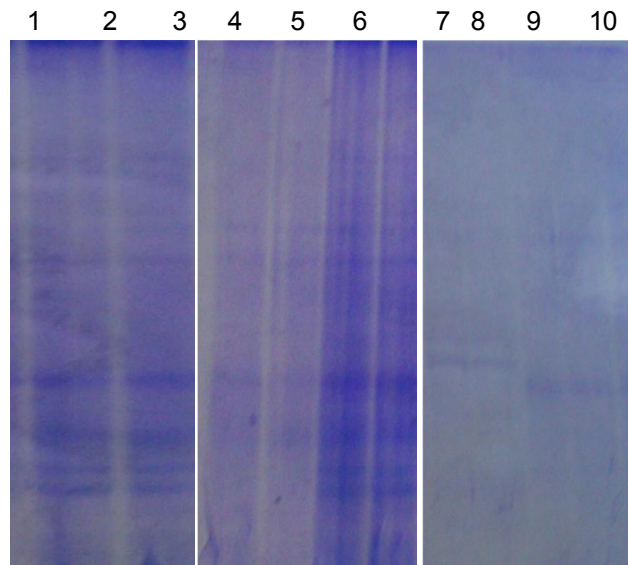


Fig. 3. Electrophoresis of wheat callus glutenin fractions; 25th day; 1,2 – Volodarka genotype; 3,4 – Zolotokolos genotype; 5-10 – Smuglyanka genotype; 1 – 6 normal conditions; 7,8 – sea water salts; 9,10 – sodium sulphate

The progressive decline in glutenin reserves led to a decrease in proline. The response of a cell culture to prolonged exposure to any stress can be manifested both in the form of stress-induced pathologies and in reactions associated with maintaining the viability of the system. In our case, in wheat culture, salinisation caused synchronous events of proline content increase and a decrease in the total glutenin pool. This phenomenon is also characteristic of intact plants; such targeted metabolism ensures the stress resistance of young seedlings. In wheat cell culture subjected to prolonged exposure to salt, the consumption of reserve proteins ensures the protection/preservation of physiologically necessary cell compartments. Thus, in our opinion, the observed reactions were a manifestation of the culture's adaptation to stressful conditions. This was evidenced by the resumption of callus growth when transferred to normal conditions in the next passage. However, the relative increase in callus biomass (a classic indicator of cell culture growth and development) in this case was significantly lower than that recorded for cells that did not experience stress. This may support the assumption that further continuation of the stress exposure could have led to a lethal outcome.

Conclusions. Testing of cell cultures of the wheat varieties we studied, obtained from varieties under conditions of prolonged salinisation, showed dynamic development of proline and protein in the adaptive responses of the cell population.

Література

1. Сергеева Л.Є., Михальська С.І., Курчій В.М., Тищенко О.М. Вміст вільного проліну в проростках кукурудзи як показник швидких реакцій на дію летальних осмотичних стресів *in vitro*. *Фізіологія рослин і генетика*. 2015. Т.47. № 6, С. 491-496
2. Сидоренко М.В., Чеботар С.В. Вплив посухи на пшеницю на різних стадіях росту. *Вісник Одеського національного університету. Серія Біологія*. 2025. Т.1. №4 6, С.67 – 87 [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2020.1\(46\).205848](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2020.1(46).205848)
3. Моргун В.В., Дубровна О.В., Моргун Б.В. Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т.48. №3, С.196 – 214 <https://doi.org/10.15407/frg2016.04.196>
4. Писаренко В.П., Мішугова Л.С. Водоспоживання пшениці. *Аграрні інновації*. 2020. Вип. 1, С.10 – 22 <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2020.1.10>
5. Колупаєв Ю.Є., Тарабан Д.А., Карпець Ю.В., Макаова Б.Є., Рябчун Н.І., Дяченко А.І., Дмитрієв О.П. Індукування меланоніном клітинних захистних реакцій *Triticum aestivum*

і *Secale cereale* на дію високих температур. Цитологія і генетика. 2023. Т.57. №2, С.3 – 14 <https://doi.org/10.3103/S0095452723020068>

6. Колупаєв Ю.Є., Шкляревський М.А. Накопичення проліну у вегетативних органах *Triticum aestivum* (Роаса) за умов посухи на ранніх фазах розвитку: мета-аналіз даних. Український ботанічний журнал. 2025. Т.82. № 4, С.277 – 290 <https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.04.277>

7. Umumararungu T., Gahamanyi N., Mukiza L., Habarurema G., Katandula J., Rugamba A., Kagisha V. Proline, a unique amino acid whose polimer, poliproline II helix, end its analogues are involved in many biological processes: a review. Amino Acid. 2024. V. 56. I.1, P.50 <https://doi.org/10.1007/s00726-024-03410-9>

8. Tang J., Yao D., Xia S., Cheong L., Maolin T. Recent progress in plant – based proteins: from extraction and modification methods to applications in the food industry. Food Chemistry: X. 2024. V. 23, P.101540 <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101540>

9. Urminska D., Wojnanska T., Chnapek M., Urminska J., Vollmannova A., Hauptvogel P. Triticum aestivum as a source of nutritionally valuable proteins and essential for human nutrition. Journal of Central European Agricultural. 2024. V. 25. I. 4, P.1088 – 1097 <https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.4.4337>

10. Pagnotta M.A. Molecular breeding of abiotic stress tolerance in crops: recent developments and future prospective. International Journal Molecular Science. 2025. Volume 26. Issue 18, P. 9164 <https://doi.org/10.3390/ijms26189164>

11. Ahmed M.A. Physiological effect of salt stress on plant growth. Tikrit Journal for Agricultural Science. 2022. V. 22, I. 3, P.93 – 97 <https://doi.org/10.25130/tjas.22.3.11>

12. Cao H., Duncan O., Millar A.H. Protein turnover in the developing *Triticum aestivum* grain. New Phytology. 2022. V.233, I. 3, P.1188 – 1201 <https://doi.org/10.1111/17756>

13. Сергеева Л.Є., Курчій В.М., Броннікова Л.І. Сумісні осмоліти пролін та сахароза в експериментальних рослин тютюну за дії летального водного стресу. Фізіологія рослин і генетика. 2016. Т.48.№5, С.444 – 449 <https://doi.org/10.15407/frg2016.05.444>

14. Sergeeva L.E., Mykhalska S.I. Cell selection wuth heavy metal ions for obtaining salt tolerant plant cell cultures. Фізіологія рослин і генетика. 2019, Т.51, № 4, С.315 – 323 <https://doi.org/10.15407/frg2019.04.315>

15. Комісаренко А.Г., Михальська С.І. Дослідження солестійкості генетично модифікованих рослин пшениці з додатковою копією гена орнітин – Δ – амінотрансферази. Фактори експериментальної еволюції організмів. 2024. Т.34, С. 181 – 186 <https://doi.org/10.7124/FEEO.v34.1636>

16. Sghayar S., Debez A., Lucchini G., Abruzzese A., Zorrin W., Negrini N., Morgutti S., Abdelly C., G. Attilio Sacchi, Pecchioni N., Vaccino P. Seed priming mitigates high salinity impact on germination of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving carbohydrate and protein mobilization. Plant Direct. 2023. V.7, I.6, P.e497 <https://doi.org/10.1002/pld3.497>

17. Назаренко М.М. Особливості адаптації пшениці м'якої на різних рівнях організації до дії екогенетичних чинників. Монографія. 2018. ДДАЕУ, Дніпро, 304 с.

18. Макаова Б.Є., Тищенко В.М. Аналіз фізіологічних механізмів адаптації та стійкості сортів озимої пшениці різного географічного походження. Селекція та насінництво. 2023. Т. 123, С.33 – 41 <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2023.283654>

19. Державний Реєстр Сортів Рослин <https://data.gov.ua/dataset/ccf95f4a-8238-4b18-a4d3-002444876325>

20. Gamborg J.L., Miller, R.A., Ojima, K. (1968) Nutrient requirement of suspension cultures of soybean roots. Exploure Cell Responses, 509, 151-158.

References

1. Sergeeva, L.Ye., Myhalska, S.I., Kurchiy, V.M., Tyschenko, O.M. (2015) Vmist vilnogo proline v prorostkah kukuruzy yak pokaznyk shvydkykh reakciy na diyu letalnyh osmotychnykh stresiv *in vitro*. Fiziologiya Roslyn i genetyka. 47(6), 491-496 [Free proline content in corn seedlings as an indicator of rapid responses to lethal osmotic stresses *in vitro*] [in Ukraine]

2. Sydorenko, M.V., Chebotar, S.V. (2025) Vplyv posuhy na phenyцу na riznykh stadiyah rostu. Visnyk Odeskogo nacionalnogo universytetu. Seriya Biologiya. 1(46), 67 – 87 [The impact

- of drought on wheat at different stages of growth] [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2020.1\(46\).205848](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2020.1(46).205848) [in Ukraine]
3. Morgun, V.V., Dubrovna, O.V., Morgun, B.V. (2016) Suchasni biotehnologii otrymannya styykih do stresiv roslin phenicy. *Fiziologiya roslin i genetyka*. 48(3), 196 – 214 [Modern biotechnologies for obtaining stress-resistant wheat plants] <https://doi.org/10.15407/frg2016.04.196> [in Ukraine]
 4. Pisarenko, V.P., Mishugova, L.S. (2020) Vodospozhivannya pshenici. *Agrami inivacii*. 1.10 – 22 [Water consumption of wheat] <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2020.1.10> [in Ukraine]
 5. Kolupaev, Yu.Ye., Taraban, D.A., Karpetz, Yu.V., Makaova, B.Ye., Ryabchun, N.I., Dyachenko, A.I. Dmitriev, O.P. (2023) Indukuvannya melanoninom klitinnyh zahistnyh reakciy *Triticum aestivum* i *Secale cereale* na diyu vysokoyh temperatur. *Cytologiya i genetyca*. [Induction of cellular defence responses in *Triticum aestivum* and *Secale cereale* by melanoin in response to high temperatures] 57(2), 3 – 14 <https://doi.org/10.3103/S0095452723020068> [in English]
 6. Kolupaev, Yu.Ye., Shklyarevskiy, M.A. (2025) Nakopychennya proliny u vegetatyvnyh organah *Triticum aestivum* (*Poace*) za umov posuhi na rannih fazah rozvitku: meta – analiz danyh. *Ukrais'kiy botanichnyy zhurnal*. 82(4), 277 – 290 [Accumulation of proline in vegetative organs of *Triticum aestivum* (*Poace*) under drought conditions in early stages of development: meta-analysis of data] <https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.04.277> [in Ukraine]
 7. Umumarungu, T., Gahamanyi, N., Mukiza, L., Habarurema, G., Katandula, J., Rugamba, A., Kagisha, V. (2024) Proline, a unique amino acid whose polimer, poliprolin II helix, end its analogues are involved in many biological processes: a review. *Amino Acid*. 56(1), P.50 <https://doi.org/10.1007/s00726-024-03410-9>
 8. Tang, J., Yao, D., Xia, S., Cheong, L., Maolin, T. (2024) Recent progress in plant – based proteins: from extraction and modification methods to applications in the food industry. *Food Chemistry: X*. 23, 101540 <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101540>
 9. Urminska, D., Bojnanska, T., Chnapek, M., Urminska, J., Vollmannova, A., Hauptvogel, P. (2024) *Triticum aestivum* as a source of nutritionally valuable proteins and essential for human nutrition. *Journal of Central European Agricultural*. 25(4), 1088 – 1097 <https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.4.4337>
 10. Pagnotta, M.A. (2025) Molecular breeding of abiotic stress tolerance in crops: recent developments and future prospective. *International Journal Molecular Science*. 26(18), 9164 <https://doi.org/10.3390/ijms26189164>
 11. Ahmed, M.A. (2022) Physiological effect of salt stress on plant growth. *Tikrit Journal for Agricultural Science*. 22(3), 93 – 97 <https://doi.org/10.25130/tjas.22.3.11>
 12. Cao, H., Duncan, O., Millar, A.H. (2022) Protein turnover in the developing *Triticum aestivum* grain. *New Phytology*. 233(3), 1188 – 1201 <https://doi.org/10.1111/17756>
 13. Sergeeva, L.Ye., Kurchii, V.M., Bronnikova, L.I. (2016) Sumisni osmolity prolin ta saharoza v eksperimentalnih roslin tyutyunu za dii letalnoho vodnogo stresu. *Fiziologiya Roslyn i genetyka*. 48(5), 444 – 449 [Compatible osmolytes proline and sucrose in experimental tobacco plants under lethal water stress] <https://doi.org/10.15407/frg2016.05.444> [in Ukraine]
 14. Sergeeva, L.E., Mykhalska, S.I. (2019) Cell selection wuth heavy metal ions for obtaining salt tolerant plant cell cultures. *Physiology and genetics*. 51(4), 315 – 323 <https://doi.org/10.15407/frg2019.04.315>
 15. Komisarenko, A.G., Mihalska, S.I. (2024) Doslidzhennya solestiykosty genetichno modifitsirovanih roslin pshenici z dodatkovoyu kopieyu gena ornitin – Δ – aminotransferazy. *Faktory eksperimentalnoi evolucii organizmiv*. 34, 181 – 186 [Study of salt tolerance in genetically modified wheat plants with an additional copy of the ornithine- Δ -aminotransferase gene. Factors of experimental evolution of organisms] <https://doi.org/10.7124/FEEO.v34.1636> [in Ukraine]
 16. Sghayar, S., Debez, A., Lucchini, G., Abruzzese, A., Zorin, W., Negrini, N., Morgutti, S., Abdelly, C., Attilio Sacchi Pecchioni, N., Vaccino, P. (2023) Seed priming mitigates high salinity impact on germination of bread wheat (*T. aestivum* L.) by improving carbohydrate and protein mobilization. *Plant Direct*. 7(6), e497 <https://doi.org/10.1002/pld3.497>
 17. Nazarenko, M.M. (2018) Osoblivosti adaptacii pshenici mykoi na raznih rivnyah organizacii do dii ecogenetychnih chynniv. *Monografiya*. [Features of soft wheat adaptation at

different levels of organisation to the action of ecogenetic factors. Monograph] DDAEU, Dnipro, 304 с. [in Ukraine]

18. Makaova, B.Ye., Tishchenko, V.M. (2023) Analiz fiziologichnih mehanizmiv adaptacii ta stiykosti sortiv ozimoi pshenici riznogo geografichnogo pjhdzennya. Selekcija ta nasinnictvo. 123, 33 – 41 [Analysis of physiological mechanisms of adaptation and resistance of winter wheat varieties of different geographical origins] <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2023.283654> [in Ukraine]

19. Derzhavniy reyestr sortiv roslyin [State Register of Plant Varieties] <https://data.gov.ua/dataset/ccf95f4a-8238-4b18-a4d3-002444876325> [in Ukraine]

20. Gamborg, J.L., Miller, R.A., Ojima, K. (1968) Nutrient requirement of suspension cultures of soybean roots. Exploure Cell Responses, 509, 151-158.

Броннікова Л. І.

аспірантка, кафедра фізіології рослин та інтродукції
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
молодший науковий співробітник
Інститут фізіології рослин та генетики,
Національна академія наук України
Zlenko_lora@ukr.net
orsid.org/0000-0002-8103-0548

Хоменко Л. О.

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
відділ генетичного вдосконалення рослин
Інститут фізіології рослин та генетики,
Національна академія наук України
Lidole@ukr.net
orsid.org/0000-0002-3776-6208

Дікун М. О.

інженер 1 категорії
лабораторія якості зерна
Інститут фізіології рослин та генетики,
Національна академія наук України
Mariadykun@gmail.com
orsid.org/0000-0003-4187-0865

КЛІТИННІ КУЛЬТУРИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ (TRITICUM AESTIVUM L.) ЯК МОДЕЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МЕТАБОЛІЗМУ ІНДИКАТОРІВ

Випадкові зміни, особливо стреси рослини демонструють істотні метаболічні та структурні модифікації. Переважна їх частина є адаптивними реакціями, які роблять організм більш пристосованим до нових умов. Засолення є найбільш шкочинними абіотичними стресами. У випадку дії жорсткого стресу ефективність життєдіяльності генотипу стає очевидною через тривалий проміжок часу. Клітинна культура дозволяє уникнути проблем: фізіологічні, біохімічні, та інші зміни, які відбулись на дію стресора. Метою даного дослідження був аналіз вмісту вільного проліну та білку у різних клітинних культур сортів пшениці, які піддавали тривалим осмотичним стресам. Однак, накопичення даного осмоліта, саме по собі, ще не може служити показником успішної адаптації. В умовах жорсткого стресу, істотно обмежує доступність зовнішніх трофічних і енергетичних ресурсів, пролін може виступати резервним джерелом азоту і вуглецю. Тому пул Pro в клітинах, що піддаються дії тривалого стресу, може істотно змінюватися.

При дослідженні динаміки змін в рослинах пшениці ми встановили, що рівень проліну в клітинах калюсу у сорту Володарка знизився в процесі посилення стресового тиску, а синхронне спадання змісту амінокислоти при тривалому сольовому стресі у культури сортів Золотоколоса та Смуглянка склало, відповідно $18,3 \pm 3,4\%$ і $21,4 \pm 4,6\%$.

У пшениці, до категорії таких протеїнів відносяться запасні білки (гліадин і глютенін). У зерні пшениці вони становлять 75-85% загального протеїнового складу; при цьому співвідношення гліадин/глютенін залежить від конкретного сорту чи генотипу рослини. Крім того, ці білки багаті аргініном і глутаміном. Частина, що залишилася білків ендосперму доводиться на альбуміни і глобуліни, багато з яких мають ферментної активності.

Нами спостерігалось істотне виснаження білкового пулу, незалежне від типу засолення. Так як глютенін також збагачені проліном, то зростання вмісту цієї амінокислоти в клітинах при засоленні могло бути наслідком їх гідролізу. Непрямим свідченням може бути зниження змісту осмоліту на 25-у добу. Прогресуюча спад резерву глютенінів приводила до зменшення проліна.

Ключові слова: засолення, пролін, протеїн, пшениця озима, клітинна селекція.

Стаття надійшла 04.09.2025 року
Рецензія надійшла 17.09.2025 року

БІОХІМІЯ

УДК 616.12-009.72:678.048
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-53-61

Гавій Т. А.

аспірантка кафедри біології,
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
tanyag2000@ukr.net
orcid.org/0000-0009-0001-5001-262X

ПОКАЗНИКИ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ ТА РОЗВИТКУ ЗАПАЛЬНОЇ РЕКЦІЇ ПРИ ХРОНІЧНІЙ СЕРЦЕВІЙ НЕДОСТАТНОСТІ

На сьогодні захворювання серцево-судинної системи займають провідну позицію серед причин смертності. Хронічна серцева недостатність (ХСН) є поширеним наслідком кардіометаболічних захворювань і значним фактором ризику смертності від серцево-судинних патологій. Це захворювання характеризується хронічним запальним процесом. Однак хронічні запальні стани, що спостерігаються при ХСН, можуть впливати на склад і загальні функції антиоксидантної системи крові. У пацієнтів з ХСН в стадії декомпенсації спостерігається значне зниження активності параоксонази-1 на 62,5 % у порівнянні з контрольною групою в стадії, що призводить до накопичення окиснених ліпопротеїнів низької щільності і підвищення продуктів перекисного окиснення ліпідів. Активність мієлопероксидази в крові пацієнтів з ХСН в стадіях декомпенсації та компенсації зросла у 1,5 разів у порівнянні з контрольною групою, що порушує зв'язок з ферментом і ліпопротеїнами високої щільності. Зміни в активності параоксонази-1 і мієлопероксидази можуть бути предикторами запальної реакції та атеросклеротичного процесу, а також допомагати в оцінці ефективності лікування. Дослідження показало, що вміст церулоплазміну в крові пацієнтів з декомпенсованою ХСН знизився на 15,9%, а у пацієнтів з ХСН в стадії компенсації на 16,6% в порівнянні з контрольною групою, що вказує на його роль у патогенезі серцевої недостатності. Водночас, вміст С-реактивного протеїна у пацієнтів з декомпенсованою ХСН значно підвищений (у 1,5 разів) порівняно з контрольною групою, що свідчить про активне запалення в серцево-судинній системі. Вміст відновленого глутатіону в крові у пацієнтів з ХСН в стадії декомпенсації знизилась на 23,4%, а в пацієнтів з ХСН в стадії компенсації – на 18,9% порівняно з контрольною групою, що свідчить про наявність запалення, а також спостерігається підвищення оксидативного стресу через збільшення активних форм кисню. Показники ШОЕ в крові жінок, хворих на ХСН в стадії компенсації та декомпенсації знаходяться в межах референтних значень. Показники кількості лейкоцитів в крові пацієнтів з ХСН в стадії декомпенсації та компенсації, також, знаходяться в межах референтних значень.

***Ключові слова:** хронічна серцева недостатність, відновний глутатіон, парокси-наза-1, мієлопероксидаза, церулоплазмін, С-реактивний протеїн.*

Вступ. Хронічна серцева недостатність (ХСН) має значне соціальне значення через високу поширеність серед населення, що зростає з віком, а також через

несприятливий прогноз і значні економічні витрати на лікування. За даними національних реєстрів європейських країн, поширеність ХСН серед дорослих коливається від 1 до 5%, а серед осіб старше 65 років досягає 10% [1]. Незважаючи на досягнення в лікуванні, рівень захворюваності та смертності залишається високим: близько 80% чоловіків і 70% жінок помирають протягом 8 років після первинного діагнозу.

Близько двох третин випадків ХСН виникають через ішемічну хворобу серця, яка виявляється у 64% хворих. Окрім цього, важливим аспектом є серцево-судинна коморбідність, що може як погіршувати перебіг ХСН, так і бути причиною її прогресування [2].

Ключовим фактором розвитку метаболічного синдрому є порушення ліпідного обміну, що може призводити до захворювань серцево-судинної системи, гіпертензії та атеросклерозу. Проте механізми регуляції ліпідного обміну в серці залишаються малодослідженими, а генетичні фактори, що впливають на розвиток функціональних і структурних порушень, досі не вивчені. Відзначається, що порушення обміну ліпопротеїнів, зокрема підвищений рівень тригліцеридів та знижений рівень холестерину, ліпопротеїнів високої щільності (ЛПВЩ) часто зустрічаються у пацієнтів із кардіометаболічним ризиком [3].

Мета досліджень. Дослідити показники антиоксидантного захисту та розвитку запальної реакції за хронічної серцевої недостатності.

Методи та організація досліджень. Дослідження проводились на базі КНП «Коростенська центральна міська лікарня» КМР (м. Коростень Житомирської області). У дослідження було включено 96 пацієнтів з хронічною серцевою недостатністю (ХСН) віком від 40 до 75 років обох статей. Серед досліджуваних було 70 чоловіків (72,9 %) та 26 жінок (27 %). Групу контролю складали 30 практично здорових осіб відповідного віку та статі. Початком спостереження вважали дату первинної госпіталізації (період декомпенсації). Друге дослідження виконувалось через 7-10 днів (період компенсації).

Клінічний діагноз встановлювався у відповідності до чинних рекомендацій Європейського товариства кардіологів на основі збору анамнестичних даних, фізикального обстеження, даних лабораторно-інструментальних методів обстеження: загальноклінічних аналізів, ехокардіографії, електрокардіографії.

Критеріями включення пацієнтів у дослідження були: 1) вік від 40 до 75 років; 2) наявність ХСН ІІА-ІІІ стадії за критеріями М. Д. Стражеска – В. Х. Василенка та Українського наукового товариства кардіологів; 3) ІІ-ІV ФК ХСН відповідно до критеріїв Нью-Йоркської Асоціації серця (NYHA); 4) наявність систолічної дисфункції (величина фракції викиду 45 % та нижче за даними ехокардіографії) [6, 7].

