

ISSN 2786-6955

UDC 57:54:664

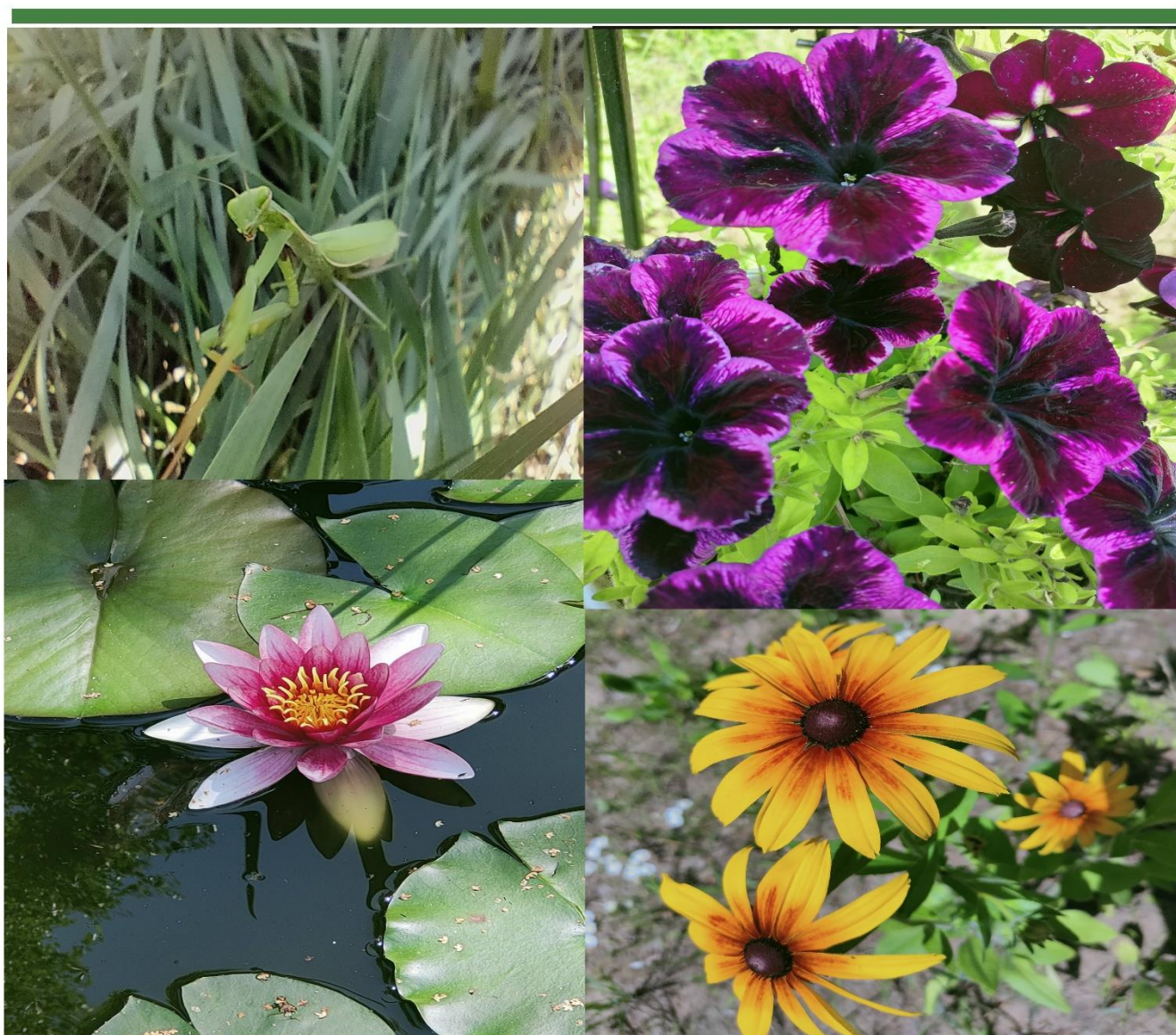
2

BHT 2024

BIOTA. HUMAN. TECHNOLOGY

International Scientific Journal

Electronic edition





BTH

2024 | 2

International Scientific Journal

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

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

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

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

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

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

Journal is reflected in the following databases:

Crossref
Google Scholar
Scilit

V.I. Vernadskiy National Library of Ukraine

Languages: English, Polish, Ukrainian

Frequency: 3 numbers a year

Founder: T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”

Publisher: T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”

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

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

Email: bht.journal.nuchc@gmail.com

EDITORIAL BOARD

Oleksandr V. LUKASH
(Editor-in-Chief)

T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium», Ukraine
Doctor of Biological Sciences, Professor

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

Doctor of Technical Sciences, Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

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

Doctor of Technical Sciences, Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Olena S. BONDAR

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

Yulia V. BONDARENKO

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

Olena E. CHYHYRYNETZ

Doctor of Technical Sciences, Professor
National Technical University of Ukraine «Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

Nataliia R. DEMCHENKO

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

Natalia V. GREVTSEVA

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

Olena V. HORODYSKA

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

Vasyl V. HRUBINKO

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

Yuri O. KARPENKO

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

Olena Yu. KUPCHYK

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

Natalia M. KURCHALUK

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

Svitlana V. KYRIIENKO

Ph.D. in Biological Sciences
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Nadiia V. LAPITSKA

Ph.D. in Technical Sciences
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

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

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

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

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

Olga B. MEKHED

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

Tetiana V. MOROZOVA

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
National Transport University,
Kyiv, Ukraine

Svitlana H. OLIINYK

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

Lee T. OSTROM

Ph.D., Professor
University of Idaho, USA

Olga V. SAMOKHVALOVA

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

Olesia M. SAVCHENKO

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

Mariia I. SHANAIDA

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

Nataliia O. SMOLIAR

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

Stepan N. VADZYUK

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

Viktorija I. VOROBYOVA

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

Liubov B. ZELENA

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

Foreword

from the Editor-in-Chief

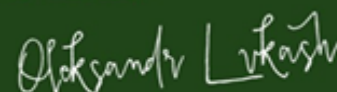
There is no need to convince readers of the first our issue that the natural environment is created and maintained by living organisms, the totality of which is biota. The study of the diversity of living, which began since the day of Hippocrates, Aristotle, and Theophrastus, has not lost its relevance in the modern scientific world. In the 21st century, the search for scientists in quite diverse – from inventory species diversity of ecosystems to the study of adaptation mechanisms of organisms and biota metagenomic studies.

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

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

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

Respectfully Yours,
Prof. O. Lukash



CONTENTS

PHYTOBIOTA

ФІТОБІОТА

Yurii Karpenko, Olha Mekhed, Svitlana Kyryienko

**COSMARIUM TAXICHONDRIFORME EICHLER & GUTWINSKI 1895 –
THE FOURTH RECORD OF A RARE DESMID (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA)
IN CHERNIHIV POLESIE**

Юрій Карпенко, Ольга Мехед, Світлана Кирієнко

**COSMARIUM TAXICHONDRIFORME EICHLER & GUTWINSKI 1895 – ЧЕТВЕРТА
ЗНАХІДКА РІДКІСНИХ ДЕСМІДІЄВИХ (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA)
НА ЧЕРНІГІВСЬКОМУ ПОЛІССІ**

[in English]

– 9 –

Ліна Кармизова

**АНАЛІЗ АДВЕНТИВНОЇ ФРАКЦІЇ ФЛОРИ ЗАПЛАВИ РІЧКИ ДНІПРО
В МЕЖАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ**

Lina Karmyzova

**ANALYSIS OF THE ALIEN FRACTION OF THE FLORA OF FLOODPLAIN
OF THE DNIPRO RIVER IN THE BOUNDARIES OF THE NORTHERN STEPPE**

[in Ukrainian]

– 16 –

MICROBIOTA

МІКРОБІОТА

Людмила Хрокало, Дар'я Сулима

**МЕТАЛЕВІ НАНОЧАСТИНКИ ТА АНТИБІОТИКИ: ВАЛОРИЗАЦІЯ СИНЕРГЕТИЧНОЇ
ВЗАЄМОДІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ**

Liudmyla Khrokalo, Daria Sulyma

**METAL NANOPARTICLES AND ANTIBIOTICS:
VALORIZATION OF SYNERGISTIC INTERACTION AND APPLICATION PROSPECTS**

[in Ukrainian]

– 26 –

 **ZOOBIOTA** 
ЗООБІОТА

Людмила Гапонова

ОСОБЛИВОСТІ ВИДОВОГО РІЗНОМАНІТТЯ ЦИКЛОПОІДНИХ КОПЕПОД
ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Liudmyla Gaponova

FEATURES OF SPECIES DIVERSITY OF CYCLOPOID COPEPODS
IN NATURE RESERVES OF UKRAINIAN POLESIE

[in Ukrainian]

- 49 -

 **ENVIRONMENTAL POLLUTION** 
STRESSES AND ORGANISMS' RESPONSE
СТРЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ
ТА РЕАКЦІЯ ОРГАНІЗМІВ

Тетяна Морозова

ФЕНОТИПІЧНА ПЛАСТИЧНІСТЬ *TRIFOLIUM REPENS* L.
ЯК ІНФОРМАТИВНА ІНДИКАТОРНА ОЗНАКА ЕКОФІТОМОНІТОРИНГУ

Tetiana Morozova

PHENOTYPIC PLASTICITY *TRIFOLIUM REPENS* L. AS AN INFORMATIVE INDICATOR SIGN
OF ECOPHYTOMONITORING

[in Ukrainian]

- 57 -

Nataliia Dushechkina, Vira Moroz, Volodymyr Yanitskyi

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF CLIMATE CHANGE:
GLOBAL CHALLENGES AND REGIONAL RESPONSES

Наталія Душечкіна, Віра Мороз, Володимир Яніцький

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ЗМІНИ КЛІМАТУ:
ГЛОБАЛЬНІ ВИКЛИКИ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ВІДПОВІДІ

[in English]

- 70 -

Наталя Ілюк, Ігор Костенко, Дмитро Бідолах

ВПЛИВ АНТРОПОГЕННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ПРИРОДНІ РЕСУРСИ:
ПОШУК СТІЙКИХ МОДЕЛЕЙ РОЗВИТКУ

Natalia Iliuk, Igor Kostenko, Dmytro Bidolakh

IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES ON NATURAL RESOURCES:
SEARCHING FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT MODELS

[in Ukrainian]

– 77 –

 **BIOTIC REGULATION OF THE ENVIRONMENT** 
БІОТИЧНА РЕГУЛЯЦІЯ ДОВКІЛЛЯ

Володимир Єрохін, Максим Стець

ІНТЕГРАЦІЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ У ЦИРКУЛЯРНУ ЕКОНОМІКУ

Volodymyr Yerokhin, Maksym Stets

INTEGRATION OF BIOTECHNOLOGY INTO THE CIRCULAR ECONOMY

[in Ukrainian]

– 90 –

 **MAN AND HIS HEALTH** 
ЛЮДИНА ТА ЇЇ ЗДОРОВ'Я

*Elizaveta Kadirova, Halina Tkaczenko, Piotr Kamiński,
Oleksandr Lukash, Natalia Kurhaluk*

HARNESSING PHYTOTHERAPY: EXPLORING ALTERNATIVE TREATMENTS
FOR MALE INFERTILITY

*Єлизавета Кадирова, Галина Ткаченко, Пьотр Камінський,
Олександр Лукаш, Наталія Кургалюк*

ВИКОРИСТАННЯ ФІТОТЕРАПІЇ: ВИВЧЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МЕТОДІВ
ЛІКУВАННЯ ЧОЛОВІЧОГО БЕЗПЛІДДЯ

[in English]

– 100 –

Юлія Іваницька

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ГЕМАТОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ХВОРИХ НА COVID-19

Yuliia Ivanytska

COMPLEX ANALYSIS OF HEMATOLOGICAL INDICATORS
OF PATIENTS WITH COVID-19

[in Ukrainian]

- 125 -

 **INSTRUCTIONS FOR AUTHORS** 

КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ

- 136 -



ΡΗΥΤΟΒΙΟΤΑ

ΦΙΤΟΒΙΟΤΑ



UDC 582.263.3(477.51)

Yurii Karpenko, Olha Mekhed, Svitlana Kyryienko

**COSMARIUM TAXICHONDRIFORME EICHLER & GUTWINSKI 1895 –
THE FOURTH RECORD OF A RARE DESMID (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA)
IN CHERNIHIV POLESIE**

Юрій Карпенко, Ольга Мехед, Світлана Кириєнко

**COSMARIUM TAXICHONDRIFORME EICHLER & GUTWINSKI 1895 –
ЧЕТВЕРТА ЗНАХІДКА РІДКІСНИХ ДЕСМІДІЄВИХ
(ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA) НА ЧЕРНІГІВСЬКОМУ ПОЛІССІ**

DOI: 10.58407/bht.2.24.1

ABSTRACT

Purpose. Adding new distribution and microphotographs of a rare taxon of the genus *Cosmarium* found in a small pond in Chernihiv Polesie. Review of the history of this taxon study in Ukraine and its taxonomy, infraspecific taxa characters are compared discussed.