Активність параоксонази-1 визначали за кількістю субстрату (фенілацетату), що використовується під час біохімічної взаємодії, яку вимірювали на довжині хвилі 270 нм. Поглинання виражали в кU/л [8].

Активність мілопероксидази визначали за окисненням хромогенного субстрату 3,3'-диметоксибензидину під час біохімічної взаємодії, яку вимірювали на довжині хвилі 460 нм протягом 8 хв при 23 °С. У контрольних зразках додатково додавали 4-(амінобензоїл)гідразид як інгібітор мілопероксидази. Реакцію запускали додаванням субстрату (пероксиду). Поглинання виражали в мОд/л [8].

Імунотурбідиметричним методом на автоматичному біохімічному аналізаторі «Biosystems A25» (Іспанія) визначали вміст високочутливого С- реактивного протеїна в крові з використанням відповідної тест-системи. Кількість лейкоцитів вимірювали з використанням автоматичного гематологічного аналізатора Mindray BC-E30s. ШОЕ визначали методом Вестергрена [9].

Рівень церулоплазміну в сироватці крові визначали за методом Равіна з використанням набору реактивів фірми «Реагент» згідно з інструкцією.

Метод Равіна для визначення церулоплазміну базується на ферментативній реакції окислення субстрату (п-фенілендіаміну) церулоплазміном у сироватці крові. Результат вимірюється фотометрично за інтенсивністю забарвлення продукту реакції, а активність церулоплазміну (окислювальна активність) перераховується на його вміст [25].

Вміст відновленого глутатіону визначають в безгемоглобіновому фільтраті крові за допомогою реактива Елмана [25].

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 [4, 5].

Статистичний аналіз проводився з використанням програми Statistica 12. Для перевірки нормального розподілу використовувався критерій Шапіро-Уїлка, Колмогорова-Смірнова із поправкою Ліллієфорса. Статистичну обробку проводили з використанням t-критерію Стюдента. Різницю вважали достовірною при $p < 0,05$.

Результати роботи та їх обговорення. Дослідження показали, що у крові пацієнтів з хронічною серцевою недостатністю в стадії декомпенсації спостерігається значне зниження активності параоксонази-1 на 62,5 % у порівнянні з контрольною групою (табл. 1). Параоксоназа-1, гідролізуючи пероксиди ліпідів, сприяє зменшенню окиснення ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ), інгібуючи біосинтез холестерину та стимулюючи вихід холестерину з макрофагів, що пов'язано з ЛПВЩ. Це запобігає накопиченню холестерину і окистеролів у клітинах. Додатково, параоксоназа-1 захищає самі ЛПВЩ від надмірної пероксидації ліпідів і, разом з іншими асоційованими білками та ферментами, визначає антиоксидантні, протизапальні та антиатерогенні властивості ЛПВЩ. Зниження арилестеразної активності параоксонази-1 відбувається на фоні підвищення вмісту продуктів перекисного окиснення ліпідів [10, 11] (табл. 1).

Таблиця 1

Показники функціонування антиоксидантної системи та розвитку запальної реакції у пацієнтів з ХСН та практично здорових людей

	Контроль	ХСН (декомпенсація)	ХСН (компенсація)	
1	2	3	4	
Активність параоксонази-1, кУ/л	5,81 ± 1,22	2,18 ± 0,19*	2,11 ± 0,21*	
Активність мієлопероксидази, ум.од./хв	0,0024 ± 0,0005	0,0035 ± 0,0004*	0,0036 ± 0,0004*	
Вміст відновленого глутатіону, ммоль/л	6,75 ± 0,79	5,17 ± 0,25*	5,48 ± 0,32*	
Вміст церулоплазміну, мг/л	23,62 ± 3,21	19,88 ± 1,80	19,70 ± 2,07	
С-реактивний протеїн, мг/л (референтні значення – до 5 мг/л)	3,70 ± 0,35	5,47 ± 0,67*	5,13 ± 0,43*	
ШОЕ, мм/год	чоловіки (референтні значення – 1-10 мм/год)	5,14 ± 0,62	10,11 ± 1,78*	11,12 ± 2,07*
	жінки (референтні значення – 3-15 мм/год)	6,87 ± 0,48	11,28 ± 1,78*	12,74 ± 1,47*

Продовження таблиці

1	2	3	4
Лейкоцити, $\times 10^9/\text{л}$ (референтні значення – $4-10 \times 10^9/\text{л}$)	7,03 ± 0,42	8,12 ± 0,51*	8,36 ± 0,47*

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

Дослідження виявили, що активність мієлопероксидази (МПО) у крові у пацієнтів з ХСН в стадіях декомпенсації та компенсації зросла у 1,5 разів у порівнянні з контрольною групою. Це підвищення активності МПО свідчить про наявність запальної реакції. У кровообігу МПО утворює комплекс з параоксоназою-1, яка частково інгібує її активність. Однак, МПО може інактивувати параоксоназу-1, окислюючи залишок тирозину-71, що призводить до порушення зв'язку між ферментом і ЛПВЩ [15]. Під час активації МПО утворюються активні форми кисню, які можуть завдати шкоди макромолекулам і ліпопротеїнам. Коли мієлопероксидаза зв'язується з ендотелієм і активується, це може призвести до локального загострення запалення в судинах. Зміни в активності параоксонази-1 і МПО можуть слугувати предикторами активності запальної реакції за участю нейтрофільних лейкоцитів і атеросклеротичного процесу, а також допомагати в оцінці ефективності лікування [12].

Дослідження виявило, що вміст відновленого глутатіону в крові у пацієнтів з хронічною серцевою недостатністю в стадії декомпенсації знизилась на 23,4%, а в пацієнтів з ХСН в стадії компенсації – на 18,9% порівняно з контрольною групою. При хронічній серцевій недостатності спостерігається розвиток оксидативного стресу, що викликаний збільшенням утворення активних форм кисню. Відновний глутатіон бере участь в нейтралізації вільних радикалів, таких як супероксид та пероксид водню, що запобігає ушкодженню клітин серця та ендотелію [16, 17].

З'ясовано, що вміст церулоплазміну в крові пацієнтів з декомпенсованою хронічною недостатністю знизився на 15,9%, а у пацієнтів з ХСН в стадії компенсації на 16,6% в порівнянні з контрольною групою. Церулоплазмін – це глікопротеїн, який бере участь в гострій стадії запалення, оксидативному стресі та метаболізмі заліза завдяки його ферооксидазній активності. Церулоплазмін може активувати сигнальні шляхи, пов'язані з ішемією та гіпоксією, які є характерними для серцевої недостатності. ХСН часто супроводжується низькоінтенсивним хронічним запаленням, що може пояснювати підвищення рівня церулоплазміну. Його прооксидантна активність, як ферооксидазного ферменту в метаболізмі заліза, також може сприяти окислювальному стресу в серцево-судинній системі, що ще більше посилює ушкодження серця [18, 19]. Церулоплазмін може діяти як антиоксидант, але за певних умов може мати й прооксидантні властивості [26].

C-реактивний протеїн (СРП) відіграє важливу роль при хронічній серцевій недостатності, виступаючи як маркер запалення та індикатор прогнозу захворювання. ХСН супроводжується хронічним запаленням, яке ушкоджує стінки судин і серцевий м'яз. C-реактивний протеїн відображає активність цього запального процесу [13, 14].

В результаті проведеного дослідження виявлено, що рівень C-реактивного протеїна у крові пацієнтів з декомпенсованою хронічною серцевою недостатністю збільшений в 1,5 разів, а у пацієнтів з ХСН в стадії компенсації – в 1,4 разів в порівнянні з контрольною групою. Це свідчить про високий ступень запалення серцево-судинної системи [20, 21].

Швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ) є одним із головних лабораторних показників, який може використовуватися для визначення рівня запалення, в тому числі при хронічній серцевій недостатності [22, 23, 24].

Отримані дані дослідження швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ) в крові чоловіків при компенсованій ХСН показують підвищення показників в 2,1 рази, а у чоловіків з ХСН в стадії декомпенсації – 1,9 разів в порівнянні з контрольною групою.

Крім того, результати ШОЕ в крові жінок, хворих на ХСН в стадії компенсації та декомпенсації знаходяться в межах референтних значень.

Показники кількості лейкоцитів в крові пацієнтів з ХСН в стадії декомпенсації та компенсації, також, знаходяться в межах референтних значень.

Висновки. Дослідження показали, що у хворих на ХСН відбуваються вагомі зміни біохімічних показників крові, які свідчать про наявність запалення та оксидативного стресу. Зокрема, зафіксовано зниження активності параоксонази-1 в крові хворих на ХСН в стадії декомпенсації в порівнянні з контрольною групою, що може бути пов'язано з порушенням метаболізму ліпопротеїнів і підвищеним ризиком розвитку атеросклерозу. У пацієнтів з ХСН в стадії декомпенсації значно зросла активність мієлопероксидази у порівнянні з контрольною групою, що пов'язано її взаємодією з параоксоназою-1, окисленням ліпопротеїнів та посиленням локального судинного запалення. Такі зміни можуть виступати предикторами нейтрофільно-опосередкованої запальної відповіді і прогресування атеросклерозу. Зниження рівня відновленого глутатіону в крові у пацієнтів з ХСН в стадії декомпенсації свідчить про підвищений оксидативний стрес, що зумовлений надмірним утворенням активних форм кисню та зниженням активності антиоксидантного захисту клітин серця й ендотелію. Водночас зменшення концентрації церулоплазміну в крові пацієнтів з ХСН вказує на його участь у патогенезі серцевої недостатності, оскільки цей глікопротеїн має значення для запальних процесів та обміну заліза. Підвищення рівня С-реактивного білка в крові пацієнтів з хронічною серцевою недостатністю в стадії декомпенсації підтверджує наявність активного запалення. Підвищення швидкості осідання еритроцитів у крові чоловіків з ХСН в стадії компенсації в порівнянні з контрольною групою свідчить про системне запалення. Показники ШОЕ в крові жінок, хворих на ХСН в стадії компенсації та декомпенсації знаходяться в межах референтних значень.

Отримані дані можна застосовувати для моніторингу стану пацієнтів із серцевою недостатністю та оцінки ефективності терапії. Показники активності параоксонази-1, церулоплазміну, рівня С-реактивного білка та ШОЕ можуть виступати інформативними біомаркерами, що дозволяють оцінювати інтенсивність запальних процесів та ризик ускладнень. Це доводить необхідність комплексного підходу до лікування пацієнтів із ХСН, який включає контроль запалення та зменшення оксидативного стресу.

Література

1. Townsend N, Kazakiewicz D, Wright F. L, Timmis A, Huculeci R, Torbica A, Gale C. P, Achenbach S, Weidinger F, Vardas P. Epidemiology of cardiovascular disease in Europe. *Nature Reviews Cardiology* . 2022. Vol.19. P. 133–143.
2. Khan M.A., Hashim M.J., Al-Ani M., et al. Epidemiology of heart failure: a systematic review. *Cardiology Research and Practice*. 2020. Т. 2020. С. 1–9.
3. Almeman A A, Beshir Y A, Aldosary A H. Comparison of the effects of metoprolol and bisoprolol on lipid and glucose profiles in cardiovascular patients. *Current Drug Safety*. 2019. Vol. 14(1). P. 27–30.
4. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». [Інтернет]. Документ 990_005, редакція від 01.10.2008. Доступно на: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005. (дата звернення 05.06.2024).
5. Загальна декларація про біоетику та права людини. Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури: відділ етики науки і технології: сектор соціальних і гуманітарних наук [Інтернет]. 2005 жов. 19; 12 с. Доступно на: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>. (дата звернення 05.06.2024)
6. Воронков Л. Г., Мхітарян Л.С. Порівняльна клінічна характеристика хворих із хронічною серцевою недостатністю та зниженою фракцією викиду лівого шлуночка залежно від стану когнітивної функції. *Серце і судини*. 2018. № 3. С. 52-59.

7. Євстратова І.Н., Мхітарян Л.С. Спосіб діагностики прогресуючого атеросклерозу. Пат. 30972А Україна, МПК9 А 61 К 31/00, А 61 К 36/00, А 61 К 47/00, А 61 Р 11/00; заявник і власник патенту Український науково-практичний інститут кардіології ім. М. Д. Стражеска. № 98063325; заявл. 25.06.98; опубл. 15.12.00, бюл. № 7, 2000 р.
8. Vasylychenko V. S., Korol L. V., Kuchmenko O. B., Stepanova N. M.** Oxidative status in patients with chronic kidney disease. *Ukrainian Biochemical Journal*. 2020. Vol. 92, No. 5. P. 70-77.
9. Vydyborets S., Kucher O., Sergienko O. The clinical significance of changes in erythrocyte sedimentation rate index (lecture). *Health of Society*. 2012. Vol. 2(2). P. 85-92.
10. Vavlukis M., Vavlukis A., Krsteva K., Topuzovska S. Paraoxonase 1 gene polymorphisms in lipid oxidation and atherosclerosis development. *Frontiers in Genetics*. 2022. № 13.
11. Hidayet S., Askin L. Serum Paraoxonase-1 and Atherosclerotic Cardiovascular Disease. *Journal Name*. 2024. Vol. 66, № 6. P. 608-614.
12. Hage C., Michaëlsson E., Kull B., Miliotis T., Svedlund S., Linde C., Donal E., Daubert J.-C., Gan L.-M., Lund L.H. Myeloperoxidase and related biomarkers are suggestive footprints of endothelial microvascular inflammation in HFpEF patients. *ESC Heart Failure*. 2020. Vol. 7, № 4. P. 1534–1546.
13. Martins D., Garcia L. R., Queiroz D. A. R., Lazzarin T., Tonon C. R., Balin P. da S., Polegato B. F., Paiva S. A. R., Azevedo P. S., Minicucci M. F., Zornoff L. Oxidative Stress as a Therapeutic Target of Cardiac Remodeling. *Antioxidants*. 2022. Vol. 11, No. 12. P. 2371.
14. Van V. Oxidative Stress and Antioxidant Treatments in Cardiovascular Diseases. *Antioxidants (Basel)*. 2020. Vol. 9, No. 12. P. 1292.
15. Casula M., Colpani O., Xie S., Catapano A.L., Baragetti A. HDL in Atherosclerotic Cardiovascular Disease: In Search of a Role. *Cells*. 2021. Vol. 10, № 8. P. 1869.
16. Groenewegen A., Rutten F.H., Mosterd A., Hoes A.W. Epidemiology of heart failure. *European Journal of Heart Failure*. 2020. Vol. 22, № 8. P. 1342–1356.
17. Wróbel-Nowicka K., Wojciechowska C., Jacheć W., Zalewska M., & Romuk E. The Role of Oxidative Stress and Inflammatory Parameters in Heart Failure. *Medicina (Kaunas)*. 2024. Vol. 60(5). P. 760.
18. Smyła-Gruca W., Szczurek-Wasilewicz W., Skrzypek M., Karmański A., Romuk E., Jurkiewicz M., Gąsior M., Szygula-Jurkiewicz B. Ceruloplasmin, catalase and creatinine concentrations are independently associated with all-cause mortality in patients with advanced heart failure. *Biomedicines*. 2024. Vol. 12(3).
19. Andreasova T., Vondrakova D., Sedlackova L., Dvorak J., Taborsky L., Neuzil P., Malek F. Evaluation of ceruloplasmin – a potential biomarker in chronic heart failure. *Research Article*. 2018. Vol. 9(8).
20. Ferreira J. P., Claggett B. L., Liu J., Sharma A., Desai A. S., Anand I. S., O'Meara E., Rouleau J. L., De Denus S., Pitt B., Pfeffer M. A., Zannad F., Solomon S. D. High-sensitivity C-reactive protein in heart failure with preserved ejection fraction: Findings from TOPCAT. *International Journal of Cardiology*. 2024. Vol. 402.
21. Villara S., Mollar A., Lorenzo M., Núñez G., de la Espriella R., Núñez J. C-reactive protein in patients with acute heart failure and preserved ejection fraction. *International Journal of Cardiology*. 2024. Vol. 77(5). P. 430-433.
22. Kažukauskienė I., Baltrūnienė V., Rinkūnaitė I., Žurauskas E., Vitkus D., Maneikienė V. V., Ručinskis K., Grabauskienė V. Inflammation-Related Biomarkers Are Associated with Heart Failure Severity and Poor Clinical Outcomes in Patients with Non-Ischemic Dilated Cardiomyopathy. *Life*. 2021. Vol. 11(10). P. 1006.
23. Zhu Z., Zhou S. Leukocyte count and the risk of adverse outcomes in patients with HFpEF. *BMC Cardiovascular Disorders*. 2021. Vol. 21. P. 333.
24. Fu Z., Liu P., Gao X., Shi S., Li Y., Zhang B., Wu H., Song, Q. Association of systemic inflammatory markers with clinical adverse prognosis and outcomes in HFpEF: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2024. Vol. 11.
25. Лабораторні методи дослідження у біології, тваринництві і ветеринарній медицині: довідник / В.В. Влізла, Р.С. Федорук, І.Б. Ратич та ін.; за ред. В.В. Влізла. Львів: СПОЛОМ, 2012. 764 с.

26. Liu Z., Wang M., Zhang C., Zhou S., Ji G. Molecular functions of ceruloplasmin in metabolic disease pathology. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*. 2022. Vol.15. P. 695–711.

References

1. Townsend, N, Kazakiewicz, D, Wright, F. L, Timmis, A, Huculeci, R, Torbica, A, Gale, C. P, Achenbach, S, Weidinger, F, Vardas, P. (2022) . Epidemiology of cardiovascular disease in Europe. *Nature Reviews Cardiology* . Vol.19. P. 133–143 [in English].
2. Khan, M,A, Hashim, M,J, Al-Ani, M, et al. (2020). Epidemiology of heart failure: a systematic review. *Cardiology Research and Practice*. V. 2020 P. 1–9 [in English].
3. Buse, J,B, Ginsberg, H,N, Bakris, G,L, et al (2010). Effects of β -blockers on glucose and lipid metabolism. *Current Medical Research & Opinion*. V. 26, № 3. P. 715-724 [in English].
4. Gelsinska dtklaracij Vsesvitnoi medicnoi asociacii (2008). «Etichni principi medicnih doslidgen za uchastj lydini u ykosti obekta doslidgen» ["Ethical principles of medical research involving a person as a research object"] document 990_005. dostup https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005 (05.06.2024) [in Ukrainian].
5. Zagalna deklaracij pro bioetiku ta prava lydini (2005). [General Declaration on Bioethics and Human Rights]. Organizacij Obednanih Nacii z pitan osviti, nauki I kulturi: viddil etiki nauki I tehnologii: stktor socialnih I gumanitarnih nauk. Dostup: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (05.06.2024) [in Ukrainian].
6. Voronkov, L, H, Mkhitarian, L,S (2018). Porivnialna klinichna kharakterystyka khvorykh iz khronichnoiu sertsevoiu nedostatnistiu ta znyzhenoiu fraktsiieiu vykydu livoho shlunochka zalezno vid stanu kohnityvnoi funktsii. Sertse i sudyny. № 3. 52-59 [in Ukrainian].
7. Yevstratova, I,N, Mkhitarian, L,S, Sposib diahnostryky prohresuiuchoho aterosklerozu. Pat. 30972A Ukraina, MPK9 A 61 K 31/00, A 61 K 36/00, A 61 K 47/00, A 61 R 11/00; zaiavnyk i vlasnyk patentu Ukrainyskyi naukovo-praktychnyi instytut kardiologii im. M. D. Strazheska. № 98063325; zaiavl. 25.06.98; opubl. 15.12.00, biul. № 7, 2000 r [in Ukrainian].
8. Vasylenko, V., S., Korol, L., V., Kuchmenko, O., B., Stepanova, N., M. (2020). Oxidative status in patients with chronic kidney disease. *Ukrainian Biochemical Journal*. Vol. 92(5). P. 70-77 [in English].
9. Vydyborets, S., Kucher, O., Sergienko, O. (2012). The clinical significance of changes in erythrocyte sedimentation rate index (lecture). *Health of Society*. Vol. 2(2). P. 85-92 [in English].
10. Vavlukis, M, Vavlukis, A, Krsteva, K, Topuzovska, S (2022). Paraoxonase 1 gene polymorphisms in lipid oxidation and atherosclerosis development. *Frontiers in Genetics*. № 13 [in English].
11. Hidayet, S, Askin, L(2024). Serum Paraoxonase-1 and Atherosclerotic Cardiovascular Disease. *Journal Name*.. V. 66, № 6. P. 608-614 [in English].
12. Hage, C, Michaëlsson, E, Kull, B, Miliotis, T, Svedlund, S, Linde, C, Donal, E, Daubert, J.-C, Gan, L.-M, Lund, L,H (2020). Myeloperoxidase and related biomarkers are suggestive footprints of endothelial microvascular inflammation in HFpEF patients. *ESC Heart Failure*. V. 7, № 4. P. 1534–1546 [in English].
13. Martins, D., Garcia, L. R., Queiroz, D. A. R., Lazzarin, T., Tonon, C. R., Balin, P. da S., Polegato, B. F., Paiva, S. A. R., Azevedo, P. S., Minicucci, M. F., Zornoff, L. (2022). Oxidative Stress as a Therapeutic Target of Cardiac Remodeling. *Antioxidants*. V. 11, No. 12. P. 2371 [in English].
14. Van, V (2020). Oxidative Stress and Antioxidant Treatments in Cardiovascular Diseases. *Antioxidants (Basel)*. Vol. 9, No. 12. P. 1292 [in English].
15. Casula, M, Colpani, O, Xie, S, Catapano, A,L, Baragetti, A (2021). HDL in Atherosclerotic Cardiovascular Disease: In Search of a Role. *Cells*. V. 10, № 8. P. 1869 [in English].
16. Groenewegen, A, Rutten, F,H, Mosterd, A, Hoes, A,W (2020). Epidemiology of heart failure. *European Journal of Heart Failure*. V. 22, № 8. P. 1342–1356 in English].
17. Wróbel-Nowicka, K, Wojciechowska, C, Jacheć, W, Zalewska, M, & Romuk, E, (2024). The Role of Oxidative Stress and Inflammatory Parameters in Heart Failure. *Medicina (Kaunas)*. V. 60(5). P. 760. [in English].

18. Smyła-Gruca, W., Szczurek-Wasilewicz, W., Skrzypek, M., Karmański, A., Romuk, E., Jurkiewicz, M., Gąsior, M., Szyguła-Jurkiewicz, B. (2024). Ceruloplasmin, catalase and creatinine concentrations are independently associated with all-cause mortality in patients with advanced heart failure. *Biomedicines*. Vol. 12(3) [in English].
19. Andreasova, T., Vondrakova, D., Sedlackova, L., Dvorak, J., Taborsky, L., Neuzil, P., Malek, F. (2018). Evaluation of ceruloplasmin – a potential biomarker in chronic heart failure. *Research Article*. Vol. 9(8) [in English].
20. Ferreira, J. P., Claggett, B. L., Liu, J., Sharma, A., Desai, A. S., Anand, I. S., O'Meara, E., Rouleau, J. L., De Denus, S., Pitt, B., Pfeffer, M. A., Zannad, F., & Solomon, S. D. (2024). High-sensitivity C-reactive protein in heart failure with preserved ejection fraction: Findings from TOPCAT. *International Journal of Cardiology*. Vol. 402 [in English].
21. Villara, S., Mollar, A., Lorenzo, M., Núñez, G., de la Espriella, R., & Núñez, J. (2024). C-reactive protein in patients with acute heart failure and preserved ejection fraction. *International Journal of Cardiology*. Vol. 77(5). P. 430-433 [in English].
22. Kažukauskienė, I., Baltrūnienė, V., Rinkūnaitė, I., Žurauskas, E., Vitkus, D., Maneikienė, V., V., Ručinskas, K., Grabauskienė, V. (2021). Inflammation-Related Biomarkers Are Associated with Heart Failure Severity and Poor Clinical Outcomes in Patients with Non-Ischemic Dilated Cardiomyopathy. *Life*. Vol. 11(10). P. 1006 [in English].
23. Zhu, Z., Zhou, S. (2021). Leukocyte count and the risk of adverse outcomes in patients with HFpEF. *BMC Cardiovascular Disorders*. Vol. 21. P. 333 [in English].
24. Fu, Z., Liu, P., Gao, X., Shi, S., Li, Y., Zhang, B., Wu, H., Song, Q. (2024). Association of systemic inflammatory markers with clinical adverse prognosis and outcomes in HFpEF: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. Vol. 11 [in English].
25. Laboratori metody doslidzhennia u biologii, tvarynyystvi i veterynarii medytsyni: dovidnyk / V.V. Vlizlo, R.S. Fedoruk, I.B. ratych ta in.; za red. V.V. Vlizla. Lviv: SPOLOM, 2012. 764 s [in Ukrainian].
26. Liu, Z., Wang, M., Zhang, C., Zhou, S., & Ji, G. (2022). Molecular functions of ceruloplasmin in metabolic disease pathology. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*. Vol. 15. P. 695–711 [in English].