Methodology. The new locality of *C. taxichondriforme* is situated at the border of the landscape reserve of national significance "Zamglai" that is one of the largest eutrophic swamps in the Chernihiv Polesie.

During the field research of the Zamglai bog complex, algal samples were collected from a small pond (2000 m²) situated along the road to Hrybova Rudnia village from route E95, at the distance of 1,8 km village and 0.8 km from the route. The samples were fixed with 4 % formalin for further study in laboratory conditions; pH and electrical conductivity of water were measured with a portable pH and conductivity meter. Microscopic examination of the samples was carried out using a light microscope equipped with a camera for taking microphotos. Identification manuals and monographs of the leading Ukrainian (Palamar-Mordvitseva, 1986, 2005) and European desmidiologists (Lenzenweger, 1999) were used for species identification. The iconotype provided in the original description of the newly recorded taxon (Eichler & Gutwiński, 1895) was used.

Scientific novelty. The fourth record in the Ukrainian desmidioflora and a new locality in Chernihiv Polesie of a rare taxon from the genus *Cosmarium* is documented. Previously it was discovered 26 years ago (Palamar-Mordvitseva & Shindanovina, 1998) in Soseske bog nearby Olyshivka village Chernihiv rayon and oblast. This is the first publication of Ukrainian cells microphotographs.

Conclusions. All records of this taxon in Ukraine are in Chernihiv Polesie. We hope this publication will provide good illustrative and informative basis for further findings of *C. taxichondriforme* in other regions of Ukraine. Sampling small water bodies should not be neglected.

Keywords: *Desmidiaceae*, Chernihiv Polesie, small water bodies

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Рідкісний таксон роду *Cosmarium*, знайдений в маленькій водоймі Чернігівського Полісся. Огляд історії вивчення цього таксону в Україні та його систематики, розглянута порівняльна характеристика внутрішньовидових таксонів. Представлені мікрофотографії та новий локалітет його розповсюдження.

Методологія. Новий локалітет *C. taxichondriforme*, розташований на кордоні ландшафтного заказника загальнодержавного значення «Замглай», що є одним з найбільших на Чернігівському Поліссі евтрофних боліт.

В ході проведення експедиційних досліджень болотного комплексу «Замглай» були відібрані альгологічні зразки в маленькій водоймі (2000 м²), що розташована вздовж дороги, що з'єднує трасу E95 з селом Грибова Рудня. Зразки були зафіксовані 4 %-ним формаліном для подальшого дослідження у лабораторних умовах. рН та електропровідність води визначали портативним приладом. Мікроскопічне дослідження проб здійснювалось за допомогою світлового мікроскопу, обладнаного фотокамерою для мікрофотофіксації. Визначники та монографії провідних українських (Паламар-Мордвінцева, 1986, 2005) та європейських десмідіологів (Lenzenweger, 1999) використовувались для визначення видів. Використовували іконотип виду з первісного його опублікування (Eichler & Gutwiński, 1895).

Наукова новизна. Четверта знахідка в Україні рідкісного таксону роду *Cosmarium*, остання публікація була 26 років тому назад (Palamar-Mordvitseva & Shindanovina, 1998) для болота Сосенське, поблизу села Олишівка Чернігівського району, Чернігівської області. Це перша публікація мікрофотографій українських клітин *C. taxichondriforme*.

Висновки. Всі опубліковані знахідки даного таксона в Україні в Лівобережному Поліссі. Маємо надію, що дана публікація, що містить добрий ілюстративний та інформативний матеріали надасть можливість для подальших знахідок *C. taxichondriforme* в інших регіонах України. Маленькі водойми не можна оминати увагою.

Ключові слова: *Desmidiaceae*, маленькі водойми, Чернігівське Полісся

Introduction

Cosmarium taxichondriforme Eichler & Gutwinski was first introduced by two Polish authors Bogumir Eichler and Roman Gutwiński (Eichler & Gutwiński, 1894) under the name *Cosmarium pseudotaxichondrum* Eichler & Gutwinski 1884: 240, no fig. Later authors apparently realized existence of *C. pseudotaxichondrum* Nordstedt 1878: 20, pl. 2: fig 5, and in (Eichler & Gutwiński, 1895) changed name to *C. taxichondriforme* Eichler & Gutwinski 1895: 169, pl. IV: fig. 23. This taxon was found at the environs of Międzyrzec town (now Międzyrzec Podlaski town in Poland, in Bielsko-Biala County, Lublin Voivodeship). This region belongs to Polesie and is situated in its western part. This town is situated at the distance of 70 km from the border of Ukraine.

In Ukraine this taxon was first recorded by Rayevska in 1950 in Rybne Lake situated in the environs of Kyiv city in the North-Eastern part. There are no drawings of this taxon but the author indicated the dimensions of the Ukrainian material: length 36-40 μm , width 36-40 μm , isthmus 10-11.5 μm , thickness 22-24 μm .

Next record dates back to 1953 by the same author and about the same locality (Frolova-Raevskaya, 1953). It is in fact the summary of the Rybne Lake algoflora study: in total 318 species and 48 infraspecific taxa of algae were found in this lake, from them 89 species and 12 infraspecific taxa of desmids were recorded.

This publication does not provide any drawings or cells description as well.

In 1981 G.M. Palamar-Mordintseva introduced a new genus *Pachyphorium* Palamar-Mordvintseva (1981: 223) and the next publication on this taxon in Ukraine (Palamar-Mordvintseva, 1982) was under the name of *Pachyphorium taxichondriforme* (Eichler & Gutwinski) Palamar-Mordvintseva. In this publication the author provides diagnosis of this taxon and the dimensions: length 31-41.5 μm , width 31-47 μm , isthmus 10-15 μm , thickness 17-22 μm . There are also two drawings: one

after West & West, 1905, plate LVI, fig. 8 and another is original (Palamar-Mordvintseva, 1982, p. 502, plate 133, fig. 6). New exact locality in Ukraine is not specified, only noted: small bogs, Ukraine, Kyiv region (also in Leningrad and Pskov regions of Russian Federation, and Latvia). In (Palamar-Mordvintseva, 1986) the same information on this species was published with indication of distribution in Ukraine in Left-Bank Polesie (Kiev region).

The new locality of *C. taxichondriforme* in Ukraine was added in 1998 (Palamar-Mordvintseva & Shindanovina, 1998) in Sosenske bog within Sosenskyj hydrological reserve in Chernihiv region. The authors did not provide neither dimension nor drawing of this taxon.

So far in Ukraine there were published three localities and one drawing of this species with face and apical views with no reference to a locality (see Fig.3 for the first drawings of this taxon in Poland and Ukraine).

According to the modern taxonomy and nomenclature of the Conjugatophyceae, genus *Pachyphorium* Palamar-Mordvintseva is not accepted taxonomically (Guiry 2013) and we still consider this alga within the genus *Cosmarium* Corda.

In this paper the authors report on a new geographical record for this scarce desmid species.

Materials and methods

Locality:

The new locality of *C. taxichondriforme* is situated at the border of the landscape reserve of national significance "Zamglai" that is one of the largest eutrophic swamps in the Chernihiv Polesie. A small pond (2000 m^2) situated along the road to Hrybova Rudnia village from route E95, at the distance of 1,8 km village and 0,8 km from the route (Chernihiv district, Ripky region, Ukraine, 51°56'12.6"N, 31°03'01.7"E).

The algal samples were collected in August 2018, at water temperature of 21.5°C, pH 7.5, conductivity 33-35 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Figure 1 shows the location of the pond.



Fig.1. Google Maps view of the location of the sampling site

Ecological variables were measured with EZODO 8200M pocket multimeter (EZODO, Taiwan). Identification was done based on R. Lenzenweger’s *Desmidiaceenflora von Österreich* (1999), and Palamar-Mordvintseva (1986).

Microphotographs were made with a Canon EOS 1000D digital camera.

Results and discussion

This taxon was not very frequent in samples. It can be easily identified by the basal angular wall thickening and its deep undulated sinus that is closed for 1/3 of its length nearby isthmus and further slightly open for the rest its

length. The basal angles are thickened. This taxon has a central chloroplast with one pyrenoid. The dimensions of our observed cell (1 cell was measured) are bigger than those of Eichler & Gutwiński (1895) but within the dimensions indicated by Rayevska (1950) and Palamar-Mordvintseva (1982, 1986). *C. taxichondriforme* dimensions measured by different authors presented in Table 1.

The general outline of the cells with face, side and apical views and a face view of the live cell are presented in microphotographs at Fig. 2.

Table 1

Dimensions of *Cosmarium taxichondriforme* Eichler & Gutwinski 1894 cells as measured by different authors

Dimensional features	Our cell from a pond near Hrybova Rudnia, μm	Eichler & Gutwiński (1895), μm	Rayevska (1950), Rybne Lake, μm	Palamar-Mordvintseva (1982, 1986), μm
Length	41.7	31-32-29-34-35	36-40	31-41.5
Breadth	38.9	31-34-31-0-34	36-40	31-47
Thickness	23.6	17-18-17-20-20	22-24	17-22
Isthmus	14.0	11-10-11-0-11	10-11.5	10-15
Length / breadth ratio	1.07	0.94–1.04	1.0	0.88-1.0