Havii T.

PhD student, Department of Biology,
Nizhyn Mykola Gogol State University
tanyag2000@ukr.net
orcid.org/0000-0009-0001-5001-262X

INDICATORS OF ANTIOXIDANT PROTECTION AND DEVELOPMENT OF INFLAMMATORY RESPONSE IN CHRONIC HEART FAILURE

At present, cardiovascular diseases occupy a leading position among the causes of mortality. Chronic heart failure (CHF) is a common consequence of cardiometabolic disorders and a major risk factor for death from cardiovascular pathologies. This condition is characterized by a chronic inflammatory process. However, the persistent inflammatory states observed in CHF can affect both the composition and overall functioning of the blood antioxidant system.

In patients with decompensated CHF, a significant 62,5 % decrease in paraoxonase-1 activity was observed compared to the control group, which leads to the accumulation of oxidized low-density lipoproteins (LDL) and an increase in lipid peroxidation products. The activity of myeloperoxidase in the blood of patients with CHF in both decompensated and compensated stages increased 1,5 times compared to the control, disrupting its interaction with the enzyme and high-density lipoproteins (HDL). Changes in

paraoxonase-1 and myeloperoxidase activity may serve as predictors of inflammatory reactions and atherosclerotic progression, as well as indicators for evaluating treatment effectiveness.

The study revealed that ceruloplasmin levels in the blood of patients with decompensated CHF decreased by 15,9%, and in those with compensated CHF by 16.6 %, compared to the control group, indicating its role in the pathogenesis of heart failure. At the same time, the concentration of C-reactive protein in patients with decompensated CHF increased 1,5 times relative to the control, reflecting active inflammation within the cardiovascular system.

The content of reduced glutathione in the blood of patients with decompensated CHF decreased by 23,4 %, and by 18,9 % in those with compensated CHF compared to the control, indicating the presence of inflammation and an increase in oxidative stress due to elevated levels of reactive oxygen species.

The erythrocyte sedimentation rate (ESR) in women with compensated and decompensated CHF remained within reference ranges. Similarly, leukocyte counts in the blood of patients with both compensated and decompensated CHF were within normal limits.

Key words: chronic heart failure, reduced glutathione, paroxinase-1, myeloperoxinase, ceruloplasmin, C-reactive protein.

**Стаття надійшла 01.09.2025 року
Рецензію отримано 17.09.2025 року**

УДК 579.8:616.94-053.2:615.015.8
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-62-68

Мачужак А. А.

аспірантка кафедри біології,
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
drannaarhidey@gmail.com
orcid.org/0009-0001-0461-2528

**АНТИБАКТЕРІАЛЬНА ТЕРАПІЯ НА ОСНОВІ СИНЕРГІЗМУ У ДІТЕЙ
З СЕПСИСОМ, ВИКЛИКАНИМ МУЛЬТИРЕЗИСТЕНТНИМИ ОРГАНІЗМАМИ**

*Антимікробна резистентність (АМР) є однією з найбільших загроз сучасній глобальній системі охорони здоров'я, що вимагає термінових дій як на національному, так і на міжнародному рівнях. Поширення мультирезистентної грамнегативної флори значно ускладнює ведення інфекційних хвороб, зокрема у відділеннях інтенсивної терапії, де пацієнти часто перебувають у критичному стані, потребуючи високоефективної та швидкої антибактеріальної терапії. Актуальність проблеми зростає на тлі обмеженої доступності сучасних антибактеріальних препаратів в окремих країнах, зокрема в Україні, а також через зростання числа інфекцій, резистентних до карбапенемів, колістину, цефалоспоринів та комбінацій β-лактамів з інгібіторами β-лактамаз. Метою цього дослідження було оцінити ефективність застосування синергічних комбінацій антибактеріальних препаратів у лікуванні сепсису, викликаного мультирезистентною флорою, у дітей різного віку, які перебували у відділенні інтенсивної терапії НДСЛ «Охматдит». Дослідження включало аналіз 10 клінічних випадків у пацієнтів віком від 1 місяця до 17 років, що надійшли у важкому стані з підтвердженим септичним процесом, спричиненим патогенами з множинною лікарською стійкістю. До дослідження увійшли як пацієнти хірургічного, так і соматичного профілю. Всі випадки супроводжувалися бактеріологічним виявленням мультирезистентних збудників, серед яких домінували *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* та *Acinetobacter baumannii*. Для визначення оптимальної комбінації антибіотиків було застосовано метод перехресного тестування (cross-testing) та кількісні методи оцінки *in vitro* синергічної активності антибактеріальних засобів. У процесі дослідження були виявлені декілька ефективних комбінацій, зокрема: колістин + тігециклін, фосфоміцин + колістин, іміпенем + фосфоміцин, азтреонам + цефтазидим/авібактам, меропенем + тігециклін, колістин + рифампіцин тощо. У кожному клінічному випадку призначення лікування базувалося на результатах тестування чутливості збудників до синергічних комбінацій, що дало змогу уникнути неефективної емпіричної терапії та швидко досягти позитивної динаміки. Спостерігалось достовірне зниження рівнів С-реактивного білка, прокальцитоніну та інтерлейкіну-6, що свідчить про зменшення системного запального процесу. Наприклад, у випадку пацієнта з *Acinetobacter baumannii* та *Pseudomonas aeruginosa* після застосування комбінації меропенему з тігецикліном відзначалося зниження ІЛ-6 з 848 пг/мл до 69.08 пг/мл, а прокальцитонін – з 89.19 нг/мл до 0.43 нг/мл. В інших випадках комбінації колістину з тігецикліном або меропенемом забезпечили позитивну клінічну динаміку з нормалізацією рівнів запальних маркерів і покращенням загального стану пацієнтів. Отримані результати свідчать про переваги підходу до антибактеріальної терапії на основі тестування синергії, особливо в умовах, коли антибактеріальні препарати виявляються неефективними через високий рівень резистентності. Методика підбору антибактеріальної терапії з урахуванням синергічної дії дозволяє підвищити ефективність лікування. Такі дані є необхідною складовою для раціонального призначення*

антибіотиків у клінічній практиці, особливо при веденні критично хворих дітей з тяжкими інфекційними ускладненнями. У висновку, результати дослідження демонструють доцільність застосування підходів, заснованих на синергічній дії антибактеріальних препаратів, у лікуванні мультирезистентних інфекцій у дітей. Використання таких методик є особливо актуальним в умовах обмежених ресурсів, коли немає доступу до сучасних дороговартісних антибіотиків, рекомендованих міжнародними протоколами.

Ключові слова: сепсис, мультирезистентні організми, антибактеріальна резистентність, синергічна дія, прокальцитонін, С-реактивний білок, лейкоцити.

Вступ. Військові конфлікти, такі як в Україні, є важливим фактором, що сприяє розвитку резистентності до антимікробних препаратів. Ризик інфікування ран і важливість суворих гігієнічних заходів для зменшення його виникнення та наслідків добре відомі. Резистентність до антимікробних препаратів розвивається, коли бактерії, віруси, грибки та паразити мутують або набувають генетичного матеріалу від інших організмів і більше не реагують на лікування, зрештою перетворюючись на організми з множинною лікарською стійкістю. Антимікробна резистентність є однією з найважливіших глобальних проблем охорони здоров'я [1]. У Звіті Верховного комісара Організації Об'єднаних Націй у справах біженців про глобальні тенденції за 2022 рік оцінюється, що майже 110 мільйонів людей (>1:74 населення світу) були примусово переміщені в межах своєї країни походження або до сусідніх країн у всьому світі [2]. Висока частота травматичних ушкоджень кісток та м'яких тканин у людей, які зазнали травм, вимагає хірургічного втручання з контролю пошкоджень, яке часто проводиться в закладах, де відсутні звичайні засоби контролю інфекцій, що призводить до легшого забруднення ран організмами навколишнього середовища. Для вирішення цих проблем медичні працівники використовують антибіотики широкого спектру дії, що також може збільшити розвиток антимікробної резистентності. Національна система спостереження за мультирезистентними захворюваннями у Нідерландах повідомила про 58 пацієнтів, які нещодавно подорожували з України, з яких половина нещодавно контактувала з лікарнею в Україні до поїздки, що різко контрастує з їхнім довоєнним досвідом, коли жодних мультирезистентних мікроорганізмів (МРО), пов'язаних з поїздками до України, не було виявлено [3]. У Нідерландах повідомлялося про зростання кількості ізолятів *Klebsiella pneumoniae* з МРЗ, які продукують NDM-1 або NDM-1/OXA-4820 [4,5].

Грамнегативні організми з множинною лікарською стійкістю, включаючи ті, що стійкі до колістину, цефідероколу та нових комбінацій інгібіторів β-лактамінів та β-лактамаз, створюють значні труднощі в лікуванні інфекцій, пов'язаних з бойовими пораненнями, у пацієнтів в Україні та тих, хто був репатрійований в інші країни [3]. Скотт Палетт разом з співавторами описали клінічний випадок лікування 35-річного чоловіка у листопаді 2022 року після поранення лівої гомілки, під час бойових дій в Україні. Йому негайно було проведено операцію з контролю пошкоджень у місцевому польовому шпиталі та негайно транспортовано до травматологічного шпиталю третинного рівня у Великій Британії, що вимагало ретельного очищення інфікованих кісток та м'яких тканин. Бактеріальна культура гною та кісток виділила *Klebsiella pneumoniae*, що продукує метало-β-лактамазні карбапенемази Нью-Делі, *Acinetobacter baumannii* та *Enterococcus faecalis*. Тестування на чутливість виявило організми з високою стійкістю до множинних лікарських засобів. Початкове лікування включало комбінацію внутрішньовенного цефідероколу (1 г кожні 8 годин), фосфоміцину (8 г кожні 8 годин), тайгецикліну (200 мг негайно, потім 100 мг кожні 12 годин), амікацину (15 мг/кг негайно) та ванкоміцину (2 г кожні 8 годин для підтримки мінімального рівня 15–20 мг/л). Пацієнт не переносив тайгециклін у цій дозі. Через брак варіантів лікування його режим було переведено на цефідерокол (2 г кожні 6

годин), еравациклін (100 мг кожні 12 годин), амікацин (15 мг/кг негайно) та колістин (3 000 000 одиниць кожні 8 годин) [6]. Варто зауважити, що антибактеріальні препарати, використанні колегами у Великобританії, є дуже дорогівартісними, частина з них не зареєстрована в Україні і є не доступною для використання.

Вперше в Україні була розроблена кумулятивна антибіотикограма [7]. Для *Escherichia coli* 66% та 69% ізолятів були чутливими до цефтазидиму та цефтриаксону відповідно, при цьому продукція ESBL була підтверджена у 28% ізолятів. Майже всі ізоляти (99%) були чутливими до меропенему. З ізолятів *E. coli*, що продукують ESBL, які пройшли тестування на чутливість до колістину (n = 25), 100% мали мінімальну інгібуючу концентрацію (МИК) ≤ 2 мг/л. На противагу цьому, для *Klebsiella pneumoniae* 26% та 27% ізолятів були чутливими до цефтазидиму та цефтриаксону відповідно, при цьому продукція ESBL була підтверджена у 31% ізолятів. Більше половини (59%) ізолятів були чутливими до меропенему. З ізолятів *K. pneumoniae*, стійких до карбапенемів, які пройшли додаткове тестування на чутливість (n = 60), 59% мали мінімальну інгібуючу концентрацію колістину ≤ 2 мг/л, і лише 38% були чутливими до цефтазидиму/авібактаму. Для *Pseudomonas aeruginosa* лише 53% ізолятів були чутливими до меропенему, 85% – до азтреонаму, а 100% мали мінімальну інгібуючу концентрацію (МИК) колісту ≤ 2 мг/л. З тих карбапенем-резистентних ізолятів, які пройшли додаткове тестування на чутливість (n = 64), лише 12% були чутливими до цефтазидиму/авібактаму. Аналогічно, для *Acinetobacter* spp. лише 37% ізолятів були чутливими до меропенему. Чутливість до ампіциліну/сульбактаму також була низькою – 45%. Профіль чутливості для карбапенем-резистентних *Acinetobacter* spp. був особливо низьким, причому лише колістин зберіг достовірну активність *in vitro* проти цього роду [7].

Комісія з розробки рекомендацій Європейського товариства клінічної мікробіології та інфекційних захворювань (ESCMID) щодо лікування інфекцій, спричинених грамнегативними бактеріями з множинною лікарською стійкістю розглянула докази для кожного патогену, критично оцінивши існуючі дослідження та надали терапевтичні рекомендації для вибору антибактеріальної терапії у пацієнтів з МРМ [8]. У пацієнтів з КРС (карбапенем стійкими) препаратами вибору можуть бути сучасні інгібіторзахищені карбапенеми; з ОХА-48- цефтазідім-авібактам, MBL – цефідерокол. Як зазначалось вище дані препарати дуже дорогівартісні та не доступні в Україні. Тому визначення синергічної дії антибактеріальних препаратів дає можливість визначити комбінації препаратів для лікування пацієнтів з сепсисом, викликаного МРМ.

Мета роботи – дослідити ефективність використання синергічної дії антибактеріальних препаратів у рандомізованій вибірці пацієнтів із сепсисом, обумовленим мультирезистентною флорою.

Методи та організація досліджень. Дослідження проводились на базі відділення інтенсивної терапії НДСЛ «Охматдит» МОЗ України. До вибірки увійшло 10 пацієнтів віком від 1 місяця до 17 років, пацієнти хірургічного та соматичного профілю, у критичному стані з підтвердженим септичним процесом, спричиненим мультирезистентною флорою, – перед призначенням антибактеріальної терапії на основі синергічної дії та на її фоні. Дослідження проводилось з 1 жовтня 2023 р. по теперешній час.

Клінічний діагноз встановлювався на основі клінічної картини, збору анамнестичних даних, фізикального обстеження, даних лабораторно-інструментальних методів обстеження: загальноклінічних аналізів, показників маркерів запалення, результатів бактеріологічних досліджень.

Робота виконана у відповідності до біоетичних норм із дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України [9, 10].

Результати досліджень та їх обговорення. Пацієнт 1. За результатами бактеріологічного дослідження мокроти – *K. pneumoniae* MBL. Лейкоцити (Л)

21.8·10⁹/л, С-реактивний білок (СРБ) 98.7 мг/л (норма < 6 мг/л), прокальцитонін (ПКТ) 0.106 нг/мл (норма 0.020–0.046 нг/мл). Призначено колістин. Враховуючи важкий стан пацієнта та можливе погіршення стану, для прийняття рішення про посилення антибактеріальної терапії – методом перехресного тестування виявлена синергічна дія АБ: тігециклін+колістин, фосфоміцин+колістин, іміпенем+фосфоміцин, азтреонам+цефтазидим/авібактам. На комбінації тігацикліну з колістином відмічається позитивна динаміка. Л 13.3·10⁹/л, СРБ 6.4 нг/мл.

Пацієнт 2. За результатами бактеріологічного дослідження мокроти – *K. pneumoniae* MBL. Л 13.3·10⁹/л, СРБ (117.9) 42.11 мг/л, ПКТ 0.17 нг/мл. Л 8.45·10⁹/л, СРБ 21 мг/л, ПКТ 0.148 нг/мл. Призначено меронем+ципрофлоксацин. Методом перехресного тестування виявлена синергічна дія АБ: іміпенем+колістин, іміпенем+тігециклін, тігециклін+колістин, фосфоміцин+колістин. Методом співвідношень виявлена синергічна дія: азтреонам+цефтазидим/авібактам. Враховуючи стрімке погіршення стану призначено: азтреонам+цефтазидим/авібактам. Л 8.45·10⁹/л, СРБ 21 мг/л, ПКТ 0.148 нг/мл.

Пацієнт 3. За результатами бактеріологічного дослідження матеріалу з рани – *A. baumannii*, *P. aureginosa*. Л 8.5·10⁹/л, СРБ 251.8 мг/л, ПКТ 89.19 нг/мл, інтерлейкін 6 (ІЛ6) 848 пг/мл (норма < 7.0). Кількісним методом виявлена синергічна дія АБ: меропенем+тігециклін. Призначено: меропенем+тігециклін. Л 16.1·10⁹/л, СРБ 138.7 мг/л, ПКТ 0.43 нг/мл, ІЛ6 69.08 пг/мл.

Пацієнт 4. За результатами бактеріологічного дослідження мокроти – *K. pneumoniae*. Л 12.2·10⁹/л, СРБ 182.2 мг/л, ПКТ 15.3 нг/мл. Методом перехресного тестування виявлена синергічна дія АБ: колістин+тігециклін. Призначено: колістин+тігециклін. Л 8.5·10⁹/л, СРБ 7.58 мг/л, ПКТ 0.5 нг/мл.

Пацієнт 5. За результатами бактеріологічного дослідження бронхо-альвеолярного лаважу – *K. pneumoniae*. Л 13.2·10⁹/л, СРБ 13.2 мг/л. Методом перехресного тестування виявлена синергічна дія АБ: колістин+тігециклін. Призначено: колістин+тігециклін. Л 10.4·10⁹/л, СРБ негативний.

Пацієнт 6. За результатами бактеріологічного дослідження бронхо-альвеолярного лаважу, сечі – *K. pneumoniae*. Л 38.2·10⁹/л, СРБ 246.4 мг/л. ПКТ 2.42 нг/мл. Методом перехресного тестування виявлена синергічна дія АБ: цефтазідім/авібактам + азтреонам. Призначено: цефтазідім/авібактам + азтреонам. Л 18.8·10⁹/л, СРБ 45.3 мг/л. ПКТ 0.8 нг/мл.

Пацієнт 7. За результатами бактеріологічного дослідження матеріалу з оклюзійної пов'язки – *P. aureginosa*. Л 24.7·10⁹/л, СРБ 316.8 мг/л, ПКТ 43.5 нг/мл, ІЛ6 160.6 пг/мл. Якісним методом виявлена синергічна дія АБ: азтреонам+ципрофлоксацин, азтреонам+амікацин, азтреонам+тігациклін. Призначено: азтреонам+тігациклін Л 5.6·10⁹/л, СРБ 32 мг/л, ПКТ 1.46 нг/мл, ІЛ6 18 пг/мл.

Пацієнт 8. За результатами бактеріологічного дослідження мокроти – *K. pneumoniae*. Л 27.3·10⁹/л, СРБ 268 мг/л. ПКТ 12.4 нг/мл. Методом перехресного тестування виявлена синергічна дія АБ: колістин+рифампіцин, колістин+тігациклін. Призначено: колістин+тігациклін. Л 14.5·10⁹/л, СРБ 26.7 мг/л. ПКТ 0.43 нг/мл.

Пацієнт 9. За результатами бактеріологічного дослідження ліквору – *K. pneumoniae*. Л 36.7·10⁹/л, СРБ 167.4 мг/л. ПКТ 21.5 нг/мл. Методом перехресного тестування виявлена синергічна дія АБ: колістин+рифампіцин, колістин+меропенем. Призначено: колістин+меропенем. Л 8.8·10⁹/л, СРБ 43.8 мг/л. ПКТ 0.153 нг/мл.

Пацієнт 10. За результатами бактеріологічного дослідження мокроти – *K. pneumoniae*. Л 24.9·10⁹/л, СРБ 187.6 мг/л. ПКТ 5.4 нг/мл. Методом перехресного тестування виявлена синергічна дія АБ: меропенем+тігациклін. Призначено: меропенем+тігациклін. Л 12.4·10⁹/л, СРБ 18 мг/л. ПКТ 0.4 нг/мл.

Висновки. Превалюючою мультирезистентною флорою у відділенні інтенсивної терапії є штами *K. pneumoniae*. Згідно принципів призначення антибактеріальної терапії: спочатку емпірична терапія; перегляд через 24–48 год. відповідно до

результатів бак. посівів і стану пацієнта; в разі погіршення стану пацієнта за умови інфікування мультирезистентною флорою необхідно мати резервний варіант антибактеріальної терапії, згідно синергічної дії. Методика синергічної дії є перспективною та може запобігати підвищенню летальності. Отримані результати безумовно потребують продовження дослідження ефективності антибактеріальної терапії на основі синергізму.

Література

1. World Health Organisation. Global action plan on antimicrobial resistance. 2015. <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/864486/retrieve>
2. UK Health Security Agency. Framework of actions to contain carbapenemase-producing Enterobacterales. (2022). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1107705/Framework_of_actions_to_contain_CPE.pdf
3. Zwitter RD, et al. Multidrug-resistant organisms in patients from Ukraine in the Netherlands, March to August 2022. *Euro Surveill.* 2022;27:2200896. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2022.27.50.2200896.
4. Sandfort M, et al. Increase in NDM-1 and NDM-1/OXA-48-producing *Klebsiella pneumoniae* in Germany associated with the war in Ukraine, 2022. *Euro Surveill.* 2022;27:2200926. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2022.27.50.2200926.
5. Pallett SJC, Boyd SE, O'Shea MK, Martin J, Jenkins DR, Hutley EJ. The contribution of human conflict to the development of antimicrobial resistance. *Commun Med (Lond)*. 2023 Oct 25;3(1):153. doi: 10.1038/s43856-023-00386-7.
6. Pallett SJC, Trompeter A, Basarab M, Moore LSP, Boyd SE. Multidrug-resistant infections in war victims in Ukraine. *Lancet Infect Dis.* 2023 Aug;23(8):e270-e271. doi: 10.1016/S1473-3099(23)00391-2. Epub 2023 Jul 11.
7. Vodianyuk A, Holovnia O, Diomin E, Letourneau AR, Poznansky MC, Shenoy ES, Turbett SE. Resistance is reality: findings from the first Ukrainian cumulative antibiogram. *JAC Antimicrob Resist.* 2024 Oct 9;6(5):dlae156. doi: 10.1093/jacamr/dlae156.
8. European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases (ESCMID) guidelines for the treatment of infections caused by multidrug-resistant Gram-negative bacilli (endorsed by European society of intensive care medicine). Paul, Mical et al. *Clinical Microbiology and Infection.* 2022. Volume 28, Issue 4, 521–547.
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. [Accessed 05.05.2022]
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>.

References

1. World Health Organisation (2015). Global action plan on antimicrobial resistance. 2015. URL: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/864486/retrieve> [in English].
2. UK Health Security Agency (2022). Framework of actions to contain carbapenemase-producing Enterobacterales. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1107705/Framework_of_actions_to_contain_CPE.pdf [in English].
3. Zwitter RD, et al (2022). Multidrug-resistant organisms in patients from Ukraine in the Netherlands, March to August 2022. *Euro Surveill.* 2022;27:2200896. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2022.27.50.2200896 [in English].
4. Sandfort M, et al (2022). Increase in NDM-1 and NDM-1/OXA-48-producing *Klebsiella pneumoniae* in Germany associated with the war in Ukraine, 2022. *Euro Surveill.* 2022;27:2200926. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2022.27.50.2200926 [in English].