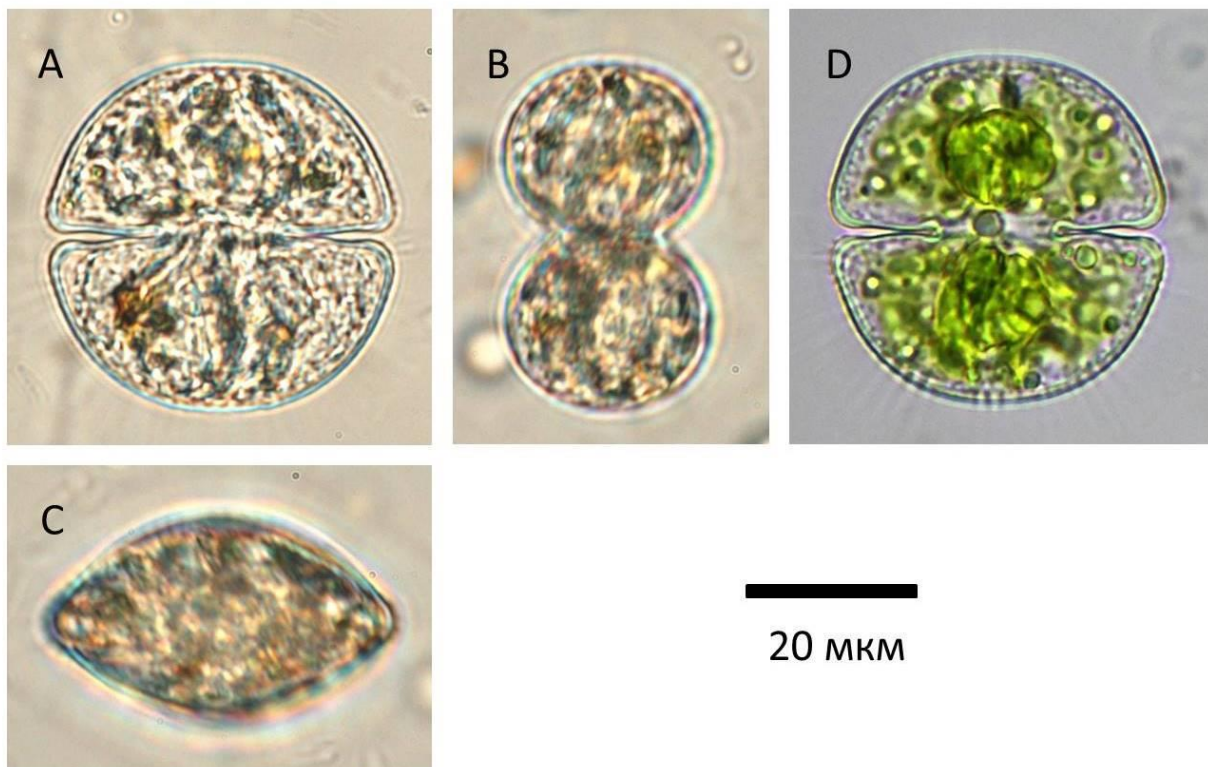


Fig. 3. Microphotographs of *Cosmarium taxichondriforme* Eichler & Gutwinski 1895. Front view (A), lateral view (B), apical view (C), live cell outline (D)

Generally, 5 infraspecific taxa (varieties) of *C. taxichondriforme* including type one are known to date (Eichler & Gutwinski 1895; Grönblad 1960; Krieger & Gerloff 1962; Coesel 1979, 1991). Morphologically our cell is different from var. *depressum* Eichler & Gutwinski in size (last one is much smaller – 20-26 μm long, 23-24 μm wide, isthmus 6-7 μm , thickness 15-17 μm) and in shape (its semicells viewed from the front and from the side are dorsally truncated and therefore quite depressed).

C. taxichondriforme var. *planipes* Grönblad characterized by linear median constriction and well distinguished in this feature from our specimen. The vertical view of those two algae is similar (Grönblad 1960: figs. 56, 57).

C. taxichondriforme var. *skujae* Krieger & Gerloff was described by Krieger & Gerloff (1962) based on Skuja (1928) and Allorge & Lefèvre (1925) descriptions and drawings. It is slightly similar to our specimen in dimensions (42-52 μm long, 40-47 μm wide, thickness 25-30 μm , isthmus 14-18 μm , but distinctly different from our algae in having longer cells, slightly rounded protracted basal angles, heavily convex and slightly truncated apex (Krieger & Gerloff, 1962: 33, plate 10, fig. 2 a-b).

C. taxichondriforme var. *nudum* (Turner) Coesel 1991: 58 (basonym: *C. taxichondrum* Lundell var. *nudum* Turner 1892: 60, pl.8: fig. 64; synonym: *C. taxichondriforme* var. *nudum* (Turner) Coesel, *nom. inval.* 1979: 392, *nomen*) also similar to our specimen in general shape of the cell but very significant distinguishing features of this variety include two pyrenoids per semicell instead of one in our specimen.

All previous comparisons with descriptions of *C. taxichondriforme* infraspecific taxa known to date give us clear confidence what our specimen belongs to the type variety of *Cosmarium taxichondriforme* Eichler & Gutwinski. Main morphological characteristics of this taxon are: quite large cell dimensions, undulated sinus, one pyrenoid in each semicell, and characteristic outline of the semicell. Eichler & Gutwinski (1895: 169) in protologue of this species indicated shape of the cell as “in aspect frontali, habitu *Cosmarii taxichondri* Lund. var. *nudi* Turner”, which is almost circular in outline (Turner 1893: 60, pl. VIII, fig. 64). The same, almost circular or semicircular (to trapeziform), slightly depressed shape of the cells mentioned in Coesel (1991) and depicted in Krieger & Gerloff (1962: pl. 10, fig. 1a).

In Palamar-Mordvintseva (1982, 1986) original drawings of this species shows very strong trapeziform cell outline with practically flat or even truncate apex (Fig. 3 A). Such shape of the cells is different from the shape shown by drawings of Eichler & Gutwinski (1895) (Fig. 3 B). As known (Palamar-Mordvintseva, 2005: 5), main systematic characteristics which plays significant role in identification of desmids are:

shape of the cells, sinus structure, cell wall patterns and chloroplast shape and architecture. Based on this axiom, we can assume what *Cosmarium taxichondriforme* Eichler & Gutwinski *sensu* Palamar-Mordvintseva may be a new, not yet described variety of this species. Detailed studies of the cell morphology of intraspecific taxa of this species are important to confirm this assumption.

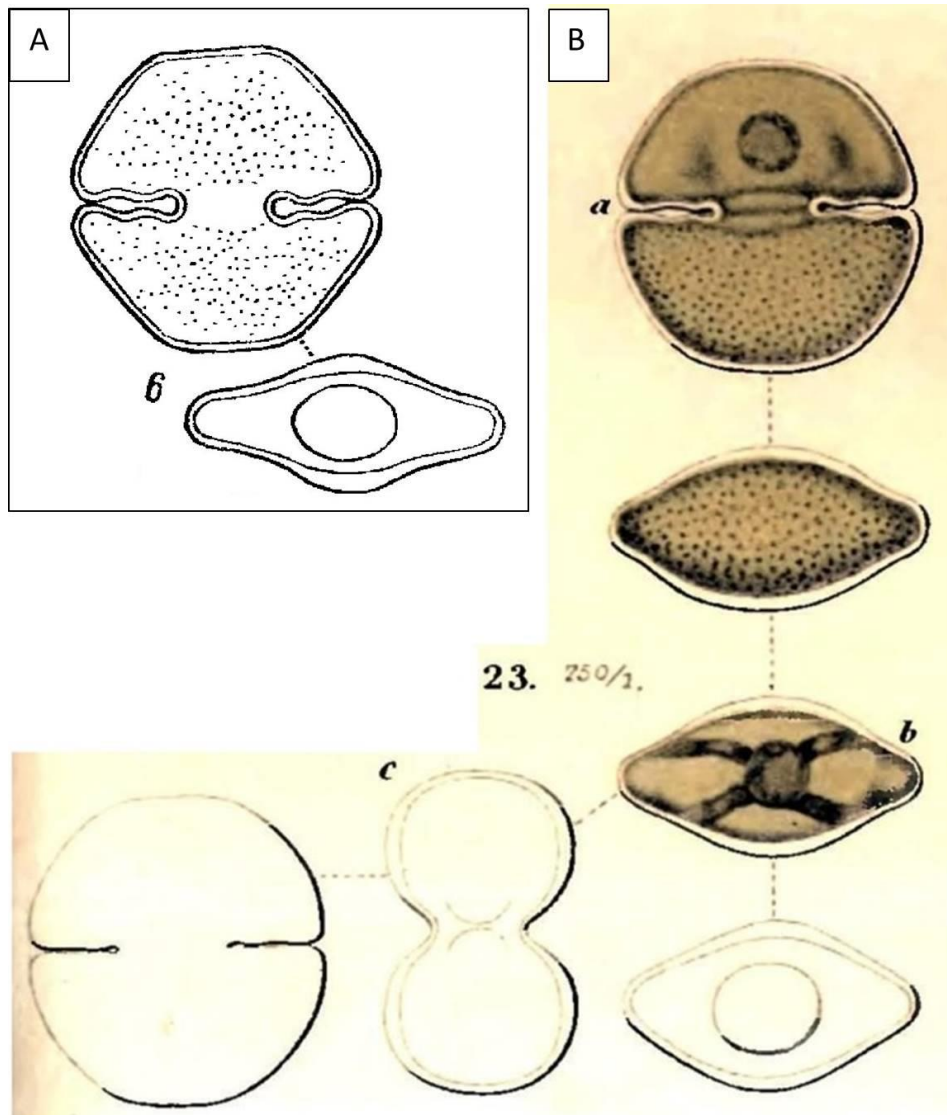


Fig. 3. Original drawings of *Cosmarium taxichondriforme* Eichler & Gutwinski 1895: by Palamar-Mordvintseva, 1986, p. 260, plate 59, fig 6 (A) and by Eichler & Gutwinski, 1895, plate IV, fig.23 (B)

Conclusions

Our publication is the fourth documentation of *Cosmarium taxichondriforme* Eichler & Gutwinski 1895 in Ukraine. All these four records refer to the Left-bank Polesie (part of the Ukrainian Polesie situated on the left bank

of Dnipro river). Our publication provides the first light microscope images as well as updated dimensions of Ukrainian population of this interesting species. We also hope that future findings of this taxon will bring light to better understanding of *Cosmarium taxichondriforme* and its infraspecific taxa.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Allorge, P., & Lefèvre, M. (1925). Algues de Sologne. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 72(6), 122–150, 132 figures.
- Coesel, P. F. M. (1979). Desmids of the broads area of N.W. Overijssel (The Netherlands) II. *Acta Botanica Neerlandica*, 28(6), 385–423, tables 12–32.
- Coesel, P. F. M. (1991). *De Desmidiaceeën van Nederland. Deel 4. Fam. Desmidiaceae (2)*. Utrecht: Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging.
- Eichler, B., & Gutwinski, R. (1894). De nonnullis speciebus algarum novarum. *Bulletin International de l'Académie des sciences de Cracovie*, 7, 237–241.
- Eichler, B., & Gutwinski, R. (1895). De nonnullis speciebus Algarum novarum. *Rozprawy Akademii Umiejetnosci. Wydział Matematyczno-Przyrodniczy [Kraków]*, Serya II, Tom VIII, 162–178.
- Grönblad, R. (1960). Contributions to the knowledge of the freshwater algae of Italy. *Societas Scientiarum Fennica Commentationes Biologicae*, 22(4), 5–84, pls 1–14.
- Guiry, M. D. (2013). Taxonomy and nomenclature of the Conjugatophyceae (=Zygnematophyceae). *Algae. An International Journal of Algal Research*, 28, 1–29.
- Krieger, W., & Gerloff, J. (1962). *Die Gattung Cosmarium, Lieferung 1*. Weinheim: Verlag von J. Cramer.
- Lenzenweger, R. (1999). Desmidiaceenflora von Österreich Teil 3. *Bibliotheca Phycologica*, 104, 1–218.
- Nordstedt, C. F. O. (1878). Nonnullae algae aquae dulcis brasilienses. *Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Forhandlingar, 1877(3)*, 15–28, 2 pls.
- Mordvintseva, G. M. (1981). New genus Desmidiales Pachyphorium Desmidacearum genus novum Pachyphorium Pal.-Mordv. *Novitates Systematicae Plantarum Vascularium et Non Vascularium*, 223–226, 8 figs. (in Russian)
Паламар-Мордвинцева Г. М. Новый род Desmidiales *Pachyphorium* Desmidacearum genus novum *Pachyphorium*. *Новости систематики высших и низших растений*. 1979. Сб. науч. тр. Киев, 1980-1981. С. 223–226.
- Palamar-Mordvintseva, G. M. (1982). *Manual for identification of the freshwater algae of the USSR. Desmidiales*, 11(2). Leningrad: Nauka. (in Russian)
Паламарь-Мордвинцева Г. М. Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые (2) / Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11(2). Ленинград: Наука, 1982. 620 с.
- Palamar-Mordvintseva, G. M. (1986). *Conjugates – Conjugatophyceae. Part 2. Desmids – Desmidiales. In: Identification manual of the freshwater algae of Ukrainian RSR, issue VIII, part 2* (M.M. Hollerbach, Ed.). Naukova Dumka. (in Ukrainian)
Паламар-Мордвинцева Г. М. Визначник прісноводних водоростей Української РСР, вип. 8. Кон'югати – *Conjugatophyceae*. Ч. 2. Десмідієві – *Desmidiales* / *Відп. ред. М.М. Голлербах*. Київ: Наук. думка, 1986. 320 с.

Palamar-Mordvintseva, G. M. (2005). *Flora of algae in continental water bodies of Ukraine. Desmid algae. Part 2: Desmidiaceae*. Akademperiodica. (in Ukrainian).

Паламар-Мордвинцева Г. М. Флора водоростей континентальних водойм України: Десмідієві водорості. Вип. 1, ч. 2 Desmidiaceae. Київ: Академперіодика, 2005. 578 с.

Palamar-Mordvintseva, G. M., & (Shindanovina=) Shyndanovina, I. P. (1998). Conjugatophyceae of hydrologic reservation "Sosenskoie" Chernigov Polessie, Ukraine. *Algologia*, 8(3), 301-307. (in Russian)

Паламар-Мордвинцева Г.М., Шиндановина И.П. Conjugatophyceae гідрологічного заказника Сосенское (Чернігівське Полесьє, Україна). *Альгологія*. 1998. Т. 8, № 3. С. 301-307.

Skuja, H. (1928). Vorarbeiten zur einer Algenflora von Lettland. IV. *Acta Horti Botanici Universitatis Latviensis*, 3(2/3), 103-218, 4 pls.

Turner, W. B. (1892). *Algae aquae dulcis Indiae orientalis*. The freshwater algae (principally Desmidiaceae) of East India. *Kunliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, 25(5), 1-187, 23 pls.

Received: 14.07.2024. Accepted: 13.08.2024. Published: 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Karpenko Yu., Mekhed O., Kyryienko S. *Cosmarium taxichondriforme* Eichler & Gutwinski 1895 – the fourth record of a rare desmid (*Zygnematophyceae*, *Streptophyta*) in Chernihiv Polesie. *Biota. Human. Technology*. 2024. №2. P. 9-15.

Cite this article in APA style as:

Karpenko Yu., Mekhed O., & Kyryienko S. (2024). *Cosmarium taxichondriforme* Eichler & Gutwinski 1895 – the fourth record of a rare desmid (*Zygnematophyceae*, *Streptophyta*) in Chernihiv Polesie. *Biota. Human. Technology*, 2, 9-15.

Information about the authors:

Karpenko Yu. [*in Ukrainian: Карпенко Ю.*]¹, Ph.D.inBiol. Sc., Assoc. Prof., email: yuch2011@i.ua

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

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

Mekhed O. [*in Ukrainian: Мехед О.*]², Candidate of Biological Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, professor, email: mekhedolga@gmail.com

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

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

Kyryienko S. [*in Ukrainian: Кирієнко С.*]³, Ph. D. in Biol. Sc., Assoc. Prof., email: vettavl@ukr.net

ORCID:0000-0002-2960-8656

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

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

² Manuscript preparation.

³ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

UDC 582.361/.99:627.152.153(477.6/.7)

Ліна Кармизова

АНАЛІЗ АДВЕНТИВНОЇ ФРАКЦІЇ ФЛОРИ ЗАПЛАВИ РІЧКИ ДНІПРО
В МЕЖАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ

Lina Karmyzova

ANALYSIS OF THE ALIEN FRACTION OF THE FLORA
OF FLOODPLAIN OF THE DNIPRO RIVER IN THE BOUNDARIES
OF THE NORTHERN STEPPE

DOI: 10.58407/bht.2.24.2

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Аналіз адвентивної фракції флори судинних рослин заплави великої річки субаридної зони Європи.

Методологія. Дослідження проводилися методами порівняльної флористики, збирання, гербаризації, визначення видів. При вивченні флори водойм використовувалися спеціальні гідроботанічні методи. Назви видів дослідженої флори подано за Mosyakin & Fedoronchuk (1999). Аналіз адвентивної фракції проведено за часом занесення – археофіти, неофіти, ступенем натуралізації – спонтанні, натуралізовані, за способом занесення – ксенофіти та ергазіофіти. В основі аналізу покладено класифікацію Корнася (Kornás, 1968).

Наукова новизна. Вперше проведено цілісну характеристику сучасного стану та складено конспект адвентивної фракції сучасної флори судинних рослин заплави річки Дніпро в межах Північного Степу. Проведено її аналіз за часом заносу та ступенем натуралізації.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що адвентивна флора судинних рослин заплави річки Дніпро в межах Північного Степу характеризується значною кількістю адвентів – 175 видів, у порівнянні з адвентивною фракцією флори Північного Степового Придніпров'я – 357 видів (Baranovski et al., 2023). Це свідчить про значний антропогенно-кліматичний вплив на рослинний покрив даного регіону. За часом занесення на досліджену територію алохтонний елемент розподілено на дві групи: археофіти – 65 видів (37,2 %) та неофіти – 110 видів (62,8 %). За ступенем натуралізації види розподілені таким чином: натуралізовані археофіти – 53 види (30,2 %), натуралізовані неофіти – 58 видів (33,1 %), спонтанні археофіти – 12 видів (6,8 %), спонтанні неофіти – 52 види (29,7 %). Серед представленої флори адвентивної фракції первинний ареал більшості видів – середземноморський – 43 види (24,6 %), азійський – 41 вид (23,4 %) та північноамериканський – 37 видів (11,1 %). Інші види мають наступний первинний ареал: європейський – 14 видів (8 %), середземноморсько-ірано-туранський – 12 видів (6,9 %), ірано-туранський – 11 видів (6,3 %), південноамериканський – 9 видів (5,1 %) ареал невідомого походження – 6 видів (3,4 %) та ареал антропогенного походження – 2 види (1,1 %). За способом занесення у складі флори суттєво переважають ксенофіти.

Ключові слова: чужорідні види, долина річки Дніпро, археофіт, неофіт, антропогенна трансформація, судинні види, фракційний аналіз

ABSTRACT

Objective. Analysis of the adventitious fraction the vascular plant flora of the floodplain a major river in the subarid zone of Europe.

Methodology. The research was carried out by methods of comparative floristics, collection, herbarization, and species identification. Special hydrobotanical methods were used to study the flora of water bodies. Species names of the studied flora are given after Mosyakin & Fedoronchuk (1999). The analysis of the adventitious fraction was carried out according to the time of introduction - archaeophytes, neophytes, the degree of naturalization - spontaneous, naturalized,

and the method of introduction - xenophytes and ergasophytes. The analysis is based on the classification of Kornás (1968).

Scientific novelty. For the first time, a holistic characterization of the current state and a synopsis of the adventitious fraction within the modern flora vascular plants of the Dnipro River floodplain within the Northern Steppe was carried out. It was analyzed by the time of introduction and the degree of naturalization.

Conclusions. As a result of the study, it was found that the adventitious flora the vascular plants of the Dnipro River floodplain within the Northern Steppe is characterized by a significant number of adventitious species – 175 species, compared to the adventitious fraction of the flora of the Northern Steppe Dnipro region – 357 species (Baranovski et al., 2023). This indicates a significant anthropogenic and climatic impact on the vegetation of this region. According to the time of introduction to the studied area, the allochthonous element is divided into two groups: archaeophytes – 65 species (37.2 %) and neophytes – 110 species (62.8 %). According to the degree of naturalization, the species are distributed as follows: naturalized archaeophytes – 53 species (30.2 %), naturalized neophytes – 58 species (33.1 %), spontaneous archaeophytes – 12 species (6.8 %), spontaneous neophytes – 52 species (29.7 %). Among the flora of the adventitious fraction, the primary habitat of most species is Mediterranean – 43 species (24.6 %), Asian – 41 species (23.4 %) and North American – 37 species (19.8 %). The remaining species have the following primary habitats: European – 14 species (8 %), Mediterranean-Iranian-Turanian – 12 species (6.9 %), Iranian-Turanian – 11 species (6.3 %), South American – 9 species (5.1 %), area of unknown origin – 6 species (3.4 %), and anthropogenic origin – 2 species (1.1 %). Xenophytes significantly prevail in the flora by the method of introduction.

Key words: alien species, Dnipro river valley, archaeophyte, neophyte, anthropogenic transformation, vascular species, fractional analysis

Постановка проблеми

Антропогенний вплив та стрімкі зміни клімату активують проникнення нових адвентивних видів та посилюють інвазивність вже існуючих. Такі зміни є загрозою збереженню природної флори та фауни. Дослідження процесу біологічних інвазій, як об'єктів глобальних змін, потребують управління та контролю, уявлення загроз біологічних інвазій з метою їх прогнозування.

Проблема фітоінвазій гостро стоїть в Україні, де види флори адвентивних рослин складають понад 20 % загальної флори. Найбільший негативний вплив інвазійних видів на біорізноманіття відчувається в регіонах, де природний рослинний покрив дуже фрагментований (Protoporova & Shevera, 2019).

Флора заплав відрізняється найбільш значним фіторізноманіттям (Schindler et al., 2016). Але завдяки різноманіттю біотопів та різних шляхів (водний, наземний) проникнення видів, адвентизація території та акваторій заплавних ландшафтів також дуже значна.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводилися традиційними методами порівняльної флористики (Serebryakov, 1964). Назви видів подані за офіційним для України зведенням (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999). При вивченні флори водойм використовувалися спеціальні гідроботанічні методи (Katanskaya, 1981). Аналіз адвентивної фракції проведено за часом занесення – археофіти, неофіти, ступенем натуралізації – спонтанні, натуралізовані (Richardson, 2000), за способом занесення – ксенофіти та ергазіофіти. В основі аналізу покладено класифікацію Корнася (Kornás, 1968).

Результати та їх обговорення

Адвентивна фракція флори великої річки (р. Дніпро) представлена 175 видами судинних рослин, які відносяться до 45 родин. Найбільша кількість видів відмічається у родинях *Asteraceae* (40 видів), *Brassicaceae* (20 видів), *Poaceae* (40 видів) та *Rosaceae* (10 видів). У складі адвентивної флори заплави Дніпра переважають однорічники, які складають 48 % (84 види) (Табл. 1).