5. Pallett SJC, Boyd SE, O'Shea MK, Martin J, Jenkins DR, Hutley EJ. (2023). The contribution of human conflict to the development of antimicrobial resistance. *Commun Med (Lond)*. 2023 Oct 25;3(1):153. doi: 10.1038/s43856-023-00386-7[in English].
 6. Pallett SJC, Trompeter A, Basarab M, Moore LSP, Boyd SE. (2023). Multidrug-resistant infections in war victims in Ukraine. *Lancet Infect Dis*. 2023 Aug;23(8):e270-e271. doi: 10.1016/S1473-3099(23)00391-2. Epub 2023 Jul 11 [in English].
 7. Vodianyuk A, Holovnia O, Diomin E, Letourneau AR, Poznansky MC, Shenoy ES, Turbett SE. (2024). Resistance is reality: findings from the first Ukrainian cumulative antibiogram. *JAC Antimicrob Resist*. 2024 Oct 9;6(5):dlae156. doi: 10.1093/jacamr/dlae156 [in English].
 8. European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases (ESCMID) guidelines for the treatment of infections caused by multidrug-resistant Gram-negative bacilli (endorsed by European society of intensive care medicine). Paul, Mical et al. *Clinical Microbiology and Infection*/ 2022. Volume 28, Issue 4, 521–547 [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 [Accessed 05.05.2022] [in English].
 10. General Declaration on Bioethics and Human Rights. (2005). 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>. [in English].
-

Machuzhak A.

PhD student, Department of Biology,
Nizhyn Mykola Gogol State University
drannaarhidey@gmail.com
orcid.org/0009-0001-0461-2528

ANTIBACTERIAL THERAPY BASED ON SYNERGY IN CHILDREN WITH SEPSIS CAUSED BY MULTIDRUG RESISTANT ORGANISMS

*Antimicrobial resistance (AMR) is one of the greatest threats to the modern global health system, demanding urgent action both nationally and internationally. The spread of multidrug-resistant Gram-negative flora significantly complicates the management of infectious diseases, particularly in intensive care units where patients are often critically ill and require highly effective and rapid antibiotic therapy. The relevance of the problem is further increased by limited access to modern antibacterial agents in some countries—especially in Ukraine—as well as by the rising incidence of infections resistant to carbapenems, colistin, cephalosporins, and β -lactam/ β -lactamase inhibitor combinations. The aim of this study was to assess the efficacy of synergistic combinations of antibacterial agents in treating sepsis caused by multidrug-resistant flora in children of various ages admitted to the intensive care unit of the National Children's Specialized Hospital «Okhmatdyt». The study included an analysis of 10 clinical cases of patients aged from 1 month to 17 years, who arrived in critical condition with confirmed septic processes caused by pathogens exhibiting multiple drug resistance. Both surgical and somatic patients were included. In all cases, bacteriological testing revealed multidrug-resistant pathogens, predominated by *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Acinetobacter baumannii*. To determine the optimal antibiotic combinations, the cross-testing method (cross-testing) and quantitative in vitro methods of assessing synergistic activity of antibacterial agents were used. During the study, several effective combinations were identified, including colistin + tigecycline, fosfomycin + colistin, imipenem + fosfomycin, aztreonam + ceftazidime/avibactam, meropenem +*

tigecycline, and colistin + rifampicin. In each clinical case, the therapeutic regimen was based on the sensitivity test results of the isolates to the synergistic combinations, allowing avoidance of ineffective empirical therapy and achieving a rapid positive dynamic. A significant decrease in levels of inflammatory biomarkers—C-reactive protein, procalcitonin, and interleukin -6—was observed, indicating a reduction in systemic inflammatory response. For example, in the case of a patient with Acinetobacter baumannii and Pseudomonas aeruginosa, following the application of meropenem plus tigecycline, IL -6 decreased from 848 pg/mL to 69.08 pg/mL, and procalcitonin dropped from 89.19 ng/mL to 0.43 ng/mL. In other cases, combinations of colistin with tigecycline or meropenem also provided positive clinical courses, normalization of inflammatory markers, and improvement in overall patient condition. The results obtained indicate advantages of the therapeutic approach based on assessment of synergistic action of antibiotics, especially under conditions in which standard antibacterial agents prove ineffective due to high levels of pathogen resistance. The method of selecting antibiotic therapy considering synergy enhances treatment efficacy. Such data are an essential component for rational prescribing of antibiotics in clinical practice, particularly in managing critically ill children suffering from severe infectious complications. In conclusion, the study results demonstrate the advisability of applying approaches founded on synergistic action of antibacterial agents in treating multidrug-resistant infections in children. Use of such methodologies is especially relevant in resource-limited environments where access to modern, costly antibiotics recommended by international protocols is lacking.

Key words: Sepsis, multidrug-resistant organisms, antimicrobial resistance, synergistic effect, procalcitonin, C-reactive protein, leukocytes.

**Стаття до редакції надійшла 03.09.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 22.09.2025 року**

**НОРМАЛЬНА І ПАТОЛОГІЧНА АНАТОМІЯ ТА
ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ І ТВАРИН**

УДК 612.122

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-69-77

Коломойцев М.

аспірант кафедри біології
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
kol.max231199@gmail.com
orcid.org/0009-0005-8374-1158

Шейко В. І.

доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри загальної біології
та методики навчання природничих дисциплін
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка
interlycin@ukr.net
orcid.org/0000-0001-7932-4478

**ПОКАЗНИКИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ТА ІНТЕГРАТИВНИХ
ГЕМОДИНАМІЧНИХ ІНДЕКСІВ У МЕЛАНХОЛІКІВ ТА ФЛЕГМАТИКІВ**

Сучасна медико-біологічна наука спрямовує свої дослідження на вивчення співвідношень локальних та загальних характеристик організму людини, а саме різноманітним взаємозв'язкам між фізіологічними функціями та індивідуальними особливостями: конституція тіла, діяльність центральної нервової системи (тип вищої нервової діяльності), що створює фундамент для прогнозування адаптаційно-компенсаторних реакцій та реактивності фізіологічних процесів, які протікають в цілісному організмі. Наукові публікації останніх років містять інформацію, яка характеризує зміни в показниках центральної гемодинаміки залежно від конституції тіла, патофізіологічних процесів та станів, адаптаційних реакцій. Саме показник діяльності серцево-судинної системи на фоні різноманітних фізіологічних реакцій (фізичні та розумові навантаження, стан основних нервових процесів, діяльність вищих відділів центральної нервової системи) виступають об'єктивними індикаторами, які характеризують адаптаційні можливості та резерви, а також ступінь пристосованості організму до дії ендогенних та екзогенних факторів середовища.

Метою нашого дослідження є проведення порівняльного аналізу показників центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексів у меланхоліків та флегматиків.

В нашому дослідженні взяла участь група волонтерів загальною кількістю 90 осіб (чоловічої та жіночої статі 51 % та 49 % відповідно), середній вік яких становив 21,5±1,2 рік. Перша група 45 осіб з меланхолічним типом ВНД, друга група 45 осіб з флегматичним типом ВНД. Всі волонтери давали письмову згоду на участь в нашому дослідженні. Тип вищої нервової діяльності визначали за допомогою

тестового-опитувальника. Стан показників центральної гемодинаміки визначали за такими показниками: частота серцевих скорочень, середня тривалість серцевого циклу, артеріальний тиск (сistolічний та діастолічний), пульсовий тиск, середній артеріальний тиск, систолічний об'єм крові, хвилиний об'єм крові, секундний об'єм крові, серцевий індекс, коефіцієнт економичності кровообігу, потужність роботи лівого шлуночка серця, індекс Робінсона, вегетативний індекс Кердо, загальний периферійний опір судин. Робота виконувалась 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.

Величини діастолічного артеріального тиску, індексу Робінсона та загального периферійного опору судин у флегматиків була достовірно більшою в порівнянні з меланхоліками на 4,8 мм.рт.ст.; 4,5 у.о.; 74 у.о. відповідно. Значення хвилиного об'єму крові, коефіцієнту економичності кровообігу та вегетативний індекс Кердо у флегматиків були достовірно менші в порівнянні з меланхоліками на 125,5 мл/хв; 261,3 у.о.; 0,5 у.о. відповідно.

Флегматики мають більш стійкі функціонально-фізіологічні регуляторні системи в порівнянні з меланхоліками, що може вказувати на високу резистентність до впливу ендогенних та екзогенних факторів на організм в порівнянні з меланхоліками.

Ключові слова: тип вищої нервової діяльності, центральна гемодинаміка, артеріальний тиск, СОК, ХОК, гемодинамічні індекси, регуляція діяльності серця, компенсаторні механізми адаптації.

Вступ. Сучасна медико-біологічна наука спрямовує свої дослідження на вивчення співвідношень локальних та загальних характеристик організму людини, а саме різноманітним взаємозв'язкам між фізіологічними функціями та індивідуальними особливостями: конституція тіла, діяльність центральної нервової системи (тип вищої нервової діяльності), що створює фундамент для прогнозування адаптаційно-компенсаторних реакцій та реактивності фізіологічних процесів, які протікають в цілісному організмі [2; 3; 5; 16].

Наукові публікації останніх років містять інформацію, яка характеризує зміни в показниках центральної гемодинаміки залежно від конституції тіла, патофізіологічних процесів та станів, адаптаційних реакцій [9; 10; 15].

Саме показник діяльності серцево-судинної системи на фоні різноманітних фізіологічних реакцій (фізичні та розумові навантаження, стан основних нервових процесів, діяльність вищих відділів центральної нервової системи) виступають об'єктивними індикаторами, які характеризують адаптаційні можливості та резерви, а також ступінь пристосованості організму до дії ендогенних та екзогенних факторів середовища [6].

Дослідження в галузі нормальної та патологічної фізіології виявили певний взаємозв'язок між адаптаційно-компенсаторними реакціями організму та типами вищої нервової діяльності [4; 14]. Досить глибоко вивчені зміни в кількісних та якісних характеристиках крові на фоні різноманітних стресових реакцій, було виявлено, що кількість еритроцитів та концентрація гемоглобіну мали кореляційний зв'язок з показниками сили нервових процесів та збудженням і гальмуванням то-б-то залежали від типу вищої нервової діяльності (ВНД) [4; 14].

Враховуючи вище викладене можна допустити, що тип ВНД має вплив не лише показники крові, а й на інші показники організму в тому числі показники центральної гемодинаміки.

Таким чином метою нашого дослідження є проведення порівняльного аналізу показників центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексів у меланхоліків та флегматиків.

Методи та організація дослідження. В нашому дослідженні взяла участь група волонтерів загальною кількістю 90 осіб (чоловічої та жіночої статі 51 % та 49 % відповідно), середній вік яких становив $21,5 \pm 1,2$ рік. Перша група 45 осіб з меланхолічним типом ВНД, друга група 45 осіб з флегматичним типом ВНД. Всі волонтери давали письмову згоду на участь в нашому дослідженні.

Тип вищої нервової діяльності визначали за допомогою тестового-опитувальника [8; 12]. Стан показників центральної гемодинаміки визначали за такими показниками: частота серцевих скорочень (ЧСС), середня тривалість серцевого циклу, артеріальний тиск (сistolічний та діастолічний), пульсовий тиск (ПАТ або ПТ), середній артеріальний тиск, систолічний об'єм крові (СОК), хвилинний об'єм крові (ХОК), секундний об'єм крові, серцевий індекс (СІ), коефіцієнт економічності кровообігу (КЕК), потужність роботи лівого шлуночка серця (Wлш), індекс Робінсона (ІР), вегетативний індекс Кердо (ВІК), загальний периферійний опір судин (ЗПО) [6; 11; 13].

Пульсовий артеріальний тиск (ПАТ або ПТ):

$$\text{ПАТ} = \text{САТ} - \text{ДАТ},$$

де, ПАТ – пульсовий артеріальний тиск, мм.рт.ст.; САТ – систолічний артеріальний тиск, мм рт. ст.; ДАТ – діастолічний артеріальний тиск, мм рт. ст.

Систолічний об'єм крові (СОК) розраховували за формулою Старра:

$$\text{СОК} = 97,7 + 0,5 \cdot \text{ПАТ} - 0,6 \cdot \text{ДАТ} - 0,6 \cdot \text{В},$$

де, СОК – систолічний об'єм крові, мл; ПАТ – пульсовий артеріальний тиск, мм рт.ст.; ДАТ – діастолічний артеріальний тиск, мм рт. ст.; В – вік людини, роки.

Хвилинний об'єм кровотоку (ХОК) визначали за такою формулою:

$$\text{ХОК} = \text{ЧСС} \cdot \text{СОК},$$

де, ХОК – хвилинний об'єм крові, л/хв; ЧСС – частота серцевих скорочень, уд./хв; СОК – систолічний об'єм крові, мл.

Коефіцієнт економічності системи кровообігу (КЕК) розраховували за формулою:

$$\text{КЕК} = \text{ЧСС} \cdot \text{ПАТ},$$

де, КЕК – коефіцієнт економічності кровообігу, у.о.; ЧСС – частота серцевих скорочень, уд./хв; ПАТ – пульсовий артеріальний тиск, мм рт. ст..

Вегетативний індекс Кердо, який розраховувався за формулою:

$$\text{ВІК} = (1 - \text{ДАТ} / \text{ЧСС}) \cdot 100,$$

де, ВІК – вегетативний індекс Кердо, у.о.; ЧСС – частота серцевих скорочень, уд./хв; ДАТ – діастолічний артеріальний тиск, мм рт. ст. Інтерпретація результатів спирається на величину та знак отриманого індексу: «+» вказує на активацію симпатичної частини, «-» вказує на активацію парасимпатичної частини вегетативної нервової системи (за модулем значення вказує на ступінь активації складових вегетативної нервової системи)

Серцевий індекс (СІ) розраховували за формулою:

$$\text{СІ} = \text{ХОК} / (\text{МТ} \cdot 0,425 \cdot \text{ДТ} \cdot 0,725 \cdot 0,007184),$$

де, СІ – серцевий індекс, л/хв/м²; ХОК – хвилинний об'єм кровотоку, л/хв; МТ – маса тіла, кг; ДТ – довжина тіла, см.

Середній артеріальний тиск (САТ) розраховували за формулою:

$$\text{САТ} = \text{ДАТ} + 0,5 \cdot \text{ПАТ},$$

де, САТ – середній артеріальний тиск, мм.рт.ст.; ДАТ – діастолічний артеріальний тиск, мм.рт.ст.; ПАТ – пульсовий артеріальний тиск, мм.рт.ст.

Загальний периферійний опір (ЗПО) розраховували за формулою:

$$\text{ЗПО} = (\text{САТ} \cdot 1333 \cdot 60) / \text{ХОК};$$

де, ЗПО – загальний периферійний опір, у.о.; САТ – середній артеріальний тиск, мм.рт.ст.; ХОК – хвилинний об'єм крові, л/хв.

Індекс Робінсона (ІР) розраховували за формулою:

$$\text{ІР} = \text{ЧСС} \cdot \text{САТ} / 100,$$

де, ІР – індекс Робінсона, у.о.; ЧСС – частота серцевих скорочень, уд./хв; САТ – систолічний артеріальний тиск, мм рт. ст. [6; 11; 13].

Для вимірювання ЧСС, систолічного та діастолічного тиску (САр. та ДАр.тиск) проводили за допомогою автоматичного вимірювача артеріального тиску Gamma control (Велика Британія).

Таблиця 1

Оцінка функціональних резервів серцево-судинної системи за індексом Робінсона (за авторами Мальцева О. Б., Ляховець Л. О., 2022 рік [11])

Індекс	Оцінка стану	
69 і менше	Відмінне	Функціональні резерви серцево-судинної системи у відмінній формі
70 – 84	Добре	Функціональні резерви серцево-судинної системи в нормі
85 – 94	Середнє	Можна говорити про недостатність функціональних можливостей серцево-судинної системи.
95 – 110	Погане	Є ознаки порушення регуляції діяльності серцево-судинної системи.
111 і більше	Дуже погане	Регуляція діяльності серцево-судинної системи порушена

Всі вимірювання проводилися тричі в статистичну обробку бралися середньо-арифметичні значення.

Статистичну обробку матеріалу здійснювали з допомогою програми Microsoft Excel.

Координацію дослідження здійснювалось кафедрою біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя.

Робота виконувалась у відповідності до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України [1; 7].

Результати та їх обговорення. Результати наших досліджень представлені в таблиці 2. Показники СОК, ХОК, секундного об'єму крові та КЕК у меланхоліків та флегматиків були більші за референтні значення. У флегматиків більші за референтні значення були показники систолічного артеріального тиску.

Достовірних відмінностей в показниках центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексів між меланхоліками та флегматиками не було виявлено за такими значеннями: ЧСС, середня тривалість серцевого циклу, САр., ПАТ (ПТ), середній артеріальний тиск, СОК, секундний об'єм крові, серцевий індекс, потужність роботи лівого шлуночка серця.

Величини ДАр. тиску, ІР та ЗПО у флегматиків була достовірно більшою в порівнянні з меланхоліками на 4,8 мм.рт.ст.; 4,5 у.о.; 74 у.о. відповідно. Значення ХОК, КЕК та ВІК у флегматиків були достовірно менші в порівнянні з меланхоліками на 125,5 мл/хв; 261,3 у.о.; 0,5 у.о. відповідно.

Аналізуючи відносні зміни в показниках центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексах між представниками меланхолічного типу ВНД та флегматичним типом ВНД, слід відмітити, що показники ЧСС, САр., ДАр., середнього артеріального тиску, серцевого індексу, ІР, ЗПО були більші на 4,7 %, 2,6 %, 7 %, 5,7 %, 7,4 %, 4 %, 6,5 % відповідно.

Відносні зміни середньої тривалості серцевого циклу, ПАТ (ПТ), СОК, ХОК, секундного об'єму крові, потужності роботи лівого шлуночка серця, КЕК, індексу Кердо були менші у флегматиків в порівнянні з меланхоліками на 4,3 %, 3,7 %, 4,8 %, 2 %, 2,1 %, 4,9 %, 5,6 %, 12,6 % відповідно.

Таблиця 2

**Показники центральної гемодинаміки
та інтегративних гемодинамічних індексів ($M \pm m$)**

Показники	референт	меланхоліки	флегматики
ЧСС, уд/хв.	50-90	86±4,1	90±4,5
Середня тривалість серцевого циклу	1,2-0,66	0,7±0,06	0,67±0,04
САр.тиск, мм.рт.ст.	110-120	120,0±3,4	123,1±1,2
ДАр.тиск, мм.рт.ст.	70-80	67,6±2,1	72,35±2,1*
ПАТ (ПТ), мм.рт.ст.	40-60	52,43±2,7	50,5±2,22
Середній артеріальний тиск	80,0-100	85,04±2,32	89,91±2,2
СОК, мл.	44-60	69,7±1,6	66,32±1,1
ХОК, мл. за хв.	3000-4000	5994,4±15,9	5868,9±22,6*
Секундний об'єм крові, мл. за с.	50-66,66	99,91±1,6	97,82±1,1
Серцевий індекс (CI)	-	7,83±0,27	8,41±0,32
$W_{\text{лш}}$	-	1,23±0,04	1,17±0,03
Коефіцієнт економічності кровообігу	2600	4704,57±34,23	4443,28±24,1*
Індекс Робінсона	-	105,5±3,4	110,04±3,3*
Індекс Кердо	-	-3,9±0,15	-4,39±0,13*
ЗПО	-	1130,8±21,2	1204,8±20,5*

* – достовірність змін між меланхоліками та флегматиками, $p < 0,05$.

Отримані нами результати вказують на деяку вірогідність функціонального напруження в діяльності серцево-судинної системи та незначну активацію симпатичної складової вегетативної нервової системи у представників меланхолічного типу ВНД та наявності компенсаторних реакцій в судинному руслі, яка пом'якшує функціональне та фізіологічне напруження в діяльності. Так у меланхоліків більше витрачається енергії для забезпечення кровотоку по судинам, що супроводжується підвищенням потужності роботи лівого шлуночка серця та незначною активацією вегетативної нервової системи.

У флегматиків спостерігається менші функціональні навантаження на серцево-судинну систему в порівнянні з меланхоліками але є ознаки функціонального порушення в регуляції діяльності серця, на що вказує значення індексу Робінсона. Для флегматиків було характерно більш виражений тонус судинного русла в порівнянні з меланхоліками про що свідчить більший опір судин.

Таким чином у представників меланхолічного типу ВНД присутні ознаки функціонального напруження серцево-судинної системи та формування незначних компенсаторних реакцій судинного русла, що опосередковано може вказувати на залучення адаптаційно-компенсаторних резервів організму.

Висновки. Спираючись на отримані нами результати можна вказати на вірогідні ознаки функціонального напруження в діяльності серцево-судинної системи та наявність адаптаційних проявів в діяльності організму за меланхолічним типом ВНД в порівнянні з флегматичним типом ВНД.

То-б-то флегматики мають більш стійкі функціонально-фізіологічні регуляторні системи в порівнянні з меланхоліками, що може вказувати на високу резистентність до впливу ендогенних та екзогенних факторів на організм в порівнянні з меланхоліками.

Література

1. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». [Інтернет].

Документ 990_005, редакція від 01.10.2008. Доступно на: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005. (дата звернення 05.11.2024).

2. Глазков Е. О. Шейко В. І., Львов О. С. Вплив рухової активності на захворюваність студентів спеціальних медичних груп. *Вісник проблем біології і медицини*. 2015, Т.2, Вип. 4., С. 399 – 402.

3. Глазков Е. О. Шейко В. І., Львов О. С. Співвідношення конституції тіла та порушення в показниках здоров'я студентів спеціальних медичних груп. *Вісник проблем біології і медицини*. 2015. Т.1, Вип. 4, С. 319 -322.

4. Григор'єв В. Гематологічні показники собак з різними типами вищої нервової діяльності за короткотривалої харчової депривації. / Григор'єв В., Кориневська Т., Паневник І., Данчук О., Карповський В., Трач В. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*. – 2022, – Issue 102-103. – с. 118-122. DOI: 10.37000/abbsl.2022.102.20

5. Гриньків М. Я., Вовканич Л. С., Музика Ф. В. Спортивна морфологія (з основами вікової морфології): навч. посіб. Львів, 2015. 304 с.

6. Жарінова О. Функціональна діагностика (за редакцією О. Жарінова, Ю. Іваніва, В. Куця. Київ., «Четверта хвиля», 2021. 784 с.

7. Загальна декларація про біоетику та права людини. Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури: відділ етики науки і технології: сектор соціальних і гуманітарних наук [Інтернет]. 2005 жов. 19; 12 с. Доступно на: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>. (дата звернення 05.11.2024).]

8. Іонов І. А. Фізіологія вищої нервової діяльності (ВНД): навчальний посібник / І. А. Іонов, Т. Є. Комісова, А. В. Мамотенко, С.О. Шаповалов, Сукач О. М., Теремецька Н.Ф., Катеринич О. О. – Х. : ФОП Петров В.В., 2017. – 143 с.

9. Казначеев Д. А., Шейко В. І. Вплив регулярних занять спортом на показники центральної гемодинаміки у юнаків з вродженими вадами зору *Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*. 2024 № 4 С. 51-59. doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-4-51-59.

10. Казначеев Д. А., Шейко В. І. Особливості центральної гемодинаміки у дівчат з вродженими вадами зору. *Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*. 2024 № 3. С. 59-65. doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-3-59-65.

11. Мальцева О. Б., Ляховець Л. О. Функціональна та клініко-лабораторна діагностика: навчальний посібник м. Ужгород, Вид. ТОВ Прінтлайн, 2022. – 213 С.