Таблиця 1

**Видовий склад адвентивної фракції флори судинних рослин
заплави річки Дніпро в межах Північного Степу**

№ з/п	Види в межах родин	біоморфи	первинний ареал	натура- лізовані		спон- танні	
				археофіги	неофіги	археофіги	неофіги
1.	Liliopsida Alliaceae <i>Allium sativum</i> L.	Per	As	+			
2.	Cyperaceae <i>Juncellus serotinus</i> (Rottb.) Clarke	Per	As		+		
3.	Araceae <i>Pistia stratiotes</i> L.	Ann	SA				+
4.	Hydrocharitaceae <i>Elodea canadensis</i> Michx.	Per	NA		+		
5.	<i>Vallisneria spiralis</i> L.	Per	As		+		
6.	Poaceae <i>Anisantha sterilis</i> (L.) Nevski	Ann	MIT	+			
7.	<i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski	Ann	MIT	+			
8.	<i>Apera spica-venti</i> (L.) Beauv.	Ann	?	+			
9.	<i>Cenchrus longispinus</i> (Hack.) Fernald	Ann	NA		+		
10.	<i>Digitaria aegyptica</i> (Retz.) Willd.	Ann	As		+		
11.	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Ann	As	+			
12.	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.	Ann	As	+			
13.	<i>Eragrostis minor</i> Host	Ann	E		+		
14.	<i>Hordeum leporinum</i> Link.	Ann	M		+		
15.	<i>Hordeum murinum</i> L.	Ann	M	+			
16.	<i>Setaria glauca</i> (L.) Beauv.	Ann	As	+			
17.	<i>Setaria verticillata</i> (L.) H. B.	Ann	As	+			
18.	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	Ann	MIT	+			
19.	<i>Tragus racemosus</i> (L.) All.	Ann	M		+		
20.	<i>Zizania latifolia</i> Stapf.	Per	As		+		
21.	Typhaceae <i>Typha laxmannii</i> Lepech.	Per	As		+		
22.	Magnoliopsida Aceraceae <i>Acer negundo</i> L.	Arb	NA		+		
23.	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Arb	NA				+
24.	<i>Acer saccharinum</i> L.	Arb	NA		+		
25.	Amaranthaceae <i>Amaranthus albus</i> L.	Ann	NA		+		
26.	<i>Amaranthus blitum</i> L.	Ann	E		+		
27.	<i>Amaranthus blitoides</i> S. Wats.	Ann	NA		+		
28.	<i>Amaranthus caudatus</i> L.	Ann	SA		+		
29.	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	Ann	SA		+		
30.	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Ann	NA		+		

№ з/п	Види в межах родин	біоморфи	первинний ареал	натуралізовані		спонтанні	
				археофіти	неофіти	археофіти	неофіти
31.	<i>Cotinus coggygia</i> Scop.	Fr	M		+		
32.	<i>Rhus typhina</i> L.	Arb	NA				+
33.	Apiaceae <i>Aethusa cynapium</i> L.	Bien	E				+
34.	<i>Bupleurum rotundifolium</i> L.	Ann	MIT			+	
35.	<i>Conium maculatum</i> L.	Bien	MIT	+			
36.	<i>Levisticum officinale</i> W.D.J. Koch	Per	As				+
37.	Apocynaceae <i>Vinca minor</i> L.	Per	M		+		
38.	Asclepiadaceae <i>Asclepias syriaca</i> L.	Per	NA		+		
39.	Asteraceae <i>Ambrosia artemisifolia</i> L.	Ann	NA		+		
40.	<i>Ambrosia trifida</i> L.	Ann	NA				+
41.	<i>Anthemis cotula</i> L.	Ann	M	+			
42.	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Per	IT	+			
43.	<i>Artemisia annua</i> L.	Ann	As			+	
44.	<i>Artemisia dracuncululus</i> L.	Per	As				+
45.	<i>Artemisia tournefortiana</i> Rchnb.	Ann	As		+		
46.	<i>Aster novae-angliae</i> L.	Per	NA				+
47.	<i>Aster salignus</i> Willd.	Per	NA				+
48.	<i>Calendula officinalis</i> L.	Ann	M				+
49.	<i>Carduus acanthoides</i> L.	Bien	M	+			
50.	<i>Carduus nutans</i> L.	Bien	M	+			
51.	<i>Centaurea cyanus</i> L.	Bien	M	+			
52.	<i>Centaurea diffusa</i> Lam.	Bien	MIT		+		
53.	<i>Cichorium inthybus</i> L.	Per	MIT	+			
54.	<i>Coniza canadensis</i> (L.) Cronq.	Bien	NA		+		
55.	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	Ann	NA				+
56.	<i>Gailardia pulchella</i> Foug.	Ann	NA				+
57.	<i>Galinsoga urticulata</i> (Kunth) Benth	Ann	SA				+
58.	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Ann	SA				+
59.	<i>Iva xanthiifolia</i> (Nutt.)	Ann	NA				+
60.	<i>Lactuca serriola</i> Torner	Bien	MIT	+			
61.	<i>Lepidotheca suaveolens</i> (Pursh) Nutt.	Ann	NA		+		
62.	<i>Matricaria recutita</i> L.	Ann	E	+			
63.	<i>Onopordum acanthium</i> L.	Bien	M	+			
64.	<i>Petasites spurius</i> (Retz.) Rchb.	Per	E				+
65.	<i>Phalacrocoma annuum</i> (L.) Dumort.	Bien	NA		+		
66.	<i>Senecio vulgaris</i> L.	Ann	As	+			
67.	<i>Solidago canadensis</i> L.	Per	NA		+		
68.	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Ann	M	+			
69.	<i>Tripleurospermum inodorum</i> (L.) Sch.	Bien	As	+			
70.	<i>Xantium albinum</i> (Widd.) H. Scholtz	Ann	E		+		

№ з/п	Види в межах родин	біоморфи	первинний ареал	натура- лізовані		спон- танні	
				археофіти	неофіти	археофіти	неофіти
71.	<i>Xanthium californicum</i> Greene	Ann	NA		+		
72.	<i>Xanthium spinosum</i> L.	Ann	SA		+		
73.	<i>Xanthium strumarium</i> L.	Ann	IT	+			
74.	Boraginaceae <i>Anchusa officinalis</i> L.	Bien	M	+			
75.	<i>Buglossoides arvensis</i> (L.) I.M. Johnst.	Ann	MIT	+			
76.	<i>Cynoglossum officinale</i> L.	Ann	M	+			
77.	<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.	Bien	MIT	+			
78.	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	Ann	MIT	+			
79.	Brassicaceae <i>Brassica nigra</i> (L.) W.J. Koch	Ann	M		+		
80.	<i>Bunias orientalis</i> L.	Bien	M		+		
81.	<i>Camelina sylvestris</i> Wallr.	Bien	?				+
82.	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Ann	?	+			
83.	<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	Per	E		+		
84.	<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb et Plantl	Ann	IT	+			
85.	<i>Diplotaxis muralis</i> (L.) DC.	Bien	E		+		
86.	<i>Diplotaxis tenuifolia</i> (L.) DC.	Per	M		+		
87.	<i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	Bien	?	+			
88.	<i>Lepidium ruderales</i> L.	Bien	IT	+			
89.	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.	Ann	NA		+		+
90.	<i>Microthlaspi perfoliata</i> (L.) F.K.Meyer	Ann	IT		+		
91.	<i>Sinapis alba</i> L.	Ann	MIT	+			
92.	<i>Sisymbrium loeselii</i> L.	Bien	M		+		
93.	<i>Thlaspi arvense</i> L.	Ann	IT	+			
94.	Caesalpiniaceae <i>Gleditschia triacanthos</i> L.	Arb	NA		+		
95.	Cannabaceae <i>Cannabis ruderalis</i> Janisch.	Ann	As		+		
96.	Caprifoliaceae <i>Lonicera tatarica</i> L.	Fr	As				+
97.	<i>Sambucus racemosa</i> L.	Fr	E		+		
98.	Caryophyllaceae <i>Saponaria officinalis</i> L.	Per	M				+
99.	Chenopodiaceae <i>Atriplex prostrata</i> Boucher	Ann	M	+			
100.	<i>Atriplex sagittata</i> Borkh	Ann	IT	+			
101.	<i>Atriplex tatarica</i> L.	Ann	M		+		
102.	<i>Chenopodium polyspermum</i> L.	Ann	?			+	
103.	<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	Ann	IT		+		
104.	<i>Polycnemum arvense</i> L.	Ann	M				+
105.	Cucurbitaceae <i>Bryonia alba</i> L.	Per	M				+
106.	<i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. et Gray	Ann	NA		+		

№ з/п	Види в межах родин	біоморфи	первинний ареал	натура- лізовані		спон- танні	
				археофіти	неофіти	археофіти	неофіти
107.	Cuscutaceae <i>Cuscuta campestris</i> Yunck.	Ann	NA				+
108.	Elaeagnaceae <i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	Arb	M		+		
109.	<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	Arb	EAs				+
110.	Fabaceae <i>Amorpha fruticosa</i> L.	Fr	NA		+		
111.	<i>Caragana arborescens</i> Lam	Fr	As		+		
112.	<i>Lathyrus tuberosus</i> L.	Per	IT	+			
113.	<i>Medicago sativa</i> L.	Per	As				+
114.	<i>Robinia pseudacacia</i> L.	Arb	NA		+		
115.	<i>Vicia angustifolia</i> Reichard	Ann	M				+
116.	<i>Vicia hirsuta</i> (L.) S.F. Grag	Ann	M	+			
117.	<i>Vicia pannonica</i> Crantz	Ann	M			+	
118.	<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb.	Ann	M	+			
119.	<i>Vicia villosa</i> Roth.	AnnBi en	As	+			
120.	Fumariaceae <i>Fumaria officinalis</i> L.	Ann	M			+	
121.	<i>Fumaria schleicheri</i> Soy.-Willem.	Ann	IT	+			
122.	Onagraceae <i>Oenothera biennis</i> L.	Bien	NA				+
123.	<i>Oenothera renneri</i> H. Scholz.	Bien	E				+
124.	Orobanchaceae <i>Orobanche cumana</i> Wallr.	Bien	As				+
125.	<i>Phelipanche arenaria</i> (Borkh.) Walp.	Bien	E				+
126.	<i>Pheliplanche ramosa</i> (L.) Pomel.	Ann	As				+
127.	Oxalidaceae <i>Xanthoxalis corniculata</i> (L.) Small	Bien	SA				+
128.	<i>Xanthoxalis dillenii</i> (Jacq.) Holub	Per	NA				+
129.	<i>Xanthoxalis stricta</i> L. (L.) Small	Bien	As		+		
130.	Papaveraceae <i>Papaver dubium</i> L.	Ann	M			+	
131.	<i>Papaver rhoeas</i> L.	Ann	M			+	
132.	Polygonaceae <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A.Love	Ann	As	+			
133.	<i>Reynoutria sachalinensis</i> (F.Schmidt ex Maxim.) Nakai	Per	As				+
134.	<i>Rumex longifolius</i> DC.	Per	?				+
135.	<i>Rumex patientia</i> L. subsp. <i>orientalis</i> Danser	Per	M				+
136.	<i>Rumex patientia</i> L.	Per	M				+
137.	Portulacaceae <i>Portulaca oleracea</i> L.	Ann	IT	+			
138.	Primulaceae <i>Anagallis arvensis</i> L.	Ann	M			+	

№ з/п	Види в межах родин	біоморфи	первинний ареал	натуралізовані		спонтанні	
				археофіти	неофіти	археофіти	неофіти
139.	Ranunculaceae <i>Clematis vitalba</i> L.	Fr	M				+
140.	<i>Consolida regalis</i> S.F. Gray	Ann	M	+			
141.	<i>Nigella arvensis</i> L.	Ann	E	+			
142.	Resedaceae <i>Reseda lutea</i> L.	Ann	M		+		
143.	Rosaceae <i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	Arb	As				+
144.	<i>Cerasus tomentosa</i> (Tumb.) Wall.	Fr	As				+
145.	<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	Arb	As				+
146.	<i>Malus domestica</i> Borkh.	Per	As			+	
147.	<i>Prunus mahaleb</i> L.	Arb	E				+
148.	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Per	NA		+		
149.	<i>Prunus virginiana</i> L.	Per	NA		+		
150.	<i>Prunus divaricata</i> Ledeb.	Arb	As				+
151.	<i>Prunus domestica</i> L.	Per	As				+
152.	<i>Prunus insititia</i> L.	Fr	As				+
153.	Rubiaceae <i>Galium spurium</i> L.	Ann	ANT	+			
154.	Salicaceae <i>Populus deltoides</i> Marsh.	Arb	NA				+
155.	<i>Populus x canadensis</i> Moench	Arb	NA				+
156.	<i>Salix fragilis</i> L.	Arb	As	+			
157.	Scrophulariaceae <i>Veronica opaca</i> Fr.	Ann	ANT	+			
158.	<i>Veronica persica</i> Poir.	Ann	As		+		
159.	<i>Veronica polita</i> Fries	Bien	M	+			
160.	<i>Veronica triphyllos</i> L.	Bien	As			+	
161.	Simarubaceae <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Arb	As		+		
162.	Solanaceae <i>Datura stramonium</i> L.	Ann	As		+		
163.	<i>Lycium barbatum</i> L.	Fr	As	+			
164.	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	Ann	SA				+
165.	<i>Nicandra physaloides</i> (L.) P. Gaern.	Ann	SA				+
166.	<i>Solanum nigrum</i> L.	Ann	E	+			
167.	Ulmaceae <i>Celtis occidentalis</i> L.	Arb	NA				+
168.	<i>Ulmus pumila</i> L.	Arb	As		+		
169.	Urticaceae <i>Urtica urens</i> L.	Ann	M	+			
170.	Valerianaceae <i>Valerianella locusta</i> (L.) Laterr.	Bien	M			+	
171.	Verbenaceae	Per	M			+	

№ з/п	Види в межах родин	біоморфи	первинний ареал	натуралізовані		спонтанні	
				археофіти	неофіти	археофіти	неофіти
	<i>Verbena officinalis</i> L.						
172.	Vitaceae <i>Partenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	Fr	NA		+		
173.	<i>Vitis labrusca</i> L.	Fr	NA				+
174.	<i>Vitis vinifera</i> L.	Fr	M				+
175.	Zygophyllaceae <i>Tribulus terrestris</i> L.	Ann	M		+		

Умовні позначення: Біоморфи: Ann (Annuus) – однорічник; Bien (Biennis) – дворічник; Per (Perennis) – багаторічник; SFr (Suffrutex) – напівкущ; Fr (Frutex) – кущ; Arb (Arbor) – дерево. Мікроелемент: E – європейський, As – азійський, M – середземноморський, IT – ірано-туранський, A – американський, NA – північноамериканський, SA – південноамериканський, Af – африканський, ANT – антропогенного походження, ? – вид невідомого походження.

Серед представленої флори адвентивної фракції первинний ареал більшості видів – середземноморський – 43 види (24,6 %), азійський – 41 вид (23,4 %) та північноамериканський – 37 видів (11,1 %).

Інші види мають наступний первинний ареал: європейський – 14 видів (8 %), середземноморсько-ірано-туранський – 12 видів (6,9 %), ірано-туранський – 11 видів (6,3 %), південноамериканський – 9 видів (5,1 %) ареал невідомого походження – 6 видів (3,4 %) та ареал антропогенного походження – 2 види (1,1 %).

За часом занесення на досліджену територію та акваторію археофіти складають 65 види (37,2 %), неофіти – 110 видів (62,8 %). За ступенем натуралізації види розподілені таким чином: натуралізовані археофіти – 53 видів (30,2 %), натуралізовані неофіти – 58 видів (33,1 %), спонтанні

археофіти – 12 видів (6,8 %), спонтанні неофіти – 52 види (29,7 %).

За способом занесення у складі флори суттєво переважають ксенофіти та ергазіофіти.

Висновки

В результаті проведеного дослідження заплави великої річки в межах Північного Степу встановлено, що адвентивна фракція флори заплави річки Дніпро нараховує 175 видів судинних рослин. Більшість видів мають середземноморський первинний ареал. За часом занесення на досліджену територію та акваторію більшість видів складають натуралізовані неофіти. Адвентивація заплави річки Дніпро трохи менша за адвентивацію території степової зони України (Проторова, 1991), але є загроза її підвищення у зв'язку із прогресуючим антропогенно-кліматичним впливом.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Baranovski, B. A., Karmyzova, L. A., Dubyna, D. V., & Shevera, M. V. (2023). Bioecology and hemeroby of flora species in the Northern Steppe Dnipro Region. *Biosystems Diversity*, 31(4), 548–577. <https://doi.org/10.15421/012365>
- Katanskaya, V. M. (1981). Higher aquatic vegetation of the continental reservoirs of the USSR. Leningrad: Nauka (in Russian)
Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Ленинград: Наука, 1981. 185 с.
- Kornás, J. A. (1968). Geographical-historical classification of synanthropic plants. *Materialy Zakladu Fitosocjologii Stosowanej Uniwersytetu Warszawskiego*, 25, 33–41.
- Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist. National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
- Protopopova, V., & Shevera, M. (2019). Invasive species in the flora of Ukraine. I. The group of highly active species. *GEO&BIO*, 17, 116–135. <https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116> (in Ukrainian)
Протопопова В. В., Шевера М. В. Інвазійні рослини у флорі України. I. Група високоактивних видів. *GEO&BIO*, 2019. Вип. 17. С. 116-135.
- Protopopova, V. V. (1991). Synanthropic flora of Ukraine and ways of its development. Naukova Dumka, Kyiv (in Russian)
Протопопова В. В. Синантропная флора Украины и пути её развития. Киев: Наукова думка, 1991. 204 с.
- Richardson, D. M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., & West, C. J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6, 93–107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Schindler, S., O'Neill, F., Biró, M., Damm, C., Gasso, V., Kanka, R., Sluis, T., Krug, A., Lauwaars, S. G., Sebesvari, Z., Pusch, M., Baranovski, B., Ehlert, T., Neukirchen, B., Martin, J. R., Euller, K., Mauerhofer, V., & Wrbka, T. (2016). Multifunctional floodplain management and biodiversity effects: A knowledge synthesis for six European countries. *Biodivers. Conserve.*, 25, 1349–1382. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1129-3>
- Serebryakov, I. G. (1964). Life forms of higher plants and their study. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR (in Russian)
Серебряков И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение. Полевая геоботаника. Москва: Издательство АН СССР, 1964. Т. 3. С. 146–205.

Received: 28.07.2024. Accepted: 29.08.2024. Published: 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Кармизова Л. Аналіз адвентивної фракції флори заплави річки Дніпро в межах Північного Степу. *Biota. Human. Technology*. 2024. №2. С. 16-24.

Cite this article in APA style as:

Karmyzova, L. (2024). Analysis of the alien fraction of the flora of floodplain of the Dnipro river in the boundaries of the Northern Steppe. *Biota. Human. Technology*, 2, 16-24. (in Ukrainian)

Information about the author:

Karmyzova L. [in Ukrainian: Кармизова Л.], Ph.D., Senior scientific researcher, e-mail: linakarmyzova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5021-9137 Scopus-Author ID: 57216566213
Oles Honchar Dnipro National University
72 Avenue of Science, Dnipro, 49000, Ukraine



MICROBIOTA

МІКРОБІОТА



UDC 615.33:669.017.16-022.513.2

Людмила Хрокало, Дар'я Сулима

**МЕТАЛЕВІ НАНОЧАСТИНКИ ТА АНТИБІОТИКИ:
ВАЛОРИЗАЦІЯ СИНЕРГЕТИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ**

Liudmyla Khrokalo, Daria Sulyma

**METAL NANOPARTICLES AND ANTIBIOTICS: VALORIZATION
OF SYNERGISTIC INTERACTION AND APPLICATION PROSPECTS**

DOI: 10.58407/bht.2.24.3

АНОТАЦІЯ

Антибіотикорезистентність стала глобальною проблемою, що виникла внаслідок еволюційних механізмів адаптації мікроорганізмів. У зв'язку з цим постійно виникає необхідність пошуку новітніх рішень, таких як розробка нових препаратів або встановлення синергетичних взаємодій.

Мета досліджень: критичний аналіз сучасних публікацій у напрямку антимікробної дії наночастинок металів, випробовування їхньої активності у комбінаціях з антибіотиками різних класів і, як наслідок, оцінка синергетичної взаємодії.

Методологія. Розглянуто антибактеріальний механізм дії наночастинок різних металів та їх оксидів, біомедичне застосування, потенційну токсичність та методи одержання. Проаналізовано і систематизовано сучасні класи антибіотиків, включаючи як загальнозживані, так і вузькоспеціалізовані групи, зокрема такі, що одержані методами генної інженерії. Розглянуто особливості будови молекул діючих речовин антибіотиків з функціональними групами атомів, які забезпечують механізми їх антибактеріальної дії. Проаналізовано інноваційні підходи до синтезу систем «антибіотик-металева НЧ» і виділено чотири основні способи одержання таких комплексів.

Наукова новизна. Проаналізовано робочі гіпотези щодо пояснення механізму синергетичної взаємодії НЧ та антибіотиків різних класів. Показано, що синергетичний ефект виникає за рахунок збільшення проникності клітинних стінок і мембран, підвищеної локальної концентрації іонів металів у цитоплазмі та сполучення комплексів «антибіотик-металева НЧ» з нуклеїновими кислотами бактерій.

Висновки. Одержані результати мають перспективу застосування в клінічній практиці для розвитку нових методів терапії та боротьби з антибіотикорезистентністю. Сформульовано висновки щодо вимог до створення комплексних лікарських засобів «антибіотик-металева НЧ». Очікується, що встановлений синергізм призведе до зниження ефективних доз, а отже, зменшення токсичності, і небажаних побічних ефектів інноваційного комплексу.

Ключові слова: металеві наночастинки, антибіотики, антибактеріальна дія, антибіотикорезистентність, синергетична взаємодія

ABSTRACT

Antibiotic resistance has become a global problem arising from the evolutionary adaptation mechanisms of microorganisms. As a result, there is a constant need to find new solutions, such as developing new drugs or establishing synergistic interactions.

Purpose of the work: critical analysis of research paper in the direction of metal nanosystems antimicrobial actions, testing their activity in combinations with different antibiotics, and as a result, synergistic action assessment.

Methodology. Present paper reviews the antibacterial mechanism of action of various metals and their oxides nanoparticles, their biomedical applications, toxicity potential and methods of NP synthesis. It analyzes and systematizes modern classes of antibiotics, including both commonly used and special groups obtained by genetic engineering. The structural features of the antibiotic molecules with functional atom groups that ensure their antibacterial mechanisms are also reviewed. Innovative approaches to the synthesis of «antibiotic-metal NP» systems are analyzed, and four main methods of obtaining such complexes are highlighted.

Scientific novelty. Hypotheses explaining the mechanism of synergistic interaction between NPs and antibiotics of different classes have been analysed. It is shown that the synergistic effect arises from the increased permeability of cell walls and membranes, the enhanced local concentration of metal ions in the cytoplasm, and the conjugation of «antibiotic–metal NP» complexes with bacterial nucleic acids.

Conclusions. The obtained results hold promise for clinical practice in developing new therapeutic methods and combating antibiotic resistance. Conclusions regarding the main requirements for creating complex «antibiotic–metal NP» pharmaceuticals are formulated. It is expected that the established synergism will lead to a reduction in effective doses, which will in turn reduce toxicity and undesirable side effects of the innovative complex.

Key words: metal nanoparticles, antibiotics, antibacterial action, antibiotic resistance, synergistic interaction

Постановка проблеми: антибіотико-резистентність та підходи до її подолання

Проблема антибіотикорезистентності є глобальним викликом у сфері медицини та громадського здоров'я. Явище виникає, коли мікроорганізми набувають стійкості до дії антибіотиків, які раніше ефективно їх знищували. Основними причинами є надмірне та неконтрольоване використання антибіотиків у медицині, ветеринарії та сільському господарстві, а також недотримання рекомендацій щодо дозування і тривалості лікування. Крім того, патогенні організми можуть передавати нащадкам вироблені гени резистентності. Недостатній рівень гігієни та неефективне управління у лікарнях сприяють поширенню резистентних штамів. Насьогодні ВООЗ означила нові штами бактерій як патогенні високого ризику – так звані ESKAPEE-патогени. Назва групи є аббревіатурою, що включає перші літери родових назв: *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter spp.*, *Escherichia coli* (Fanoro & Oluwafemi, 2020).