12. Нейробіологія розвитку та навчання: навчальний посібник / А. А. Ковальова, О.В. Ковальова, О.В. Ковальова, О.М. Бурка, О.А. Присяжнюк. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 325 с.

13. Функціональна діагностика при фізичній реабілітації та оцінці її ефективності: Навчальний посібник / В. В. Клапчук, А. В. Єрмолаєва. – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2022. 75 с.

14. Черепніна А. Обмін білка в організмі свиней з різними параметрами нервової системи (огляд). / Черепніна А., Карповський В., Постой Р., Василів А., Данчук О. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*. – 2020, – Issue 97. – с.79-93. DOI: 10.37000/abbsl.2020.97.10.

15. Шейко В. І., Боярчук О. Д., Кучменко О. Б., Гавій В. М., Глазков Е. О. Особливості центральної гемодинаміки у студентів з різною статурою. *АСТА CARPATHICA Збірник наукових праць*. 2023. Випуск 39. № 1. С. 59 – 65. DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.7>

16. Medicine, biology and pharmacy: development trends and current problems: collective monograph [ISBN – 979-8-89692-720-4 DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.MED.2]/ Rusnak I., Basant K., Kulachek V., Kulachek Y., Akentjev S. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2025. 193 p. Розд. Місце типів вищої нервової діяльності в регуляторних механізмах гомеостазу цілісного організму. – Коломойцев М. С. 126 – 135. DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.MED.2.4.1.

References

1. Gelsinska dtklaracij Vsesvitnoi medichnoi asociacii (2008). «Etichni principii medichnih doslidgen za uchastj lydini u ykosti obekta doslidgen» [“Ethical principles of medical research

involving a person as a research object"] document 990_005. dostup https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005 (05.11.2024) [in Ukrainian].

2. Glazkov E. A., Sheiko V. I(H), Lvov A. S. (2015) Vpliv ruhovoi aktivnosti na zahvorjvannist studentiv specialnih medichnih grup [The impact of physical activity on the morbidity of students of special medical groups] Visnik problem biologii I medicine – Bulletin of Problems of Biology and Medicine. V2., P. 399 – 402. [in Ukrainian].

3. Glazkov E. A., Sheiko V. I(H), Lvov A. S. (2015) Spivvidnoshennj konstitucii tila ta porushen v pokaznikahzdorovj studentiv specialnih medichnih grup [Correlation between body constitution and health indicators of students of special medical groups] Visnik problem biologii I medicine – Bulletin of Problems of Biology and Medicine. 2015. V.1, P. 319 -322. [in Ukrainian].

4. Grigoriev V. (2022) Gematologichni pokazniki sobak p riznim tipami vischoi nervovoi dijlnosti za korotkoi harchovoi dtrivacii [Hematological parameters of dogs with different types of higher nervous activity during short-term food deprivation] Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. Issue 102-103. P. 118-122. DOI: 10.37000/abbsl.2022.102.20 [in Ukrainian].

5. Grinkiv M. J., Vovkanich L. S., Muzika F. V. (2015) Sportivnaj morfologij (z osnovami vikovoi morfologii) [Sports morphology (with the basics of age-related morphology)]. Lviv- Lviv 304 p. [in Ukrainian].

6. Garinova, O., Ivaniv, Y., Kucj, V. (2021) Funkcionalna diagnostika [Functional diagnostics] Kyiv. Chetverta hvilj – Kyiv «Fourth wave» [in Ukrainian].

7. Zagalna deklaracij pro bioetiku ta prava lydini (2005). [General Declaration on Bioethics and Human Rights]. Organizacij Obednanih Nacii z pitan osviti, nauki I kulturi: viddil etiki nauki I tehnologij: stktor socialnih I gumanitarnih nauk. Dostup: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (05.11.2024) [in Ukrainian].

8. Ionov I. A. (2017) Fiziologij vischoi nervovoi dijlnosti (VND): navchalnii posibnik [Physiology of higher nervous activity (HNA)] – Harkiv. FOB Petrov – Kharkiv FOP Petrov V.V. [in Ukrainian].

9. Kaznacheev D. A., Sheiko V. I(H). (2024) Vpliv reguljrnih zanjt sportom na pokazniki centralnoi gemodinamiki u ynakiv z vrodgen vadami zoru [The effect of regular sports on central hemodynamics in young men with congenital visual impairments] Naukovi zapiski. Biologichni nauki. (Niginskiy dergavniy universitet imeni Mikoli Gogolj) – Proceedings. Biological Sciences (Mykola Gogol Nizhyn State University). № 4 P. 51-59. doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-4-51-59. [in Ukrainian].

10. Kaznacheev D. A., Sheiko V. I(H). (2024) Osoblivosti centralnoi gemodinamiki u divchat z vrodgenimi vadami zoru [Features of central hemodynamics in girls with congenital visual impairments] Naukovi zapiski. Biologichni nauki. (Niginskiy dergavniy universitet imeni Mikoli Gogolj) – Proceedings. Biological Sciences (Mykola Gogol Nizhyn State University). № 3. P. 59-65. doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-3-59-65. [in Ukrainian].

11. Malceva O. B., Ljhovec L. O. (2022) Funkcionalna ta kliniko-laboratorna diagnostika [Functional and clinical laboratory diagnostics] – Uggorod TOV Printlain – Uzhhorod, Publisher: Printline LLC, 213 p. [in Ukrainian].

12. Kovalova A. A. (2022) Nejrobiologij rozvitku ta navchannj [Developmental Neurobiology and Learning: A Study Guide] – Zaporiggj NU “Zaporizcka politehnika” – Zaporizhzhia: National University "Zaporizhzhia Polytechnic" 325 p. [in Ukrainian].

13. Klapchuk V. V., Ermolaiva A. V. (2022) Funkcionalna diagnostika pri fizichnoi reabilitacii ta ocinci ii efektivnosti [Functional diagnostics in physical rehabilitation and assessment of its effectiveness] – Zaporiggj NU “Zaporizcka politehnika” – Zaporizhzhia: National University "Zaporizhzhia Polytechnic" 75 p. [in Ukrainian].

14. Cherepnin A. (2020) Obmin bilka v organizmi sviniv z riznimi parametrami nervovoi sistemi (oglyd) [Protein metabolism in pigs with different nervous system parameters (review)] / A. Cherepnin, V. Karpovskiy, R. Postoi, A. Vasiliv, O. Danchuk. Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. – Issue 97. – P.79-93. DOI: 10.37000/abbsl.2020.97.10. [in Ukrainian].

15. Shtiko V. I(H) (2023) Osoblivosti centralnoi gemodinamiki u studentiv z riznoy staturoy [Features of central hemodynamics in students with different physiques] / V. I(H) Sheiko, O. D. Boyrchuk, O. B. Kuchmenko, V. M. Gavii, E. A. Glazkov. ACTA CARPATHICA. V. 39. № 1. P. 59 – 65. DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.7> [in Ukrainian].

16. Kolomoicev M. (2025) Medicine, biology and pharmacy: development trends and current problems: collective monograph [ISBN – 979-8-89692-720-4 DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.MED.2] / Rusnak I., Basant K., Kulachek V., Kulachek Y., Akentjev S. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2025. 193 p. Misce tipov vischoi nervovoi dijlnosti v reguljcii mehanizmiv gomeostazu cilisnogo organixmu [The place of types of higher nervous activity in the regulatory mechanisms of homeostasis of the whole organism]. – Boston : Primedia eLaunch P. 126 – 135. DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.MED.2.4.1. [in Ukrainian].

Kolomojtssev M.

Postgraduate Student, Department of Biology
Nizhyn State University named after Mykola Gogol
kol.max231199@gmail.com
orcid.org/0009-0005-8374-1158

Sheyko V.

Doctor of Biological Sciences, Professor,
Professor of the Department of General Biology
and Methods of Teaching Natural Sciences
Ternopil National Pedagogical University
Named after Volodymyr Hnatyuk
interlycin@ukr.net
orcid.org/0000-0001-7932-4478

INDICATORS OF CENTRAL HEMODYNAMICS AND INTEGRATIVE HEMODYNAMIC INDEXES IN MELANCHOLICS AND PHLEGMATICS

Modern biomedical science directs its research to the study of the correlations between local and general characteristics of the human body, namely, various relationships between physiological functions and individual characteristics: body constitution, activity of the central nervous system (type of higher nervous activity), which creates a foundation for predicting adaptive and compensatory reactions and reactivity of physiological processes occurring in the whole organism. Scientific publications of recent years contain information that characterizes changes in central hemodynamics indicators depending on body constitution, pathophysiological processes and states, and adaptive reactions. Modern biomedical science directs its research to the study of the correlations between local and general characteristics of the human body, namely, various relationships between physiological functions and individual characteristics: body constitution, activity of the central nervous system (type of higher nervous activity), which creates a foundation for predicting adaptive and compensatory reactions and reactivity of physiological processes occurring in the whole organism. Scientific publications of recent years contain information that characterizes changes in central hemodynamics indicators depending on body constitution, pathophysiological processes and states, and adaptive reactions.

The purpose of our study is to conduct a comparative analysis of central hemodynamic indicators and integrative hemodynamic indices in melancholic and phlegmatic individuals.

Our study involved a group of volunteers totaling 90 people (male and female 51 % and 49 %, respectively), whose average age was 21.5 ± 1.2 years. The first group consisted of 45 people with a melancholic type of higher nervous activity, the second group consisted of 45 people with a phlegmatic type of higher nervous activity. All volunteers gave written consent to participate in our study. The type of higher nervous activity was determined using a test questionnaire. The state of central hemodynamics was determined by the following indicators: heart rate, average duration of the cardiac cycle, blood pressure (systolic and diastolic), pulse pressure, mean arterial pressure, systolic blood volume,

minute blood volume, second blood volume, cardiac index, circulatory efficiency coefficient, left ventricular work capacity, Robinson index, Kerdo vegetative index, total peripheral vascular resistance. The work was performed in accordance with bioethical standards in compliance with the relevant principles of the Helsinki Declaration of Human Rights, the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine, and relevant laws of Ukraine.

The values of diastolic blood pressure, Robinson index and total peripheral vascular resistance in phlegmatics were significantly higher compared to melancholics by 4.8 mmHg; 4.5 u.o.; 74 u.o. respectively. The values of minute blood volume, blood circulation efficiency coefficient and Kerdo vegetative index in phlegmatics were significantly lower compared to melancholics by 125.5 ml/min; 261.3 u.o.; 0.5 u.o. respectively.

Phlegmatics have more stable functional and physiological regulatory systems compared to melancholics, which may indicate a high resistance to the effects of endogenous and exogenous factors on the body compared to melancholics.

Key words: type of higher nervous activity, central hemodynamics, blood pressure, systolic blood volume, minute blood volume, hemodynamic indices, regulation of cardiac activity, compensatory adaptation mechanisms.

Стаття до редакції надійшла 08.09.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 21.09.2025 року

УДК 159,91

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-78-86

Комісова Т. Є.

кандидат біологічних наук, професор,
завідувачка кафедри анатомії і фізіології людини
імені професора Я.Р. Синельникова
Харківський національний педагогічний університет
імені Г.С. Сковороди
tatyanakomisova@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3959-8575

Мамотенко А. В.

кандидат біологічних наук,
старша викладачка кафедри анатомії і фізіології людини
імені професора Я.Р. Синельникова
Харківський національний педагогічний університет
імені Г.С. Сковороди
allamamotenko@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6101-9723

**АДАПТАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ
В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХ СТРЕСОСТІЙКОСТІ**

В умовах війни, оцінка рівня адаптаційного потенціалу в залежності від стресостійкості перестає бути суто науковим інтересом і стає практичним інструментом для збереження психічного здоров'я, забезпечення освітньої безпеки та формування психологічно стійкого покоління, яке буде відбудовувати Україну. У даному дослідженні проведено розгорнутий аналіз фізіологічних і психоемоційних показників здобувачів освіти, що дозволяє оцінити їхній функціональний стан та рівень адаптації до навчального навантаження в умовах воєнного стану. Основну увагу було приділено виявленню взаємозв'язків між соматичним параметром – адаптаційним потенціалом і психологічними характеристиками, зокрема ситуативною та особистісною тривожністю, а також сприйняттям стресу. Такий підхід дає змогу комплексно розглянути, як індивідуальні реакції організму відображають загальний рівень психофізіологічної стійкості учнівської та студентської молоді.

У ході дослідження визначили групи здобувачів освіти з різними адаптаційними можливостями. З'ясували, що умови воєнного стану суттєво погіршують психофізіологічні характеристики молоді, спричиняючи зростання емоційної напруги та тривожності, знижуючи ефективність адаптаційних механізмів. Найбільш виражену кореляцію ($r=0,83$) виявили між адаптаційним потенціалом (АП) та рівнем суб'єктивного сприйняття стресу (PSS-10). Встановлені позитивні кореляції ($r=0,67-0,74$) між показниками ситуативної (STAI-S), особистісної (STAI-T) тривожності та суб'єктивним сприйняттям стресу (PSS-10), доводять, що зростання обох типів тривожності веде до інтенсивнішого сприйняття стресу та, як наслідок, до напруження психофізіологічного стану. З'ясовано, що особи з підвищеною вразливістю до стресу мають ознаки напруження регуляторних систем і виявляють низький АП.

Отримані дані мають подвійне значення: вони не лише описують поточний стан досліджуваних груп, але й дають змогу відстежити тенденції у формуванні адаптаційних можливостей залежно від вікових особливостей, навчального середовища та рівня тривожності. Це слугує підґрунтям для подальшого порівняльного аналізу та ідентифікації ключових чинників, які визначають стійкість до стресу в контексті актуальних освітніх викликів.

Ключові слова: адаптаційний потенціал, рівні тривожності, здобувачі освіти, воєнний стан, функціональний стан.

Вступ. Війна в Україні створює безпрецедентний рівень стресу для всіх верств населення, особливо для здобувачів освіти, чий навчальний процес, соціальне життя та особиста безпека були кардинально порушені. Діти та молодь прифронтових регіонів можуть переживати втрату близьких, руйнування домівок, вимушене переселення, що прямо впливає на їхні адаптаційні можливості та психологічний стан. Постійна загроза, повітряні тривоги та непередбачуваність формують хронічний стрес, який виснажує адаптаційні ресурси організму.

Здатність здобувачів освіти адаптуватися до нових умов (дистанційне навчання, навчання в укриттях: підземних школах, у Харкові – метрошколах, зміна колективів) є критичною для збереження фізичного і психічного здоров'я, умовою запобігання академічній неуспішності. Оцінка адаптаційного потенціалу і стресостійкості дозволяє виявити серед студентів та учнів групи ризику, яким необхідна психологічна, соціально-педагогічна, а, можливо, медична підтримка.

У роботах останніх років підкреслюється, що зміна психофізіологічних показників суттєво відображається на психофізичному здоров'ї, викликаючи стрибки артеріального тиску, тахікардії, порушення сну, появу безсоння, головного болю, а також призводить до значного виснаження після навчального дня [1, 2, 4, 5, 9, 11]. У наших попередніх дослідженнях продемонстровано зниження процесів адаптації, напруження регуляторних механізмів на тлі високого рівня тривожності для учасників освітнього процесу різних вікових категорій, навчання яких здійснюється в дистанційному форматі в умовах воєнного стану [7, 8].

Слід зауважити, що війна матиме довготривалі наслідки, як для психічного, так і фізичного здоров'я для цілого покоління. В ряді зарубіжних робіт показано, що у дітей воєнного часу спостерігається відставання у фізичному розвитку [13, 14]. Довгостроковими наслідками у дітей, що пережили збройні конфлікти, вже у дорослому віці можуть бути порушення таких показників здоров'я, як індекс маси тіла, ожиріння тощо, значно частіше з'являються діабет, серцево-судинні розлади, що викликають гіпертонію, інсульт тощо [15-18].

Враховуючи, що війна в Україні триває й досі, залишаються актуальними дослідження серед молоді, що перебуває на прифронтових територіях, показників їх фізичного та психічного стану.

Метою дослідження постало з'ясувати зв'язки між показниками адаптаційного потенціалу, рівнем тривожності (STAI-S, STAI-T) та рівнем сприйняття стресу.

Методи та організація дослідження. Дослідження проведено протягом 2024–2025 навчального року на базі трьох освітніх установ – університету та ліцеїв міста Харкова, де навчання через складну безпекову ситуацію проводиться в дистанційному форматі. Вибірку склали 134 респонденти, віком 16–19 років: 65 старшокласників (10–11 класи) та 69 здобувачів першого та другого курсів першого (бакалаврського) рівня освіти ХНПУ імені Г.С. Сковороди. Усі учасники дослідження брали участь добровільно, з дотриманням етичних норм і правил конфіденційності. Батьки учнів дали письмову згоду на участь їхніх дітей в проведеному дослідженні.

Визначення рівня адаптаційного потенціалу (АП) організму у респондентів здійснили за допомогою методики Р.М. Баєвського [6, 10]. Цей підхід дозволив провести комплексну оцінку їхнього фізіологічного стану, зокрема показників серцево-судинної системи (артеріального тиску, частоти серцевих скорочень) з урахуванням зросту, маси тіла, віку.

Для діагностики рівнів тривожності, як поточного (ситуативного, STAI-S), так і стабільного (особистісного, STAI-T) застосували відповідні шкали методики Ч. Спілбергера (адаптованої Ю. Ханіним), відомої як Шкала реактивної та особистісної

тривожності [12], для суб'єктивного сприйняття стресу у респондентів – опитувальник С. Коена «Схильність до стресу» (PSS-10) [3].

Систематизацію та інтерпретацію результатів дослідження здійснювали методами математичної статистики у програмі Microsoft Office Excel. Проводили розрахунки середніх значень – M , стандартного відхилення вибірки S . Для виявлення взаємозв'язків між психофізіологічними параметрами використали коефіцієнт рангової кореляції Спірмена (ρ).

Результати досліджень та їх обговорення. Під час дослідження виявлено, що рівень адаптаційного потенціалу відповідає «задовільній адаптації» (у 38,5% учнів та 42,0% студентів) і «напруженню механізмів адаптації» (49,2% і 47,8%, відповідно) (табл. 1). То-б-то, більшості досліджуваним (88,8% від загального числа) характерне функціональне напруження організму при збереженні його резервів.

Таблиця 1

Оцінка показників адаптаційного потенціалу (АП) у респондентів

Учасники освітнього процесу	Рівень АП співвідносно інтервальним межам в ум.од.							
	Задовільна адаптація ($\leq 2,10$),		Напруження механізмів адаптації (2,11–3,20),		Незадовільна адаптація, (3,21–4,30),		Зрив адаптації, ($\geq 4,30$),	
	n	$M \pm S$	n	$M \pm S$	n	$M \pm S$	n	$M \pm S$
Учні, n= 65	25	1,67 ± 0,07	32	2,88 ± 0,09	8	4,06 ± 0,15	-	-
Студенти, n= 69	29	1,62 ± 0,05	33	2,64 ± 0,08	7	3,86 ± 0,11	-	-
Загальна кількість респондентів, n= 134	54	1,64 ± 0,06	65	2,76 ± 0,08	15	3,97 ± 0,12	-	-

У групі з «задовільною адаптацією» (40,3% респондентів) середні значення АП становили $1,61 \pm 0,05$, що відповідає оптимальному рівню функціонування серцево-судинної системи (див. табл. 1) Також, слід зазначити, що найчисельнішою групою стала категорія осіб з «напруженням механізмів адаптації» (48,5% здобувачів із загального числа досліджуваних), у яких середні значення адаптаційного потенціалу склали $2,76 \pm 0,08$, ум.од. (див. табл. 1).

Нами встановлено, що 11,2% обстеженим (12,3% учням та 10,2% студентам) властива «незадовільна адаптація» з високим середнім значенням АП ($3,97 \pm 0,12$, ум.од.), (див. табл. 1), що свідчить про критичне напруження та виснаження резервів організму у досліджуваних даної категорії, а це створює значний ризик зриву адаптації у відповідь на подальший стрес. У вибірці респондентів не виявлено випадків «зриву адаптації» (див. табл. 1), що вказує на відсутність гострого клінічного дезадаптаційного стану.

Аналізуючи рівень стресованості досліджуваних, з'ясовано, що середній рівень ситуативної тривожності спостерігається у 44,6% учнів та 49,3% студентів (табл. 2). Взагалі 47,0% респондентам із загального числа досліджуваних притаманний середній рівень ситуативної тривожності ($41,09 \pm 0,70$, ум.од.), що, відповідає помірній емоційній нарузі, типової для адаптаційного періоду.

Таблица 2

**Розподіл здобувачів освіти
за показниками ситуативної тривожності (STAI-S)**

Учасники освітнього процесу	Рівень ситуативної тривожності STAI-S (в балах)					
	Низький, (≤ 30 балів)		Середній, (31–45 балів)		Високий, (≥ 46 балів)	
	п	M±S	п	M±S	п	M±S
Учні, n= 65	2	28,09 ± 0,34	29	42,46 ± 0,69	34	56,08 ± 1,28
Студенти, n= 69	3	29,01 ± 0,38	34	41,78 ± 0,71	32	55,82 ± 1,19
Загальна кількість респондентів, n= 134	5	28,56 ± 0,36	63	41,09 ± 0,70	66	55,93 ± 1,24

Також виявлено, що майже половина досліджуваних (49,3%) мають високий рівень тривожності (55,93 ± 1,24, ум.од.) (див. табл. 2). Слід зазначити, що учнів з високим рівнем тривожності (52,3%) незначно більше, у порівнянні зі студентами (46,4%) (див. табл. 2). Ймовірно, даній групі досліджуваних характерний стан вираженої ситуативної емоційної мобілізації. Це особливо помітно серед школярів, порівняно зі студентами, що можливо корелює з віковою специфікою емоційного реагування. Хоча цей стан може сприяти адаптації тимчасово, і його перехід у хронічну форму є загрозою для психофізіологічної стійкості.

Переважає більшість респондентів (60,4% від загальної кількості досліджуваних) має середній рівень особистісної тривожності (42,84 ± 0,82 ум.од.) (табл. 3), що характеризує їх як емоційно чутливими та здатними швидко використовувати компенсаторні механізми для адаптації.

Таблица 3

**Розподіл здобувачів освіти
за показниками особистісної тривожності (STAI-T)**

Учасники освітнього процесу	Рівень особистісної тривожності STAI-T (в балах)					
	Низький, (≤ 30 балів)		Середній, (31–45 балів)		Високий, (≥ 46 балів)	
	п	M±S	п	M±S	п	M±S
Учні, n= 65	2	28,54 ± 0,35	39	42,72 ± 0,81	24	56,91 ± 1,29
Студенти, n= 69	4	29,02 ± 0,37	42	42,96 ± 0,82	23	55,82 ± 1,19
Загальна кількість респондентів, n= 134	6	28,83 ± 0,37	81	42,84 ± 0,82	47	55,93 ± 1,24

Також ми відмітили, що у третини обстежених (36,9% учнів та 33,3% студентів) спостерігається високий рівень тривожності (див. табл. 3). Наявність високих показників особистісної тривожності у 35,1%, із загальної кількості досліджуваних осіб, ймовірно, свідчить про розвиток у них перманентного постійного тривожного стану, який не пов'язаний з конкретними обставинами і може сприяти тривалому емоційному перенапруженню. Отже, третина учасників дослідження має підвищену особистісну тривожність (трейт-тривожність). Можливо, саме це створює підґрунтя для зниження психофізіологічної стійкості організму при впливі стресових чинників.

При визначенні рівня сприйняття стресу за шкалою PSS-10 у здобувачів освіти з різною категорією адаптаційного потенціалу нами виявлено, що особи із «задовільною адаптацією» продемонстрували найнижчі показники емоційного напруження (у межах 18,24–18,67 балів) (табл. 4). Натомість, у респондентів з рівнем АП «напруження механізмів адаптації» ці значення зростають в учнів на 21,4%, у студентів – на 20,0%, що свідчить про підвищення емоційної збудливості та посилення суб'єктивного сприйняття стресу у здобувачів з «напруженням механізмів адаптації».