У той же час популярним напрямком наукового та технологічного прогресу XXI століття є створення наноматеріалів з покращеними властивостями, які знайшли численні застосування в електроніці, хімії та хімічній технології, екології, сільському господарстві, фармакології та медицині (Shabatina, 2023). В медичній сфері наноматеріали використовують для клінічних аналізів, магнітного розділення та зондування макромолекул, їх вважають перспективними агентами для магнітно-резонансної томографії, носіями та векторами в сучасних системах доставки ліків. Чисельні дослідження підтверджують, що нанорозмірний рівень дисперсності підвищує антибактеріальну активність сполук срібла,

золота, міді, оксиду цинку, цирконію та титану (Salata, 2004).

Метою роботи є огляд та критичний аналіз сучасних досліджень, що стосуються антимікробної дії наносистем металів та їх оксидів, випробовування їхніх властивостей у комбінаціях з антибіотиками

Виклад основного матеріалу. Антимікробна дія наносистем металів та їх оксидів

Серед металевих матеріалів магнітні та благородні метали найчастіше використовують в технологіях. Магнітні металеві елементи, такі як Fe, Co і Ni, мають два зовнішні електрони на 4s-орбіталі та ненасичену 3d-електронну оболонку. Ці характеристики забезпечують їм унікальні фізико-хімічні властивості, зокрема специфічні магнітні та каталітичні властивості. Благородні метали, до яких належать 4d-метали (Ag, Ru, Rh, Pd) і 5d-метали (Au, Pt), відзначаються більш складною електронною структурою. Це дає їм переваги в галузях каталізу та оптичного детектування на основі поверхневого плазмонного резонансу. Поєднання магнітних і благородних металів має особливу прикладну цінність, оскільки дозволяє створювати нові багатофункціональні біметалічні наноструктури.

Завдяки відмінним антибактеріальним властивостям і високій питомій площі поверхні, наночастинки (НЧ) магнітних і благородних металів широко досліджуються як антимікробні засоби, забезпечуючи нові рішення в області дезінфекції та знезараження. Особливістю антимікробної дії НЧ на відміну від антибіотиків є їхня неселективність та неспецифічність, тобто здатність вражати більшість видів і штамів мікроорганізмів, а значне співвідношення площі поверхні до об'єму сприяє більш ефективній дії. Узагальнена інформація про різноманітні металеві наносистеми наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

**Металеві наноматеріали,
їхні властивості та біомедичне застосування**

Металеві НЧ	Встановлені механізми антимікробної дії	Особливі властивості, дані щодо токсичності	Застосування	Посилання на літературу
Ag AgO	Токсичність вивільнених іонів Ag ⁺ ; Порушення клітинної стінки і метаболічних процесів Пошкодження ДНК Утворення активних форм кисню (АФК)	Проявляють помірно токсичну дію, здатні до накопичення, добре вивчені	Перев'язувальний матеріал для операційних ран та діабетичної стопи; покриття для медичних в тому числі стоматологічних пристроїв, консерванти для ендотрахеальних трубок; портативні фільтри для води; антисептики	Sondi & Salopek-Sondi, 2004; Pal et al, 2007; Huh & Kwon, 2011; Panáček et al 2018; Salas-Orozco et al, 2019; Bishoyi et al, 2022; Hasoon et al, 2024
Au	Руйнування клітинних мембран в результаті електростатичної взаємодії та пригнічення АТФази і зниження трансмембранного потенціалу, модуляція ензиматичних процесів, пригнічення зв'язування субодиниці рибосоми з тРНК	Помірнотоксичні. Фототермічно стійкі. Незалежні від АФК механізми дії роблять їх більш безпечними для клітин ссавців. Встановлена синергетична взаємодія з канаміцином, рифаміцином та стрептоміцином.	Антимікробні засоби. Фототерапія ІЧ спектром; допоміжне лікування після важких інфекцій	Huh & Kwon, 2011; Maleki Dizaj, S. et al, 2015; Patra & Baek, 2015; Nishanthi, 2019; Shabatina et al, 2023
Біметалеві Ag - Au	Утворення АФК, порушення клітинної стінки і мембран. Прогнозується пошкодження ДНК та процесів трансляції	Одержані методом зеленого синтезу на основі екстрактів рослин показали високу бактерицидну дію на <i>Bacillus subtilis</i> . Сильний відновник у біологічних екстрактах сприяє швидкому утворенню дуже стабільних часток розміром менше 30 нм. Варіанти наноструктур: ядро-оболонка, гантель, сплав.	Посилена каталітична активність і селективність. Антисептичні препарати широкого спектру дії. Перспективні для створення модулів для доставки ліків	Duan & Wang, 2013; Fanoro & Oluwafemi, 2020

Металеві НЧ	Встановлені механізми антимікробної дії	Особливі властивості, дані щодо токсичності	Застосування	Посилання на літературу
Pt	Руйнування клітинної стінки бактерій, перешкоджання агрегації мікробних клітин і утворення біоплівки	Встановлена бактеріостатична дія на <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> . Не зафіксована гостра цитотоксичність на культурах клітин людини (фібробласти і кератиноцити шкіри, епітелій ниркових каналців)	Перспективні для використання в таргентній терапії	Staszek et al. 2014; Chlumsky, 2021
Pd	Пошкодження клітинної стінки (витік внутрішньоклітинного вмісту)	Встановлена бактеріостатична дія на <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>Salmonella enterica</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> . Не зафіксована гостра цитотоксичність на культурах клітин людини (фібробласти і кератиноцити шкіри, епітелій ниркових каналців)	Антибактеріальні засоби. Більш ефективні, але менш вивчений, ніж Pt	Staszek et al. 2014; Chlumsky, 2021
Cu CuO	Утворення АФК. Вивільнення іонів Cu^{2+} Пошкодження клітинної стінки; зв'язування з ферментами бактерій	Cu^{2+} швидко окиснюються на повітрі, тому НЧ синтезують у присутності полімерів (хітозану, полівінілпіролідону тощо) та сурфактантів (цетилтриметил амоніум бромід) як стабілізаторів. Не виявили токсичність до культури клітин HeLa. Активні відносно <i>S. aureus</i> (в тому числі метицилін резистентного (MRS), <i>B. subtilis</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>Salmonella choleraesuis</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>E. coli</i> та <i>Enterococcus faecalis</i> . Встановлена синергетична взаємодія з еритроміцином, азитроміцином і норфлуксацином	Антибактеріальні засоби. Досліджується	Maleki Dizaj, 2014, Usman, 2013; Kaur et al, 2019; Shabatina et al, 2023)

Металеві НЧ	Встановлені механізми антимікробної дії	Особливі властивості, дані щодо токсичності	Застосування	Посилання на літературу
MgO	Утворення супероксиду на поверхні наночастинок і АФК. Формування лужного середовища за рахунок взаємодії MgO з водою. Пошкодження біомембран, Продукування АФК	НЧ в комбінації з нізином і ZnO виявили сильну бактерицидну дію проти <i>E.coli</i> і <i>Salmonella</i> sp., що збільшувалась залежно від концентрації. Більш ефективні проти Γ^+ бактерій	Антибактеріальні засоби. Досліджується	Jin, 2011; Maleki Dizaj, 2014
TiO ₂	Продукування АФК і перекисне окиснення ліпідів; Пошкодження клітинних мембран	Встановлена гентоксичність, ефективний в фотокаталітичних процесах, стійкі до УФ, в комплексі з антибіотиками ефективні проти метицилін стійкого <i>S.aureus</i> (MRSA) Активні проти штамів <i>C. albicans</i> в тому числі стійких до флуконазолу	Антибактеріальні косметичні засоби, системи очищення води і повітря	Haghighi, 2013; Maleki Dizaj, 2014; Shabatina et al., 2023
ZnO	Внутрішньоклітинне накопичення; Пошкодження клітинних мембран Виробництво H ₂ O ₂ та АФК Вивільнення іонів Zn ²⁺	Виявили бактериостатичну дію проти <i>Streptococcus agalactiae</i> , <i>S. aureus</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. coli</i> , <i>P. Aeruginosa</i> , <i>Campylobacter jejuni</i>	Лікувальні креми і мазі; обробка медичного обладнання; рідина для полоскання рота, пластирі та перев'язувальний матеріал	Huang et al, 2008; Huh & Kwon, 2011, Maleki Dizaj, 2014; Shabatina et at, 2023
Al (Al ₂ O ₃)	Руйнування клітинної стінки за дуже великих концентрацій НЧ	Токсичність не встановлена	Підсилена металом флуоресценція для детектування біомолекул, створення сучасних біосенсорів	Stratakis et al, 2009; Huh & Kwon, 2011;
NiO	Досліджується	Виявлена цитотоксичність до культур клітин людини: епітелію дихальних шляхів і раку молочної залози	Перспективні завдяки біосумісності і антибактеріальним властивостям; ефективний фотокаталізатор при видаленні органічних барвників зі стічної води	Ezhilarasi et al 2016; Ezhilarasi et al 2018

Механізми антимікробної дії НЧ

НЧ здатні взаємодіяти одночасно з кількома мішенями в клітинах бактерій та грибів: клітинні стінки та мембрани, ферменти, ліпіди, ДНК та плазміди, що ускладнює формування резистентності у мікроорганізмів. Важливим чинником є

формування АФК і вільних радикалів, що з одного боку знищує мікроорганізми, але разом з цим забезпечує токсичність до макроорганізму. Узагальнений вплив наносистем на мікроорганізми схематично показано на рис. 1.

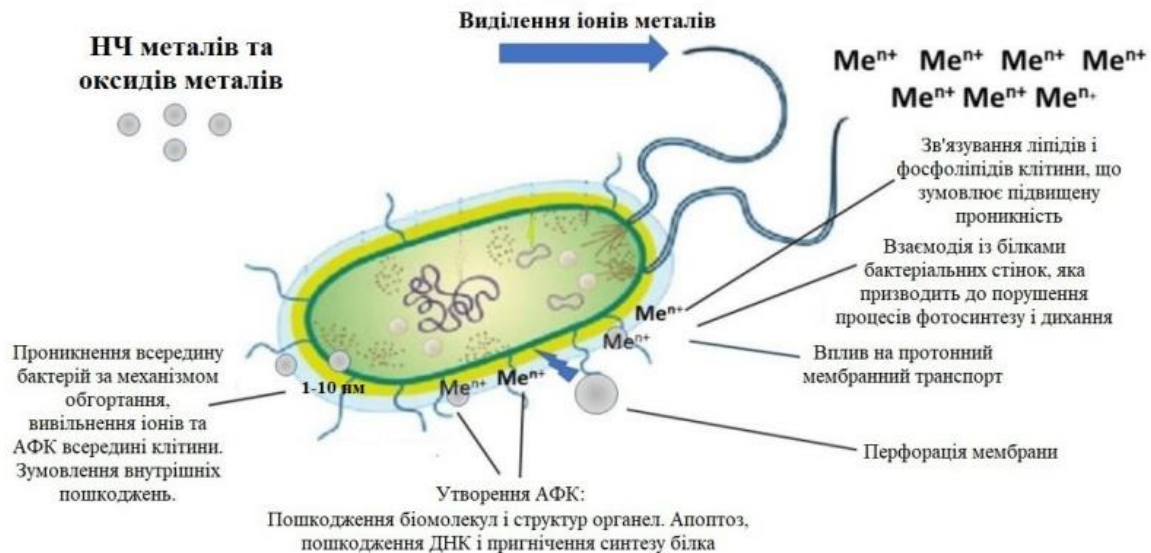


Рис. 1. Базові механізми антибактеріальної дії наносистем металів (Shabatina et al., 2023)

Найкраще вивчений вплив НЧ срібла. Їх дія на покриття бактерій передбачає утворення Ag⁺, які електростатично притягуються до негативно зарядженого шару ліпополісахариду. Катіони також можуть взаємодіяти з білками мембран, ковалентно сполучаючись з SH-групами цистеїну, або діяти на імізадолну групу гістидину за типом електрофільно-нуклеофільного замі-

щення. Утворені в результаті такої взаємодії сполуки або комплекси здатні інактивувати активні центри білкових молекул. Руйнівна дія Ag НЧ на покриття бактерій добре помітна на мікрофотографіях з трансмісійного (ТЕМ) та скануючого (СЕМ) електронних мікроскопів наведена на рисунках 2 і 3 (Fanoro & Oluwafemi, 2020).