Таблиця 4

Розподіл здобувачів освіти за рівнями сприйняття стресу за опитувальником PSS-10

Рівень адаптаційного потенціалу	PSS -10 учні, n=65		PSS -10 студенти, n=69		Загальна вибірка досліджуваних, n=134	
	n	M±S, ум.од.	n	M±S, ум.од.	n	M±S, ум.од.
Задовільна адаптація	25	18,67 ± 1,15	29	18,24 ± 1,09	54	18,41 ± 1,12
Напруження механізмів адаптації	32	23,76± 1,42	33	22,81± 1,22	65	23,42± 1,38
Незадовільна адаптація	8	31,22± 1,83	7	31,32± 1,84	15	31,27± 1,84

У групі осіб з «незадовільною адаптацією» зафіксовано максимальні показники за всіма параметрами шкали PSS-10 (PSS-10≈31,27) (див. табл. 4). Ймовірно, це є ознакою вираженого психофізіологічного виснаження.

Також слід відмітити, що особливо великих розбіжностей в отриманих показниках за рівнями сприйняття стресу за опитувальником PSS-10 в учнів та студентів відповідно груп з різними рівнями АП не виявлено. Це підтверджує універсальність взаємозв'язку між адаптацією, тривожністю та сприйняттям стресу.

Для встановлення взаємозв'язків між досліджуваними показниками – адаптаційним потенціалом (АП), ситуативною (STAI-S) та особистісною тривожністю (STAI-T), а також суб'єктивним сприйняттям стресу (PSS-10) нами проведено кореляційний аналіз із застосуванням методу Спірмена (ρ).

Отримані дані вказують на наявність значних позитивних кореляційних зв'язків між усіма проаналізованими вимірюваними параметрами. Найбільш виражена кореляція ($\rho=0,83$) виявлена між адаптаційним потенціалом (АП) та рівнем суб'єктивного сприйняття стресу (PSS-10) (табл. 5).

Таблиця 5

Кореляційний аналіз зв'язків між АП, тривожністю (STAI-S, STAI-T) та рівнем сприйняття стресу (PSS-10)

Показники	Адаптаційний потенціал (АП)	Рівень ситуативної тривожності (STAI-S)	Рівень особистісної тривожності (STAI-T)	Рівень сприйняття стресу (PSS-10)
АП	1,00	$\rho = 0,76$	$\rho = 0,69$	$\rho = 0,82$
STAI-S	$\rho = 0,76$	1,00	$\rho = 0,67$	$\rho = 0,73$
STAI-T	$\rho = 0,69$	$\rho = 0,68$	1,00	$\rho = 0,72$
PSS-10	$\rho = 0,83$	$\rho = 0,72$	$\rho = 0,74$	1,00

Така виразна кореляція між АП та PSS-10, ймовірно свідчить, що підвищення суб'єктивного відчуття стресу у здобувачів освіти прямо пропорційно пов'язане зі зниженням ефективності адаптаційних механізмів та фізіологічної стійкості організму.

Встановлені значні позитивні кореляції ($\rho=0,67-0,74$) між показниками ситуативної (STAI-S), особистісної (STAI-T) тривожності та суб'єктивним сприйняттям стресу (PSS-10) (див. табл. 5) доводять, що зростання обох типів тривожності веде до інтенсивнішого сприйняття стресу та, як наслідок, до напруження психофізіологічного стану. Отримані результати підтверджують взаємообумовленість психоемоційного та фізіологічного аспектів адаптаційного процесу.

Висновки. Таким чином, здобувачі освіти з високими показниками ситуативної (STAI-S) та особистісної (STAI-T) тривожності більш схильні гостро реагувати на стрес і мають менші адаптаційні резерви. Це повністю відповідає концепції системної саморегуляції, згідно з якою психоемоційне напруження має прямий вплив на функціональні можливості організму.

Література

1. Бичкова С., Король Т., Іккерт О. Психофізіологічний стан студентів в умовах війни. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2024. № 91. С. 73–85. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/biology/article/view/12251>
2. Буняк Н., Неплохов С., Кравченко В., Петрик Р. Психофізіологічна стабільність здобувачів вищої освіти як передумова збереження здоров'я. *Психологія і суспільство*. 2025. Т. 91, № 1. С. 196–207.
3. Вельдбрехт О. О., Тавровецька Н. І. Шкала сприйнятого стресу (PSS-10): адаптація та апробація в умовах війни. *Проблеми сучасної психології*. 2022. Т. 2. № 25. С. 16–27.
4. Дмитроца О. Р., Коржик О. В., Демчук В. І. Вплив дистанційного навчання на адаптаційні можливості організму школярів. *Охорона здоров'я дітей та підлітків*. 2023. № 1/2. С. 69–75. URL: <http://journal.iozdp.org.ua/index.php/ua/article/view/124/114>
5. Дорошенко І. В. Переваги та недоліки дистанційного навчання в Україні в умовах війни. *Актуальні питання інтернаціоналізації вищої освіти в Україні в умовах сучасних освітніх реалій*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (Біла Церква, 21-22 берез. 2024 р.). Біла Церква : БНАУ, 2024. С. 189–192. URL: https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_actual_pitan_intern_21-22.03.24.pdf
6. Іонов І. А., Комісова Т. Є., Мамотенко А. В., Шаповалов С. О., Сукач О. М., Теремецька Н. Ф., Катеринич О. О. Фізіологія вищої нервової діяльності (ВНД): навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. до лаб. занять з курсу «Фізіологія ВНД». Харк. нац. пед. ун-т імені Г. С. Сковороди. Харків : ФОП Петров В. В., 2017. 143 с.
7. Комісова Т., Мамотенко А., Коваленко Л., Федяй І., Осинський М. Комплексне дослідження психофізіологічних показників учасників освітнього процесу в умовах воєнного стану. *Наукові записки. Біологічні науки* (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя). Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя. 2024. № 1/2. С. 94–102. URL: http://lib.ndu.edu.ua/dspace/bitstream/123456789/3758/1/961-2_2024-94-102.pdf
8. Комісова, Т., Харченко, Л., Осинський М., Коваль А. Адаптаційні можливості дітей різних вікових груп при дистанційному навчання в умовах воєнного стану. *Біологія та екологія*. 2024. Т. 10, № 2. С. 109–116. <https://doi.org/10.33989/2024.10.2.323768>
9. Кравець Л. М., Ригель О. В., Прокопів Л. Я. Формування стресостійкості учасників освітнього процесу в умовах освітніх криз. *Академічні візії*. 2025. Випуск 47. С. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17155921>
10. Леонтьєва З. Розрахунок адаптаційного потенціалу, оцінка адаптаційних можливостей організму і рівнів здоров'я студентів Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького. *Праці наукового товариства ім. Шевченка. Медичні науки*. 2017. Т. 47. С. 64–70.
11. Хома К. Переваги і недоліки дистанційної форми навчання в кризових умовах війни. *Теоретична і дидактична філологія. Серія: Педагогіка. Філологія*: зб. наук. пр. / Ун-т Григорія Сковороди в Переяславі. Переяслав, 2023. Вип. 36. С. 93–100.

12. Шкали самооцінки тривожності Ч. Спілбергера – Ю. Ханіна. URL: <https://vseosvita.ua/library/skali-samoocinki-trivoznosti-c-spilbergera-uhanina-123114.html> (дата звернення: 27.01.2023).
13. Akbulut-Yuksel M. Children of war: The long-run effects of large-scale physical destruction and warfare on children. *Journal of Human resources*. 2014. Vol. 49, No 23. P. 634–662.
14. Bogic M., Njoku A., Priebe S.. Long-term mental health of war-refugees: a systematic literature review. *BMC international health and human rights*. 2015. No 15. P. 1–41.
15. Bürgin D, Anagnostopoulos D, Board and Policy Division of ESCAP, Vitiello B, Sukale, T, Schmid M, Fegert JM. Impact of war and forced displacement on children's mental health: multilevel, needs-oriented, and trauma-informed approaches. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2022. Vol. 31, No 6. P. 845–853. doi: 10.1007/s00787-022-01974-z.
16. Harb G. C, Schultz J. H. The nature of posttraumatic nightmares and school functioning in war-affected youth. *PLoS One*. 2020. Vol. 15, No 11. e0242414. doi: 10.1371/journal.pone.0242414.
17. Osokina O, Silwal S, Bohdanova T, Hodes M, Sourander A, Skokauskas N. Impact of the Russian Invasion on Mental Health of Adolescents in Ukraine. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 2023. Vol. 62, No 3. P. 335–343. doi: 10.1016/j.jaac.2022.07.845.
18. Riad A, Drobov A, Krobot M, Antalová N, Alkasaby MA, Peřina A, Kořčík M. Mental Health Burden of the Russian-Ukrainian War 2022 (RUW-22): Anxiety and Depression Levels among Young Adults in Central Europe. *Int J Environ Res Public Health*. 2022. Vol. 19, No 14. P. 8418. doi: 10.3390/ijerph19148418.

References

1. Bychkova S., Korol T., Ikkert O. (2024) Psykhofiziologichyi stan studentiv v umovakh viiny [Psychophysiological state of students in war conditions] *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya biolohichna*. № 91. S. 73–85. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/biology/article/view/12251> [in Ukrainian].
2. Buniak N., Neplokhov S., Kravchenko V., Petryk R. (2025) Psykhofiziologichna stabilnist zdobuvachiv vyshchoi osvity yak peredumova zberezhennia zdorovia [Psychophysiological stability of higher education students as a prerequisite for maintaining health. *Psykhohiia i suspilstvo*]. T. 91, № 1. S. 196–207. [in Ukrainian].
3. Veldbrekht O. O., Tavrovetska N. I. (2022) Shkala spryiniatoho stresu (PSS-10): adaptatsiia ta aprobatyia v umovakh viiny [Perceived stress scale (PSS-10): adaptation and testing in war conditions]. *Problemy suchasnoi psykhohiia*. T. 2. № 25. S. 16–27. [in Ukrainian].
4. Dmytrotsa O. R., Korzhyk O. V., Demchuk V. I. (2023) Vplyv dystantsiinoho navchannia na adaptatsiini mozhyvosti orhanizmu shkoliariv [The impact of distance learning on the adaptive capabilities of schoolchildren]. *Okhorona zdorovia ditei ta pidlitkiv*. № 1/2. C. 69–75. URL: <http://journal.iozdp.org.ua/index.php/ua/article/view/124/114>. [in Ukrainian].
5. Doroshenko I. V. (2024) Perevahy ta nedoliky dystantsiinoho navchannia v Ukraini v umovakh viiny [Advantages and disadvantages of distance learning in Ukraine in wartime]. *Aktualni pytannia internatsionalizatsii vyshchoi osvity v Ukraini v umovakh suchasnykh osvitynikh realii: materialy V Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (Bila Tserkva, 21-22 berez. 2024 r.)*. Bila Tserkva : BNAU. S. 189–192. URL: https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_actual_pitan_intern_21-22.03.24.pdf. [in Ukrainian].
6. Ionov I. A., Komisova T. Ye., Mamotenko A. V., Shapovalov S. O., Sukach O. M., Teremetska N. F., Katerynych O. O. (2017) Fiziolohiia vyshchoi nervovoi diialnosti (VND): navch. posib. dlia stud. vyshch. navch. zakl. do lab. zaniat z kursu «Fiziolohiia VND» [Physiology of higher nervous activity (HNA): textbook for students of higher educational institutions for laboratory classes in the course "Physiology of HNA"]. *Khark. nats. ped. un-t imeni H. S. Skovorody*. Kharkiv : FOP Petrov V. V., 143 s. [in Ukrainian].
7. Komisova T., Mamotenko A., Kovalenko L., Fediai I., Osynskyi M. (2024) Kompleksne doslidzhennia psykhofiziologichnykh pokaznykiv uchasnykiv osvitnoho protsesu v umovakh voiennoho stanu [A comprehensive study of psychophysiological indicators of participants in the educational process in martial law]. *Naukovi zapysky. Biolohichni nauky (Nizhynskyi derzhavnyi universytet imeni Mykoly Hoholia)*. Nizhyn : NDU im. M. Hoholia. № 1/2. C. 94–102. URL: http://lib.ndu.edu.ua/dspace/bitstream/123456789/3758/1/961-2_2024-94-102.pdf. [in Ukrainian].

8. Komisova, T., Kharchenko, L., Osynskiy M., Koval A. (2024) Adaptatsiini mozhlyvosti ditei riznykh vikovykh hrup pry dystantsiinomu navchannia v umovakh voiennoho stanu [Adaptive capabilities of children of different age groups during distance learning in martial law]. *Bioloohia ta ekoloohia*. T. 10, № 2. S. 109–116. <https://doi.org/10.33989/2024.10.2.323768>. [in Ukrainian]
9. Kravets L. M., Ryhel O. V., Prokopiv L. Ya. (2025) Formuvannia stresostiikosti uchashnykiv osvithnoho protsesu v umovakh osvithnykh kryz [Formation of stress resistance of participants in the educational process in conditions of educational crises]. *Akademichni vizii*. Vypusk 47. S. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17155921>. [in Ukrainian]
10. Leontieva Z. (2017) Rozrakhunok adaptatsiinoho potentsialu, otsinka adaptatsiinykh mozhlyvostei orhanizmu i rivniv zdorovia studentiv Lvivskoho natsionalnoho medychnoho universytetu imeni Danyla Halytskoho [Calculation of adaptive potential, assessment of the adaptive capabilities of the body and health levels of students of the Danylo Halytsky Lviv National Medical University]. *Pratsi naukovoho tovarystva im. Shevchenka. Medychni nauky*. T. 47. S. 64–70. [in Ukrainian]
11. Khoma K. (2023) Perevahy i nedoliky dystantsiinoi formy navchannia v kryzovykh umovakh viiny [Advantages and disadvantages of distance learning in crisis conditions of war]. *Teoretychna i dydaktychna filoloohia. Seriya: Pedagogika. Filoloohia: zb. nauk. pr. / Un-t Hryhorii Skovorody v Pereiaslavi. Pereiaslav. Vyp. 36. S. 93–100*. [in Ukrainian]
12. Shkaly samoosinky tryvozhnosti Ch. Spielberhera – Yu. Khanina [Anxiety self-assessment scales of Ch. Spielberger – Yu. Khanin]. URL: <https://vseosvita.ua/library/skali-samooosinky-trivozhnosti-c-spielbergera-uhanina-123114.html> (data zvernennia: 27.01.2023). [in Ukrainian]
13. Akbulut-Yuksel M. (2014) Children of war: The long-run effects of large-scale physical destruction and warfare on children. *Journal of Human resources*. Vol. 49, No 23. P. 634–662. [in English].
14. Bogic M., Njoku A., Priebe S. (2015) Long-term mental health of war-refugees: a systematic literature review. *BMC international health and human rights*. No 15. P. 1–41. [in English].
15. Bürgin D, Anagnostopoulos D, Board and Policy Division of ESCAP, Vitiello B, Sukale, T, Schmid M, Fegert JM. (2022) Impact of war and forced displacement on children's mental healthmultilevel, needs-oriented, and trauma-informed approaches. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. Vol. 31, No 6. P. 845–853. doi: 10.1007/s00787-022-01974-z. [in English].
16. Harb G. C, Schultz J. H. (2020) The nature of posttraumatic nightmares and school functioning in war-affected youth. *PLoS One*. Vol. 15, No 11. e0242414. doi: 10.1371/journal.pone.0242414. [in English].
17. Osokina O, Silwal S, Bohdanova T, Hodes M, Sourander A, Skokauskas N. (2023) Impact of the Russian Invasion on Mental Health of Adolescents in Ukraine. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. Vol. 62, No 3. P. 335–343. doi: 10.1016/j.jaac.2022.07.845. [in English].
18. Riad A, Drobov A, Krobot M, Antalová N, Alkasaby MA, Peřina A, Kořčík M. (2022) Mental Health Burden of the Russian-Ukrainian War 2022 (RUW-22): Anxiety and Depression Levels among Young Adults in Central Europe. *Int J Environ Res Public Health*. Vol. 19, No 14. P. 8418. doi: 10.3390/ijerph19148418 [in English].

Komisova T.

Candidate of Biological Sciences, Professor,
 Head of Ya.R. Synelnikov Department of Human Anatomy and Physiology,
 H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University
tatyanakomisova@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3959-8575

Mamotenko A.

Candidate of Biological Sciences,
 Senior Lecturer at the Ya.R. Synelnikov Department of Human Anatomy
 and Physiology
 H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University
allmamotenko@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6101-9723

ADAPTATION POTENTIAL OF STUDENTS IN DEPENDENCE ON THEIR STRESS RESILIENCE

In the context of war, assessing the level of adaptation potential in relation to stress resilience is no longer solely a matter of scientific interest; it has become a practical tool for preserving mental health, ensuring educational safety, and forming a psychologically resilient generation that will rebuild Ukraine. This study provides a detailed analysis of the physiological and psycho-emotional indicators of students, allowing for an evaluation of their functional state and level of adaptation to educational load under martial law.

The main focus was placed on identifying the interrelationships between a somatic parameter – adaptation potential and psychological characteristics, including state and trait anxiety (situational and personal), as well as perceived stress. This approach enabled a comprehensive view of how individual body reactions reflect the overall level of psychophysiological resilience in school and university youth.

In the course of the study, groups of students with different adaptive capabilities were identified. It was found that the conditions of martial law significantly worsen the psychophysiological characteristics of young people, causing an increase in emotional tension and anxiety and reducing the effectiveness of adaptive mechanisms. The strongest correlation ($\rho=0,83$) was found between the Adaptation Potential (AP) and the level of Perceived Stress (PSS-10). The established positive correlations ($\rho=0,67-0,74$) between the indicators of state (STAI-S) and trait (STAI-T) anxiety and perceived stress (PSS-10) likely prove that an increase in both types of anxiety leads to a more intense perception of stress and, consequently, to psychophysiological strain. It was established that individuals with increased vulnerability to stress show signs of tension in regulatory systems and demonstrate a low AP.

The obtained data have a dual significance: they not only characterize the current state of the studied groups but also allow for tracking trends in the formation of adaptive capabilities depending on age, learning environment, and anxiety levels. This serves as a foundation for further comparative analysis and the identification of key factors determining stress resilience in the context of current educational challenges.

Key words: adaptation potential, anxiety levels, students/learners, martial law, functional state.

**Стаття до редакції надійшла 05.09.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 22.09.2025 року**

УДК 616.714-073.756.8:616.714-073.916
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-87-99

Мхітарян Л. С.

доктор медичних наук, професор,
професор кафедри біології
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
laurasmkhitarian@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2347-0107

Кучменко О. Б.

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

Гавій В. М.

кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
gaviyv@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2804-0456

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОЛОГІЇ ЧЕРЕПНИХ ШВІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ КТ Й МРТ: ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ**

У статті поставлено за мету простежити особливості становлення та еволюції досліджень із комп'ютерної та магнітно-резонансної томографії для дослідження нормальних морфології та розвитку черепних швів. Встановлено, що в середині 1980-х рр. поява комп'ютерної томографії стала переломним моментом у дослідженні черепних швів, подолавши обмеження сцинтиграфії кісток та усунувши необхідність вводити пацієнтам радіонукліди. Комп'ютерна томографія швидко посіла місце технології для найкращої візуалізації кісткової анатомії, проте згодом радіологічні дослідження швів було визнано надлишковими у більшості випадків завдяки досягненням у хірургічному лікуванні краніосиностозу. Систематичні дослідження 1990-х – початку 2000-х рр. встановили КТ як золотий стандарт візуалізації черепних швів. Щодо другого десятиліття XXI ст., цей період характеризувався розробкою оптимальних технічних параметрів сканування й створенням перших нормативних баз даних для педіатричної практики, що заповнило критичну прогалину в стандартизації діагностики. З розвитком технологій мікро-комп'ютерної томографії відкрилися нові можливості дослідження ультраструктури швів, оскільки дав змогу забезпечити неруйнівний аналіз на мікроскопічному рівні. Водночас усе більше занепокоєння щодо радіаційного навантаження стимулювало пошук альтернатив у формі магнітно-резонансної томографії, яка поступово еволюціонувала від експериментального методу до клінічно прийнятної для діагностики. Останні дослідження вказують на те, що відбувається перехід від виключного використання комп'ютерної томографії до збалансованого підходу, де магнітно-резонансна томографія розглядається як перспективна альтернатива для рутинного спостереження, особливо в педіатрії, що віддзеркалює загальну тенденцію сучасної медицини до мінімізації радіаційного впливу на пацієнтів. З іншого боку, на межі 2010-х і 2020-х рр., спираючись на здобутки попередників, за допомогою КТ і МРТ науковці починають досліджувати переважно патології черепних швів. Огляд цих праць є перспективою подальшого дослідження.

Ключові слова: краніоскопія, череп, морфологія, фізична антропологія, магнітно-резонансна томографія, комп'ютерна томографія, черепний шов.

Постановка проблеми. Детальне знання нормальної анатомії швів є основою для діагностики різноманітних аномалій розвитку черепа, включаючи краніосиностози. Це дає змогу краще розуміти механізми передчасного закриття швів та планувати відповідні хірургічні втручання. Докази, отримані за допомогою експериментальних досліджень, симуляцій та з дослідження еволюції, свідчать про багатфакторний морфогенез, пов'язаний з функціями та морфологією швів. Незважаючи на молекулярні впливи, біомеханіка черепа відіграє головну роль як в онтогенетичній, так і у філогенетичній динаміці швів [4]. Окрім того, розуміння нормальної морфології швів, їх мікроструктури, клітинного складу та біомеханічних властивостей допомагає відрізнити фізіологічні лінії швів від патологічних змін, зокрема переломів, на КТ-сканах, що має критичне значення в травматології [7], невідкладній, судовій медицині та щелепно-лицьовій реконструктивній хірургії [8]. Комплексний аналіз наукових праць, присвячених застосуванню в дослідженні швів черепа комп'ютерної (КТ) та магнітно-резонансної (МРТ) томографії, забезпечить структурування накопичених знань і визначення найперспективніших векторів подальших досліджень. Це, у свою чергу, сприятиме вдосконаленню діагностичних методик і лікувальних стратегій, а також розширить наукове розуміння анатомо-морфологічних характеристик та закономірностей розвитку черепа людини на всіх етапах онтогенезу – від ембріонального періоду до старості, в також кореляцій між морфометричними параметрами швів, темпами росту черепа, формою голови (брахіцефалія, доліхоцефалія) та функціональними характеристиками центральної нервової системи.

Аналіз попередніх досліджень. П. Фрассінато й Ч. ді Рокко в статті, присвяченій історії дослідження черепних швів, побіжно згадали, що сумніви, котрі виникали при інтерпретації сцинтиграфії кісток, та необхідність вводити пацієнтам радіонукліди було подолано з появою КТ, яка стала найкращим ілюстратором кісткової анатомії. Проте дослідники підкреслили, що, незважаючи на можливість отримати досконале зображення черепних швів, досягнення останніх років у вивченні краніосиностозу зробили радіологічні дослідження швів надлишковими в більшості випадків [6]. Досить докладно здобутки попередників оцінили в статті Ф. Коттон, Ф. Роцці, Б. Валі, К. Пачай, М. Гермієр, А. Гайхард-Коста й Дж. Фромен [3]. Утім, загалом здобутки вчених, котрі досліджували за допомогою КТ і МРТ нормальні черепні шви людини, не ставали предметом окремого огляду.

Мета роботи: простежити особливості становлення та еволюції досліджень із застосування комп'ютерної та магнітно-резонансної томографії для дослідження нормальних морфології та розвитку черепних швів людини.

Виклад основного матеріалу. Й. Фуруя, М. С. Б. Едвардс, Ч. Е. Альперс, Б. М. Тресс, Д. К. Ойстергаут і Д. Норман присвятили статтю комплексному дослідженню нормальної анатомії черепних швів та синхондрозів у пацієнтів різного віку за допомогою КТ з високою роздільністю, мотивуючи актуальність дослідження тим, що традиційні рентгенівські знімки та радіонуклідне сканування не можуть забезпечити адекватне зображення швів основи черепа, що ускладнює діагностику патологічних змін. Автори проаналізували 150 нормальних пацієнтів від народження до 74 років, з яких 50 – молодші за 10 років. Використовувались аксіальні й корональні КТ-сканування з високою роздільністю, при цьому найкращі результати було отримано при товщині зрізів 1,5 мм порівняно з 5 або 10 мм. Техніка сканування передбачала проведення зрізів перпендикулярно до площини шва для отримання найінформативніших зображень. У дітей шви ідентифікувалися легше порівняно з дорослими. На особливу увагу, на думку дослідників, заслуговує метопічний шов, який у нормі зникає до третього року життя, проте може зберігатися у 10% дорослих. У дорослих

спостерігалася значна варіабельність у здатності ідентифікувати шви на КТ-зображеннях. Загальною закономірністю є прогресивне зростання кісткового зрощення з віком, що призводить до поступового зникнення видимих ліній швів. Було визначено, що технічні параметри сканування теж важливі для якості діагностики. Для черепів дорослих оптимальною виявилася ширина вікна 2000 одиниць Хаунсфілда, а для новонароджених і немовлят – 1200 одиниць через меншу мінералізацію кісткових структур у цьому віці. Автори дослідження дійшли висновку, що КТ з високою роздільністю є найбільш інформативним і точним методом для детального вивчення анатомії черепних швів, значно перевершуючи можливості традиційних рентгенівських методів діагностики [7]. Це дослідження є важливим для встановлення КТ як золотого стандарту візуалізації черепних швів, оскільки в ньому було систематизовано технічні параметри сканування й встановлено вікові особливості візуалізації швів. Важливим науковим внеском є диференційований підхід до налаштування параметрів КТ залежно від віку пацієнта, що значно покращує діагностичні можливості методу. Також у праці аргументовано підкреслено клінічну значущість персистентного метопічного шва як варіанту норми. Втім, проблематика, дотична до вивчення черепних швів за допомогою КТ, не була основною в дослідженнях названих авторів, тож вони більше не присвячували їй публікацій.

Д. Г. Шерік, С. Р. Бухман, Р. В. Гуле та С. А. Гольдштейн оцінили здатність мікрокомп'ютерного томографічного сканера правильно віддзеркалювати як нормальні, так і синостозовані черепні шви на ультраструктурному рівні. Для порівняння зі зрізами мікро-КТ було підготовлено два гістологічні зразки корональних швів, узяті з операційного матеріалу. За допомогою мікро-КТ дослідникам вдалося успішно візуалізувати один нормальний і один синостозований корональний шов людини й провести кількісний аналіз цих зразків. Мікро-КТ виявилось високоточним методом візуалізації для оцінювання розвитку черепних швів, забезпечуючи тривимірну візуалізацію на мікроскопічному рівні та даючи змогу проводити швидкий кількісний аналіз архітектури кістки за кількома параметрами вимірювань, недоступних при гістологічному аналізі. Перевагою мікро-КТ було названо те, що вона здатна візуалізувати значно більше зрізів, ніж можна отримати за допомогою гістології, і цей метод виключає людські помилки на даному етапі. Зрізи мікро-КТ створюються без руйнування зразка і без втрати чи спотворення відтворюваних даних. Загалом структурно-орієнтовані зрізи з мікро-КТ було визнано такими, що взаємно доповнюють клітинно-орієнтовані зрізи з гістології в загальному кількісному аналізі черепних швів [14]. В цій праці продемонстровано революційні можливості мікро-КТ для вивчення ультраструктури черепних швів. Методологічне значення роботи полягає в тому, що автори довели переваги неруйнівного аналізу над традиційною гістологією.

Дж. Вайнцвайг, Р. Е. Кіршнер, А.Фарлі, Ф. Райс, Дж. Хантер, Л. А. Вітакер і С. П. Бартлетт звернули увагу на те, що метопічний шов в нормі зростається в ранньому дитинстві, тоді як усі інші черепні шви в нормі роблять це набагато пізніше в житті, однак метопічний синостоз є однією з найменш поширених форм краніосиностозу. Через невизначеність у часовій послідовності нормального фізіологічного зростання метопічного шва дослідники припустили, що діагностика метопічного синостозу лише на основі зображень КТ може виявитися оманливою, й поставили за мету визначити нормальну послідовність зростання метопічного шва та охарактеризувати як ендокраніальну, так і ектокраніальну морфологію шва. Аналіз КТ сканувань 76 пацієнтів з травмами у віці від 10 днів до 18 місяців надав нормативні краніофасціальні дані, які можна було порівняти з аналогічними даними, отриманими з передопераційних КТ 30 пацієнтів, які пройшли хірургічне лікування метопічного синостозу. Зростання метопічного шва було завершеним до 6–8 місяців у всіх несинототичних пацієнтів, з початком зростання шва, що проявлявся вже в 3-місячному віці. Було встановлено, що зростання починається в ділянці назіона, прогресивно поширюється вгору й завершується біля переднього тім'ячка. Практично

діагностичною ознакою передчасного зростання шва виявилась ендокраніальна метопічна вирізка, котра спостерігалась у 93% пацієнтів із синостозом, але не спостерігалась в жодного, в кого синостозу виявлено не було. Тож учені дійшли висновку, що морфологічні та нормативні краніофасціальні дані все-таки дають змогу діагностувати метопічний синостоз на основі зображень КТ, отриманих після нормального періоду зростання шва [16]. В роботі розв'язується важлива клінічна проблема диференційної діагностики між нормальним фізіологічним зростанням метопічного шва та патологічним синостозом. Завдяки тому, що було окреслено чіткі часові рамки нормального зростання (3–8 місяців), вдалося закласти надійну основу для клінічних рішень. Високу практичну цінність для об'єктивної діагностики має виявлення ендокраніальної метопічної вирізки як ознаки синостозу. Дослідження також засвідчує важливість урахування динамічних змін під час інтерпретації КТ-зображень.

Ф. Коттон, Ф. Роцці, Б. Валі, К. Пачай, М. Гермієр, А. Гайхард-Коста й Дж. Фромен проспективно вивчили 150 МРТ-знімків головного мозку здорових представників європеїдної популяції віком 20–49 років. Для валідації методу також було проведено незалежні вимірювання на 498 сухих черепах за допомогою 3D-дигітайзера Microscribe 3-DX. Для всіх пацієнтів використовувався стандартний протокол, що включав 5 мм сагітальні спін-ехо T1-зважені зображення, аксіальні поперечні 5 мм спін-ехо T2-зважені зображення, градієнт-ехо T2*-зважені зображення й гадолінієві тривимірні T1-зважені зображення з ізотропним вокселем 1 мм. Окрім краніометричних точок, яких учені успішно ідентифікували 11, дослідження зосереджувалося на трьох основних швах черепа: корональному, лямбдоподібному й сагітальному. Було визначено, що шви завжди з'являються як чорні лінії (відсутність МР-сигналу) через компакту структуру кістки, позбавлену водню. Це контрастує з нормальним гіперсигналом диплое (губчастої кістки) всередині й підшкірного жиру зовні. Відсутність сигналу спостерігається як на T1-, так і на T2-зважених зображеннях. Шви краще візуалізуються при товщині зрізу 5 мм порівняно з 1 мм. Динамічний аналіз зображень (сіне-лооп) дав змогу ефективно простежити хід швів. Дослідники підкреслили, що для визначення краніометричних точок Bregma та Lambda на серединному сагітальному зрізі слід використовувати динамічний аналіз швів. У основній групі (150 пацієнтів 20–49 років) корональний і лямбдоподібний шви були успішно ідентифіковані у 100% випадків. У розширеній групі (126 пацієнтів 20–80 років) якість візуалізації швів оцінювалася за 4-бальною шкалою: не візуалізуються в 1 випадку (0,8%) – жінка 57 років, важко візуалізуються в 31 пацієнта (24,6%), легко візуалізуються в 44 пацієнтів (34,9%) та ідеально візуалізуються в 50 пацієнтів (39,7%). Важливо зазначити, що якість візуалізації не корелювала з віком пацієнтів. Метод, апробований у статті, автори визнали корисним для планування нейрохірургічних втручань, діагностики краніосиностозів та інших патологій черепних швів у клінічній практиці завдяки високій частоті успішної візуалізації швів (понад 99% випадків) [3]. Це дослідження значуще з погляду розширення набору неінвазивних методів візуалізації черепних швів. Доведення можливості надійної МРТ-діагностики швів без радіаційного навантаження особливо актуально під час роботи з дітьми. Достовірність методу підвищується завдяки його валідації методу на великій кількості сухих черепів. Завдяки встановленню оптимальних технічних параметрів МРТ та введенню стандартизованої шкали оцінювання якості візуалізації результати дослідження стають основою для поточного клінічного використання. Особливо цінним є висновок про те, що якість візуалізації швів та вік досліджуваної людини не пов'язані.

К. Корега, Л. Вайда, М. Бачуц, А. Шербенеску та Л. Палагіца-Баняс поставили за мету дослідження оцінити здатність мікро-КТ сканера віддзеркалювати морфологію нормальних і синостозованих черепних швів на ультраструктурному рівні. Для цього вони зібрали два зразки корональних швів після схвалення етичної комісії та отримання письмової згоди. Перший зразок (5,8×3,9×3,9 мм) – нормальний людський

корональний шов від 16-місячного хлопчика, який переніс нейрохірургічну процедуру з приводу травматичної гематоми, а другий (11,2×2,4×6,5 мм) – від 1,5-річної дівчинки з несиндромічним однобічним корональним синостозом. Зразки успішно просканували з роздільною здатністю 30 мкм, що дало змогу отримати як тривимірні реконструкції кісткових кубів, так і двовимірні зрізи для аналізу. Було виявлено, що в нормальному зразку корональний шов чітко проходить через череп між лобною та тім'яною кістками, а в синостозованому корональний шов був майже повністю облітерований. Сканер зміг надзвичайно точно виявити відмінності в мікроархітектурі між цими двома зразками, особливо – порівняно з традиційними гістологічними методами. Якщо з нормального коронального шва вдалося отримати лише один придатний гістологічний зріз без артефактів секціонування з восьми нарізаних, то мікро-КТ згенерувала 16 зрізів 5,8×3,9×3,9 мм з того самого зразка. Ще більша різниця спостерігалась у синостозованому зразку: 10 гістологічних зрізів проти приблизно 250 мікро-КТ зрізів у площині гістологічного секціонування. Кількісний аналіз стереологічних параметрів виявив суттєві структурні відмінності між нормальним та синостозованим швами. Отже, науковці дійшли висновку, що мікро-КТ сканування відкриває нові горизонти для розуміння біології черепних швів, етіології краніосиностозу та розвитку ефективних методів лікування, причому є неруйнівним процесом візуалізації. Для клінічної практики ця технологія дає змогу кількісно вимірювати рівень ремоделювання шва в кожному зразку й доповнює клітинно-орієнтовані зрізи гістології в загальному кількісному аналізі черепних швів. Перспективи застосування мікро-КТ у дослідженні останніх дослідники визнали надзвичайно обнадійливими для біології черепних швів, краніосиностозу та зубо-лицьових деформацій [2]. Це робота підтверджує й розширює висновки попередніх дослідників про переваги мікро-КТ, демонструючи кількісну перевагу методу над гістологією в отриманні інформативних зрізів, адже було доведено, що роздільна здатність 30 мкм дає змогу виявляти ультраструктурні зміни, недоступні для клінічної візуалізації. Порівняльний аналіз нормального та синостозованого швів створює основу для розуміння молекулярних механізмів патології, що в перспективі підвищує ефективність лікування.

Л. А. Мітчелл, К. А. Кітлі, Т. Л. Армідедж, М. В. Краснокутський, В. Дж. Рукс, з огляду на те, що на час написання їхньої праці не існувало стандартизованих нормативних значень ширини черепних швів у немовлят, через що радіологи при інтерпретації результатів обстеження мали покладатися переважно на власний досвід та інтуїцію, провели масштабне дослідження, в якому проаналізували 483 пацієнти від 1 до 395 днів життя з нормальними результатами КТ голови. Всі обстеження було з 1994 по 2008 рр., при цьому середній вік пацієнтів становив 96 днів. Дослідники ретельно вимірювали ширину сагітального та корональних швів у двох анатомічних точках у проксимальній і дистальній частинах відносно переднього тім'ячка. Було виявлено чітку закономірність у закритті черепних швів протягом першого року життя. У новонароджених середня ширина сагітального шва становила 5,0 мм у проксимальній частині та 4,6 мм у дистальній, що віддзеркалює природну відкритість швів для забезпечення росту мозку й адаптації до пологового процесу. Однак уже до кінця першого місяця життя відбувалося звуження приблизно вдвічі – до 2,4 мм проксимально й 2,6 мм дистально. Аналогічна динаміка спостерігалась і для корональних швів, при цьому правий та лівий демонстрували статистично ідентичну швидкість закриття на всіх етапах розвитку. В новонароджених їх ширина становила 2,5 мм проксимально та 1,5 мм дистально, а до місячного віку зменшувалась до 1,3 мм та 1,1 мм відповідно. Поступове звуження тривало протягом усього першого року життя, досягаючи до 12 місяців значень 0,8–0,9 мм проксимально й 0,5 мм дистально для корональних швів. Найважливішим висновком дослідження стало встановлення того, що найінтенсивніше шви закриваються саме в перший місяць життя для всіх вимірюваних анатомічних локацій. Так було отримано перші науково обґрунтовані нормативні значення для порівняння при інтерпретації КТ-сканів немовлят, що

критично важливо при діагностиці діастазу швів унаслідок травм, підвищеного внутрішньочерепного тиску або інших патологічних станів [10]. Це дослідження заповнює важливу прогалину в педіатричній нейрорадіології, створюючи першу стандартизовану базу нормативних даних для ширини черепних швів у немовлят. Масштаб дослідження забезпечує високу статистичну достовірність результатів. Виявлення закономірності найінтенсивнішого закриття швів в перший місяць життя має фундаментальне значення для розуміння нормального розвитку черепа, а встановлення симетричності закриття корональних швів підтверджує нормальність розвитку. Тож дослідження створює ґрунтовну базу для об'єктивної діагностики патологій.

К. А. Елі, Ф. Шерін, Н. Тейлор, С. Р. Ватт-Сміт і С. Дж. Голдінг на тлі зростання занепокоєння щодо іонізуючих ефектів комп'ютерної томографії у немовлят поставили за мету встановити зовнішній вигляд нормальних черепних швів, їх ширину й точність ідентифікації на МРТ (в послідовностях: аксіальних – T1, T2, STIR (short tau inversion recovery), корональній FLAIR (fluid attenuated inversion recovery), та сагітальній T1) протягом першого року життя. Корональний, сагітальний і лямбдоподібний шви оцінювали 5 експертів на 100 анонімізованих МРТ-сканах немовлят від 1 до 361 дня за 3-бальною шкалою. Ширину швів вимірювали, якщо вони були чітко ідентифіковані. Було виявлено збільшення загального балу для всіх швів з віком. Середня ширина коронального, сагітального та лямбдоподібного швів становила 1,2 (СВ, 0,4), 1,4 (СВ, 0,4) та 1,3 (СВ, 0,3) мм відповідно. Не було значущої різниці в ширині швів залежно від віку. Втім, оскільки зовнішній вигляд черепних швів на МРТ проявляється як зона відсутності сигналу, яку може бути важко чітко визначити, дослідники визнали МРТ ненадійною для стандартного дослідження в діагностиці краніосиностозу [5]. Праця важлива з погляду об'єктивної оцінки обмежень МРТ у діагностиці краніосиностозу в немовлят, попри очевидні переваги відсутності радіаційного впливу. Виявлення покращення візуалізації з віком вказує на потенційну корисність МРТ у старших дітей. Критичне ставлення авторів до можливостей методу запобігає необґрунтованому використанню МРТ як альтернативи КТ у діагностиці краніосиностозу. Автори підкреслюють, що для педіатричної практики МРТ-протоколи слід надалі вдосконалювати.

Г. Гуфлер, М. Прайс, С. Кеслінг оцінили видимість швів орбіти та периорбітальної області на мультидетекторній КТ. Ретроспективно оцінювалися мультидетекторні КТ 200 пацієнтів (127 чоловіків, 73 жінки; середній вік 51,3 року; діапазон 6–92 років). Товщина зрізів варіювала від 0,5 до 1 мм, а струм трубки від 25 до 370 мАс, залежно від показань для КТ. Видимість швів оцінювалася за 4-бальною шкалою від «не видно» до «добре видно». Було виявлено найкращу видимість для лобно-вличного шва (98%), лобно-носового шва (88,5%) та клиноподібно-вличного шва (71,5%), після яких ішли влично-верхньощелепний шов (65,8%), скронево-вличний шов (41,8%), лобно-верхньощелепний шов (44,5%) та клиноподібно-лобний шов (31%). Найнижчі показники було виявлено для лобно-слізного шва (16,8%) та лобно-решітчастого шва (1,3%). Решітчасто-верхньощелепний, слізно-верхньощелепний та решітчасто-слізний шви простежити не вдалося. Тож дослідники дійшли висновку, що шви верхньої, латеральної та нижньої зон орбіти видимі на КТ-сканах краще, ніж шви медіальної зони орбіти [8]. Це дослідження має практичне значення для травматології та орбітальної хірургії, систематизуючи можливості й обмеження візуалізації різних орбітальних швів. Універсальність висновків забезпечується завдяки широкому віковому діапазону пацієнтів.

С. Ідріз, Дж. Г. Пател, С. А. Ренані, Р. Аллан та І. Влахос присвятили статтю рентгенологічній діагностиці швів черепа у дітей та їх відмінностям від переломів. Було виявлено, що анатомія швів черепа у дітей характеризується значною варіабельністю та динамічними змінами залежно від віку. Найпоказовіші вікові трансформації демонструє лямбдоподібний шов. У дводенних новонароджених він має ширину 4–7 мм, нечіткі краї та може бути асиметричним, що є нормою. До 6-тижневого віку

шов значно звужується, а до 13 місяців його краї набувають чітко визначених контурів. Парієто-мастоїдальний шов становить особливі діагностичні труднощі через переважно горизонтальний хід, що ускладнює його візуалізацію на аксіальних зрізах КТ і краще візуалізується на сагітальних реформатованих зображеннях та тривимірних реконструкціях. Потилично-соскоподібний шов, який є нижнім продовженням лямбдоподібного, теж демонструє вікові зміни від перших днів до двох років життя. Клиноподібно-лобний шов найкраще візуалізувався у дітей до 6 місяців, коли він ще широкий, далі він звужується й починає заростати, що значно ускладнює його ідентифікацію, медіальна частина шва залишається відкритою найдовше. Додаткові тім'яні шви на знімках КТ можуть легко імітувати переломи, особливо при асиметричному розташуванні. Один із додаткових потиличних швів – поперечний потиличний – часто закривається внутрішньоутробно або в перші дні життя, або ж до 6 років у більшості пацієнтів. Дослідження 500 сухих черепів показало наявність цього шва лише у 3% випадків. На аксіальних зрізах КТ цей шов візуалізується медіально від лямбдоподібного шва, тоді як на корональних реформатованих зображеннях – вище від потилично-соскоподібного шва. Шви основи черепа представляють особливі діагностичні виклики. До 6 місяців повністю осифіковується 50% передньої основи черепа, а до 24 місяців – 84%. Безіменний (внутрішньо-потиличний) шов може імітувати перелом основи черепа у маленьких дітей, оскільки закривається лише до 4 років. Щодо вормієвих кісток у межах швів, науковці підкреслили, що кількість цих кісток понад 10 може вказувати на патологію розвитку. Щодо молдингу в швах та тім'ячках, було виявлено, що він зазвичай зникає до 7-го дня після народження й не повинен плутатися з депресійними переломами черепа. Загалом учені дійшли висновку, що диференційна діагностика між переломами та швами залишається одним з найскладніших завдань у педіатричній нейрорентгенології, й запропонували критерії розрізнення, суттєво уточнені завдяки застосуванню тонкошарової КТ й тривимірних реконструкцій. Було зазначено, що переломи мають гострі, несклеротичні краї та можуть розгалужуватися, здатні спричинити діастаз швів, часто перетинають самі шви й розширюються при наближенні до шва. Важливими непрямими ознаками є супутні ушкодження м'яких тканин, включаючи гематоми. На противагу цьому, шви з'днуються з іншими швами, а не перетинають їх, не спричиняють діастазу інших швів, за окремими винятками, відносно однорідні за шириною й мають характерний зигзагоподібний або інтердигітуючий візерунок зі склеротичними краями [9]. Це дослідження має суттєве клінічне значення для педіатричної практики, адже надає докладний алгоритм диференційної діагностики між нормальними анатомічними структурами та патологічними змінами, що критично важливо у невідкладній педіатрії при підозрі на черепно-мозкову травму. Особливо цінною є систематизація вікових змін швів з конкретними часовими рамками, що дає змогу надійно оцінювати нормальність розвитку дитини. Аналіз 500 сухих черепів підвищує статистичну достовірність висновків.

С. Ніколова, Д. Тонєва, І. Георгієв, С. Харіжанов, Д. Златарева, В. Хаджідеков та Н. Лазаров з огляду на те, що розуміти морфологію швів і ремоделювання під час їх облітерації важливо для ранньої діагностики та лікування передчасного закриття швів, дослідили морфологію відкритих та облітерованих швів і порівняли 3D-зображення, отримані за допомогою промислових та медичних систем КТ з різною роздільною здатністю. Сегмент сагітального шва сухих черепів відомого віку та статі було проскановано за допомогою промислової КТ-системи Nikon XTH 225. Той самий відділ сагітального шва спостерігався у пацієнтів, які проходили КТ-сканування багатозрізовою системою Toshiba Aquilion 64 з товщиною зрізу 0,5 мм. Для 3D-візуалізації використовувалося програмне забезпечення VGStudioMax 2.2. Морфологію швів спостерігали в корональному перерізі на послідовних 2D-зрізах. Мікро-КТ сканування сухих черепів дало дослідникам змогу розрахувати морфометричні параметри й візуалізувати мікроархітектуру шва та його реорганізацію під час

облітерації, на відміну від КТ-зображення пацієнтів, де шви були мало помітні. На завершальних стадіях облітерації сліди від контакту кісток зникали, а шовна зона ставала гомогенною структурою з підвищеною цілісністю. Тож мікро-КТ-сканування сухих кісток автори визнали дієвим неруйнівним методом для дослідження морфології швів, 3D-зображення сухих кісток – корисними для сегментації, адже такі зображення складаються з двох фаз, тобто кістки та повітря без інших складових [11]. В дослідженні продемонстровано еволюцію методів візуалізації в краніології від клінічних КТ до промислових систем з надвисокою роздільною здатністю. Порівняльний аналіз різних систем візуалізації методологічно значущий завдяки доведенню переваг мікро-КТ у деталізації мікроархітектури. Важливим є внесок цього колективу авторів у розуміння облітерації швів на мікроскопічному рівні, що може мати значення для розробки нових підходів до лікування краніосиностозу.

С. Чалишкан, К. К. Огуз, С. Туналі, М. М. Алдур, Б. Ерчакмак і М. Ф. Саргон прагнули визначити частоту й морфологічні особливості клінічно важливих структур черепа, зокрема вормієвих (шовних) кісток і варіацій черепних швів у населення Туреччини. Клінічне значення цих структур вони обґрунтували тим, що ті можуть ускладнювати інтерпретацію рентгенографічних знімків пацієнтів з травмами голови, бо радіологам доводиться проводити диференційну діагностику між шовними кістками й переломами. Також шовні кістки можуть призводити до ускладнень при задніх і латеральних доступах до черепної порожнини, тому знання про їх наявність та частоту є важливим для нейрохірургів та радіологів. Ще однією клінічно важливою структурою науковці визначили персистентний метопічний шов, наявний у 0–7,4% різних популяцій, котрий може призводити до аномального розвитку лобних пазух. Метою дослідження названих авторів було визначити тривимірну морфологію та частоту всіх цих клінічно важливих структур у турецькій популяції за допомогою мультidetекторної КТ (МДКТ). У ретроспективне дослідження було включено 185 пацієнтів (109 чоловіків, 76 жінок) віком понад 22 роки, які пройшли дводжерельну МДКТ. Пацієнти з історією черепно-мозкових операцій і травм були виключені з дослідження. МДКТ-сканування проводилося на сканері Somatom Sensation 16, а комп'ютерні тривимірні реконструкції – на робочій станції Leonardo з використанням програмного забезпечення Syngo 2007. Результати дослідження показали, що серед 185 пацієнтів було 109 (58,9%) чоловіків та 76 (41,1%) жінок від 22 до 91 року з медіаною 62,7 року. Поширеність персистентного метопічного шву становила 8,1%, причому ця анатомічна варіація частіше спостерігалась у жінок (10,5%) порівняно з чоловіками (6,4%), хоча статистично значущої різниці між статями не було виявлено. Лямбда була морфологічно нормальною в 174 пацієнтів (94,1%), тоді як 11 пацієнтів мали варіації в цій ділянці, класифіковані на 5 типів (А-Е), найчастішим з яких був тип В. Вормієві кістки було виявлено з різною частотою в різних локалізаціях: лише в однієї жінки в лівому птеріоні, у одного чоловіка в брегмі, у 13 пацієнтів (7%) в правому астеріоні та у 19 пацієнтів (10,3%) – в лівому астеріоні. При цьому статистично значущих відмінностей між статями не було виявлено, як і зв'язку між віком та варіаціями. Особливу увагу привертає те, що співіснування параметрів було виявлено у 14 пацієнтів, а найпоширенішою комбінацією стало одночасне розташування вормієвих кісток у правому й лівому астеріонах, котре спостерігалось у 9 пацієнтів. Порівняння з результатами дослідження 302 черепів XVIII ст. показало як подібності, так і відмінності, котрі можуть пояснюватися тим, що черепи, представлені в музеях, не віддзеркалюють реальну популяцію, а також, можливо, зазнавали штучних деформацій. Загалом дослідження стало внеском у розуміння співіснування варіацій і доказом того, що тривимірні КТ-реконструкції є цінним інструментом для визначення морфологічних характеристик *in vivo* та можуть стати основою для подальших досліджень анатомічних варіацій черепа [1]. Це дослідження надає конкретні статистичні дані про частоту анатомічних варіацій у турецькій популяції. Його методологічна міцність забезпечена великою вибіркою й сучасними технологіями візуалізації, а

також порівнянням із даними XVIII ст., що дає змогу простежити еволюцію морфології черепа або методів дослідження. Створення популяційних норм необхідне для адекватної інтерпретації діагностичних зображень у клінічній практиці. Дослідження також є свідення того, наскільки важливими є етнічні анатомічні особливості для персоналізованої медицини.

К. Б. Пател, К. Елденіз, Г. Б. Сколнік, У. Джаммаламадака, П. К. Коммін, М. С. Гояль, М. Д. Сміт і Г. Ан для візуалізації кісток черепа в маленьких дітей на зображеннях, еквівалентних КТ, проте без опромінення пацієнтів, запропонували використовувати високороздільну швидку послідовність МРТ з низьким кутом нахилу й золотим кутом – 3D стек зіркоподібних радіальних об'ємних інтерпольованих зображень з затримкою дихання (GA-VIBE), яка є внутрішньо стійкою до руху та має покращений контраст між кісткою та м'якими тканинами. До дослідження було залучено пацієнтів до 11 років, які пройшли клінічне КТ-сканування голови з приводу краніосиностозу чи інших черепних мальформацій. 3D реконструйовані зображення, створені за допомогою послідовності GA-VIBE МРТ та стандартного КТ-сканування, були рандомізовані та представлені 3 сліпим рецензентам. Для всіх наборів зображень кожен рецензент відзначав наявність або відсутність шести основних черепних швів та записував за 5-бальною шкалою Лікєрта, чи рекомендують вони повторне сканування. 11 пацієнтів (медіана віку 1,8 року) пройшли МРТ після клінічного КТ-сканування голови. Троє клініцистів переглянули зображення, і повідомили про чітку візуалізацію областей інтересу в 99% КТ-оглядів та 96% МРТ-оглядів. При використанні КТ як стандарту, чутливість і специфічність послідовності GA-VIBE МРТ для виявлення закриття швів становили 97% та 96% відповідно (n = 198 прочитаних швів). Отже, було встановлено, що 3D реконструйовані зображення з використанням послідовності GA-VIBE порівняно з КТ-сканами створили клінічно прийнятні зображення, здатні виявляти черепні шви. Для ширшого клінічного використання було рекомендовано пошук способів скоротити час сканування, краще корегувати рухи та автоматизувати постобробку [12]. Робота має революційний потенціал для педіатричної практики, адже в ній, із підкріпленням сліпим дизайном та використанням стандартизованих шкал оцінки, запропоновано альтернативу КТ без іонізуючого випромінювання. Високі показники чутливості й специфічності, яких вдалося досягти, засвідчили клінічну придатність методу, що особливо важливо під час застосування для діагностики маленьких дітей. З іншого боку, невелика вибірка пацієнтів указує на необхідність подальшої оптимізації протоколу сканування.

Дж. Шредер, К. Гілспі, М. Браун, Ш. С. Ганапаті поставили за мету дослідження оцінити надійність МРТ порівняно з КТ для оцінки черепних швів у дітей. Вони вивчали матеріали про 500 послідовних пацієнтів, які пройшли МРТ та КТ з інтервалом не більше, ніж 3 місяці. Всі МРТ-дослідження переглянув нейрорадіолог-педіатр, котрий визначав, чи були сагітальний, корональний і лямбдоподібний шви відкриті, зрощені, чи не могли бути оцінені впевнено. Результати МРТ порівнювалися за КТ для визначення точності МРТ в оцінюванні швів. Середній вік досліджуваних дітей становив 8,54 року. Сагітальний шов на МРТ було видно у 72%. Коли сагітальний шов був видний, його правильно ідентифікували в 98% як зрощений або відкритий. Лямбдоподібний шов спостерігався у 94,3% і був правильно визначений як відкритий або зрощений у 99,6%. Корональний шов спостерігався в 66,3% і, коли був видний, завжди (100%) правильно визначався. Ймовірність збігу між МРТ й КТ зростала з віком. Хибно негативні та позитивні результати залишалися низькими для всіх вікових груп. Тож науковці визнали МРТ життєздатним інструментом для виявлення черепних швів, особливо в тривимірній T1-зваженій послідовності. Хоча видимість швів поступається КТ-скануванню, саме МРТ-дослідження було запропоновано як частину рутинного педіатричного спостереження [15]. Це масштабне дослідження з високими показниками правильної ідентифікації надає надійну доказову базу для клінічного застосування МРТ для оцінки черепних швів. Особливо цінним є виявлення

залежності точності діагностики від віку, що має практичне значення для планування обстежень. Важливим, особливо в педіатрії, є баланс між безпекою (відсутність радіації) й діагностичною точністю, тож надані в статті рекомендації щодо включення МРТ в рутинне спостереження можуть суттєво змінити стандарти медичної допомоги дітям.

Х. Сасані, С. Тюфекчі й А. Гаксаяр провели ретроспективне морфометричне дослідження 182 дітей до двох років, використовуючи КТ для точної оцінки розмірів і термінів закриття переднього тім'ячка. Результати показали, що його медіанний поперечний діаметр становив 29,75 мм, передньо-задній діаметр – 27,25 мм, а медіанна площа становила 400 мм². Ці показники демонструють значну індивідуальну варіабельність, що є нормою. Особливо цікавими виявилися дані щодо термінів закриття переднього тім'ячка в турецької популяції Балкан: лише в 1% дітей тім'ячко закривається до трьох місяців, у 38% – до 12 місяців, і у 96% – до 24 місяців. Те, що в 14,3% дітей віком 19–24 місяці переднє тім'ячко залишалось відкритим, указує на можливість нормального закриття навіть після дворічного віку. Паралельно дослідники проаналізували динаміку закриття черепних швів. Метопічний шов виявився таким, що закривається найшвидше: у 10% дітей він був закритий уже в перші три місяці життя, у 74,3% – у 7–9 місяців, і у 100% випадків – до 19–24 місяців. Інші черепні шви закриваються значно пізніше: сагітальний шов – зазвичай приблизно у 22 роки, корональний – у близько 24 років, а потиличний та лускуватий – у 26 і 60 років відповідно. Було виявлено, що в турецької популяції тім'ячко може закриватися дещо пізніше порівняно з деякими іншими етнічними групами. Тож загалом дослідження підкреслює необхідність індивідуального підходу до оцінки розвитку дитини та важливість урахування етнічних особливостей при встановленні норм фізичного розвитку. Результати також демонструють, що використання КТ забезпечує точнішу морфометричну оцінку порівняно з традиційними методами фізикального обстеження, що може бути корисним у складних діагностичних випадках [13]. В праці надаються конкретні нормативні показники для оцінки розвитку дітей, засновані на надійній для висновків про нормальні варіації статистичній базі. Важливо, що дослідження спростовує деякі традиційні уявлення про «стандартні» терміни закриття тім'ячка й містить докази методологічної переваги КТ над фізикальним обстеженням у точності вимірювань.

Висновки. З середини 1980-х рр. КТ стала переломним моментом у дослідженні черепних швів, подолавши обмеження сцинтиграфії кісток та усунувши необхідність вводити пацієнтам радіонукліди. КТ швидко посіла місце технології для найкращої візуалізації кісткової анатомії, проте згодом радіологічні дослідження швів було визнано надлишковими у більшості випадків завдяки досягненням у хірургічному лікуванні краніосиностозу. Систематичні дослідження 1990-х – початку 2000-х рр. встановили КТ як золотий стандарт візуалізації черепних швів. Щодо другого десятиліття XXI ст., цей період характеризувався розробкою оптимальних технічних параметрів сканування й створенням перших нормативних баз даних для педіатричної практики, що заповнило критичну прогалину в стандартизації діагностики.

Розвиток мікро-КТ технологій відкрив нові можливості дослідження ультраструктури швів, оскільки дав змогу забезпечити неруйнівний аналіз на мікроскопічному рівні. Водночас усе більше занепокоєння щодо радіаційного навантаження стимулювало пошук альтернатив у формі МРТ, яка поступово еволюціонувала від експериментального методу до клінічно прийнятної для діагностики.

Останні дослідження вказують на те, що відбувається перехід від виключного використання КТ до збалансованого підходу, де МРТ розглядається як перспективна альтернатива для рутинного спостереження, особливо в педіатрії, що віддзеркалює загальну тенденцію сучасної медицини до мінімізації радіаційного впливу на пацієнтів.

З іншого боку, на межі 2010-х і 2020-х рр., спираючись на здобутки попередників, за допомогою КТ і МРТ науковці починають досліджувати переважно патології черепних швів. Огляд цих праць є перспективою подальшого дослідження.

Література

1. Çalışkan S., Oğuz K. K., Tunali S., Aldur M. M., Erçakmak B., Sargon M. F. Morphology of Cranial Sutures and Radiologic Evaluation of the Variations of Intersutural Bones // *Folia Morphologica*. 2018. Vol. 77. Issue 4. P. 730–735. DOI: 10.5603/FM.a2018.0030
2. Corega C., Vaida L., Băciuț M., Șerbănescu A., Palaghiță-Banias L. Three-Dimensional Cranial Suture Morphology Analysis // *Romanian Journal of Morphology and Embryology*. 2010. № 51 (1). P. 123–127.
3. Cotton F., Rozzi F., Vallée B., Pachai C., Hermier M., Guihard-Costa A., Fromen J. Cranial Sutures and Craniometric Points Detected on MRI // *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2005. № 27. P. 64–70. DOI:10.1007/s00276-004-0283-6
4. Di Leva, A, Bruner, E., Davidson, J., Pisano, P., Haider, T., Stone, S. S., Cusimano, M. D., Tschabitscher, M. & Grizzi F. (2013). Cranial Sutures: a Multidisciplinary Review. *Child's Nervous System*, 29 (6), 893–905. DOI 10.1007/s00381-013-2061-4
5. Eley K. A., Sheerin F., Taylor N., Watt-Smith S. R., Golding S. J. Identification of Normal Cranial Sutures in Infants on Routine Magnetic Resonance Imaging // *The Journal of Craniofacial Surgery*. 2013. № 24 (1). P. 317–320. DOI: 10.1097/SCS.0b013e318275edee
6. Frassanito P., Di Rocco C. Depicting Cranial Sutures: A Travel into the History // *Child's Nervous System*. 2011. Vol. 27. P. 1181–1183
7. Furuya Y., Edwards M. S. B., Alpers Ch. E., Tress B. M., Ousterhout D. K., Norman D. Computerized Tomography of Cranial Sutures. Part 1: Comparison of Suture Anatomy in Children and Adults // *Journal of Neurosurgery*. 1984. Vol. 61. Issue 1. P. 53–58. <https://doi.org/10.3171/jns.1984.61.1.0053>
8. Gufler H., Preiß M., Koesling S. Visibility of Sutures of the Orbit and Periorbital Region Using Multidetector Computed Tomography // *Korean Journal of Radiology*. 2014. № 15 (6). P. 802–809. DOI: 10.3348/kjr.2014.15.6.802
9. Idriz S., Patel J. H., Renani S. A., Allan R., Vlahos I. CT of Normal Developmental and Variant Anatomy of the Pediatric Skull: Distinguishing Trauma from Normality // *RadioGraphics*. 2015. Vol. 35. № 5. <https://doi.org/10.1148/rg.2015140177>
10. Mitchell L. A., Kitley C. A., Armitage T. L., Krasnokutsky M. V., Rooks V. J. Normal Sagittal and Coronal Suture Widths by Using CT Imaging // *American Journal of Neuroradiology*. 2011. № 32 (10). P. 1801–1805. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A2673>
11. Nikolova S., Toneva D., Georgiev I., Harizanov S., Zlatareva D., Hadjidekov V., Lazarov N. A CT-Study of the Cranial Suture Morphology and Its Reorganization during the Obliteration // *Collegium Antropologicum*. 2017. Vol. 41. № 2. P. 125–131.
12. Patel K. B., Eldeniz C., Skolnick G. B., Jammalamadaka U., Commean P. K., Goyal M. S., Smyth M. D., An H. 3D Pediatric Cranial Bone Imaging Using High-Resolution MRI for Visualizing Cranial Sutures: a Pilot Study // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. 2020. Vol. 26. Issue 3. P. 311–317. <https://doi.org/10.3171/2020.4.PEDS20131>
13. Sasani H., Tüfekci S., Haksayar A. A Morphometric Evaluation of Anterior Fontanel and Cranial Sutures in Infants Using Computed Tomography // *Journal of Experimental and Clinical Medicine*. 2022. Vol. 39. Issue 2. P. 321–326.
14. Sherick D. G., Buchman S. R., Goulet R. W., Goldstein S. A. A New Technique for the Quantitative Analysis of Cranial Suture Biology // *Cleft Palate Craniofac Journal*. 2000. Vol. 37. Issue 1. P. 5–11. https://doi.org/10.1597/1545-1569_2000_037_0005_antftq_2.3.co
15. Sreedher G., Gillespie C., Brown M., Ganapathy Sh. S. Cranial Suture Evaluation on Routine Pediatric MRI // *Current Problems in Diagnostic Radiology*. Vol. 50. Issue 5. 2021. P. 650–655.
16. Weinzweig J., Kirschner R. E., Farley A., Reiss Ph., Hunter J., Whitaker L. A., Bartlett S. P. Metopic Synostosis: Defining the Temporal Sequence of Normal Suture Fusion and Differentiating It from Synostosis on the Basis of Computed Tomography Images // *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2003. № 112 (5). P. 1211–1218. DOI: 10.1097/01.PRS.-0000080729.28749.A3

References

1. Çalıřkan, S., Ođuz, K. K., Tunalı, S., Aldur, M. M., Erçakmak, B. & Sargon, M. F. (2018). Morphology of Cranial Sutures and Radiologic Evaluation of the Variations of Intersutural Bones. *Folia Morphologica*, 77 (4), 730–735. DOI: 10.5603/FM.a2018.0030 [in English].
2. Corega, C., Vaida, L., Băciuț, M., Șerbănescu, A. & Palaghiță-Banias, L. (2010). Three-Dimensional Cranial Suture Morphology Analysis. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*, 51 (1), 123–127 [in English].
3. Cotton, F., Rozzi, F., Vallée, B., Pachai, C., Hermier, M., Guihard-Costa, A. & Fromen, J. (2005). Cranial Sutures and Craniometric Points Detected on MRI. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 27, 64–70. DOI: 10.1007/s00276-004-0283-6 [in English].
4. Di Leva, A., Bruner, E., Davidson, J., Pisano, P., Haider, T., Stone, S. S., Cusimano, M. D., Tschabitscher, M. & Grizzi F. (2013). Cranial Sutures: a Multidisciplinary Review. *Child's Nervous System*, 29 (6), 893–905. DOI 10.1007/s00381-013-2061-4 [in English].
5. Eley, K. A., Sheerin, F., Taylor, N., Watt-Smith, S. R. & Golding, S. J. (2013). Identification of Normal Cranial Sutures in Infants on Routine Magnetic Resonance Imaging. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 24 (1), 317–320. DOI: 10.1097/SCS.0b013e318275edee [in English].
6. Frassanito, P. & Di Rocco, C. (2011). Depicting Cranial Sutures: A Travel into the History. *Child's Nervous System*, 27, 1181–1183 [in English].
7. Furuya, Y., Edwards, M. S. B., Alpers, Ch. E., Tress, B. M., Ousterhout, D. K. & Norman, D. (1984). Computerized Tomography of Cranial Sutures. Part 1: Comparison of Suture Anatomy in Children and Adults. *Journal of Neurosurgery*, 61 (1), 53–58. DOI: 10.3171/jns.1984.61.1.0053 [in English].
8. Gufler, H., Preiř, M. & Koesling, S. (2014). Visibility of Sutures of the Orbit and Periorbital Region Using Multidetector Computed Tomography. *Korean Journal of Radiology*, 15 (6), 802–809. DOI: 10.3348/kjr.2014.15.6.802 [in English].
9. Idriz, S., Patel, J. H., Renani, S. A., Allan, R. & Vlahos, I. (2015). CT of Normal Developmental and Variant Anatomy of the Pediatric Skull: Distinguishing Trauma from Normality. *RadioGraphics*, 35 (5). DOI: 10.1148/rg.2015140177 [in English].
10. Mitchell, L. A., Kitley, C. A., Armitage, T. L., Krasnokutsky, M. V. & Rooks, V. J. (2011). Normal Sagittal and Coronal Suture Widths by Using CT Imaging. *American Journal of Neuroradiology*, 32 (10), 1801–1805. DOI: 10.3174/ajnr.A2673 [in English].
11. Nikolova, S., Toneva, D., Georgiev, I., Harizanov, S., Zlatareva, D., Hadjidekov, V. & Lazarov, N. (2017). A CT-Study of the Cranial Suture Morphology and Its Reorganization during the Obliteration. *Collegium Antropologicum*, 41 (2), 125–131 [in English].
12. Patel, K. B., Eldeniz, C., Skolnick, G. B., Jammalamadaka, U., Commean, P. K., Goyal, M. S., Smyth, M. D. & An, H. (2020). 3D Pediatric Cranial Bone Imaging Using High-Resolution MRI for Visualizing Cranial Sutures: a Pilot Study. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 26 (3), 311–317. DOI: 10.3171/2020.4.PEDS20131 [in English].
13. Sasani, H., Tüfekci, S. & Haksayar, A. (2022). A Morphometric Evaluation of Anterior Fontanel and Cranial Sutures in Infants Using Computed Tomography. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 39 (2), 321–326 [in English].
14. Sherick, D. G., Buchman, S. R., Goulet, R. W. & Goldstein, S. A. (2000). A New Technique for the Quantitative Analysis of Cranial Suture Biology. *Cleft Palate Craniofac Journal*, 37 (1), 5–11. DOI: 10.1597/1545-1569_2000_037_0005_antftq_2.3.co [in English].
15. Sreedher, G., Gillespie, C., Brown, M. & Ganapathy, Sh. S. (2021). Cranial Suture Evaluation on Routine Pediatric MRI. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 50 (5), 650–655 [in English].
16. Weinzeig, J., Kirschner, R. E., Farley, A., Reiss, Ph., Hunter, J., Whitaker, L. A. & Bartlett, S. P. (2003). Metopic Synostosis: Defining the Temporal Sequence of Normal Suture Fusion and Differentiating It from Synostosis on the Basis of Computed Tomography Images. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 112 (5), 1211–1218. DOI: 10.1097/01.PRS.0000080729.28749.A3 [in English].

Mkhitaryan L.

doctor of medical sciences, professor,
Professor of the Department of Biology
Mykola Gogol Nizhyn State University
laurasmkhitaryan@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2347-0107

Kuchmenko O.

doctor of biological sciences, professor,
Head of the Department of Biology,
Mykola Gogol Nizhyn State University
kuchmeb@yahoo.com
orcid.org/0000-0002-3021-8583

Havii V.

candidate of biological sciences, associate professor,
Associate Professor of the Department of Biology
Mykola Gogol Nizhyn State University
gaviyv@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2804-0456

**REVIEW OF RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF MAGNETIC
RESONANCE IMAGING FOR HUMAN SKULL MEASUREMENT**

The article aims to trace the establishment and evolution of research using computed tomography and magnetic resonance imaging for studying the normal morphology and development of cranial sutures. It was established that in the mid-1980's, the advent of computed tomography became a turning point in cranial suture research, overcoming the limitations of bone scintigraphy and eliminating the need to administer radionuclides to patients. Computed tomography quickly took its place as the technology for optimal visualization of bone anatomy; however, radiological examination of sutures was later recognized as redundant in most cases due to advances in surgical treatment of craniosynostosis. Systematic studies from the 1990's to the early 2000's established CT as the gold standard for cranial suture imaging. Regarding the second decade of the 21st century, this period was characterized by the development of optimal technical scanning parameters and the creation of the first normative databases for pediatric practice, which filled a critical gap in diagnostic standardization. With the development of micro-computed tomography technology, new opportunities opened up for studying suture ultrastructure, as it enabled non-destructive analysis at the microscopic level. Simultaneously, growing concerns about radiation exposure stimulated the search for alternatives in the form of magnetic resonance imaging, which gradually evolved from an experimental method to a clinically acceptable one for diagnostics. Recent studies indicate that a transition is occurring from exclusive use of computed tomography to a balanced approach, where magnetic resonance imaging is considered a promising alternative for routine monitoring, especially in pediatrics, reflecting the general trend in modern medicine toward minimizing radiation exposure to patients. On the other hand, at the turn of the 2010s and 2020s, building on the achievements of predecessors, researchers began to predominantly investigate cranial suture pathologies using CT and MRI. A review of these works represents a prospect for further research.

Key words: craniotomy, skull, morphology, physical anthropology, magnetic resonance imaging, computerized tomography, cranial suture.

**Стаття до редакції надійшла 03.09.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 18.09.2025 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 параграфа 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). Peroksydneye okysnennia 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**