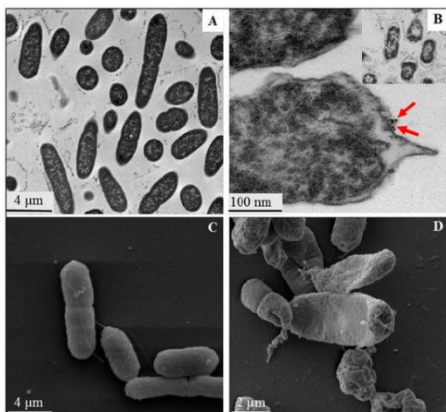


Рис. 2. ТЕМ (А, В) та СЕМ (С, D) зображення клітин *E. coli* необроблених (А, С) та оброблених (В, D) Ag НЧ

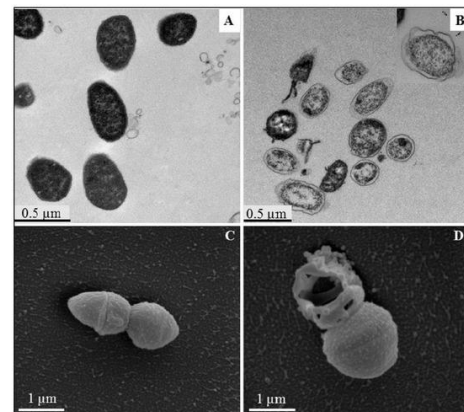


Рис. 3. ТЕМ (А, В) та СЕМ (С, D) зображення клітин *L. monocytogenes* необроблених (А, С) та оброблених (В, D) Ag НЧ

Формування оксидативного стресу як механізм антимікробної дії НЧ металів заслуговує особливого обговорення. Схематично процес можна розглядати наступним чином: молекулярний кисень захоплює електрон, генерує супероксид-аніон, взаємодіє з молекулами води, і, в результаті відбува-

ється поглинання електронів з води та гідроксильних іонів. Виробництво таких АФК індукує окиснювальний стрес і призводить як до пошкодження клітинної мембрани, так і перериває транспорт електронів в мітохондріях (рис. 4).

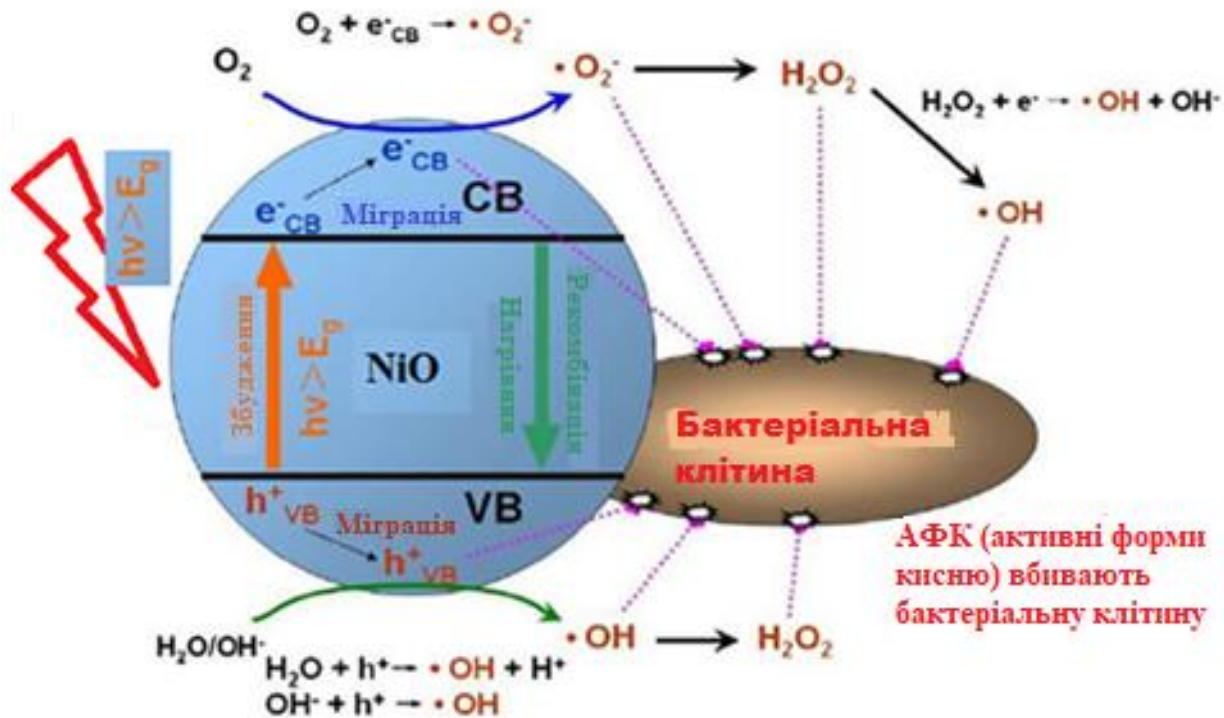


Рис. 4. Механізм оксидативного стресу (Ambaye et al., 2021)

Третім заявленим механізмом антибактеріальної дії НЧ, є проникнення в середину клітини, вивільнення катіонів металів та їх взаємодія з есенціальними сполуками. Після руйнування мембрани завдяки нанорозміру частинки проникають в цитоплазму, де взаємодіють зі сполуками, що містять сірку (білки) та фосфор (білки, ДНК), що призводить до лізису клітин.

Технології виготовлення наносистем металів

Наносистеми можуть бути синтезовані різноманітними методами (рис. 5), які можна об'єднати у дві групи за принципом утворення: «знизу-вгору» та «згори-вниз» (Duan, S. 2013; Wang, R., Salas-Orozco et al, 2019; Mukherji et al, 2019). Часто метод одержання впливає на форму нанокластерів. Так, серед

НЧ срібла виділяють наступні форми: сфери, стрижні, бруски, пластини, кільця, куби, призми, зірки тощо (Рис. 6).

Спосіб «знизу-вгору» передбачає нарощування шарів на молекулу або іон. До цього способу належать фізико-хімічні, хімічні методи та біологічні методи, такі як випаровування-конденсація, хімічне осадження, окиснювально-відновлювальні реакції. Хімічні методи з використанням окисно-відновних реакцій є найпоширенішими, оскільки мають порівняно невисоку вартість і підвищений вихід продукту. Для проведення такого процесу необхідні наступні реагенти: солі-прекурсори металів, відновники (тетраборат натрію, цитрат натрію, поліол, N,N-диметилформамід тощо), стабілізатори/блокуючі агенти.



Рис. 5. Різноманітність методів синтезу НЧ

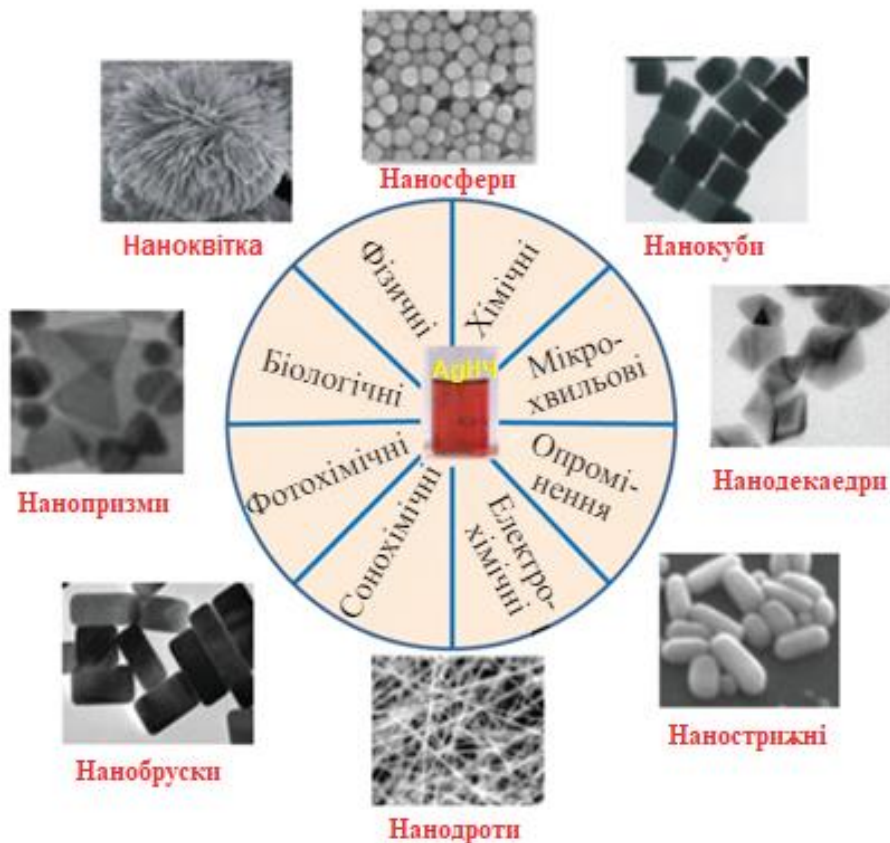


Рис. 6. Різні форми Ag НЧ (Mukherji et al., 2019)

Стабілізатори є важливими факторами для уникнення агломерації НЧ, інколи в їх якості використовують поверхнево-активні речовини. Насьогодні популярними є методи одержання НЧ без використання токсичних і потенційно токсичних речовин, які об'єднують під назвою «зелений синтез», що є особливо актуальним для біомедичного застосування. Зелений синтез часто передбачає використання рослинних екстрактів або інших природних речовин в якості відновників і стабілізуючих агентів, завдяки вмісту органічних кислот (в тому числі кетокислот), поліфенолів, флавоноїдів та катехинів, полісахаридів, складних білків (в тому числі ферментів), які здатні відновлювати іони металів з розчинів солей. До класичного біосинтезу (варіант зеленого синтезу) належить використання нативних природних речовин, культур клітин мікро- і макроорганізмів. Використання природних екстрактів являє собою своєрідне поєднання хімічного і біологічного синтезу.

Спосіб «згори-вниз» передбачає диспергування крупніших фракцій до нанорозмірів дисперсної фази. Сюди належать фізичні та фізико-хімічні методи, такі як механохімічне подрібнення, електроерозія, осадження з газової фази, електронно-променева літографія тощо. Під час механічного кульового фрезування порошок піддають механічній обробці в критичних умовах для утворення НЧ. Для механохімічного синтезу використовують млин та відновник для проведення кінцевої хімічної реакції за кімнатної температури. Під час лазерної абляції потужний промінь створює імпульси, що викликають нагрівання до температури кипіння у певній точці, в якій відбувається випаровування, адиабатне розширення та конденсація НЧ. Метод детонаційного синтезу/дротового вибуху засновано на створенні імпульсу, що генерує електромагнітне поле навколо дроту і утримує його цілісним. Коли поле зникає, дріт розпадається на НЧ. Під час осадження з парової фази метал попередньо випаровують в камері з інертним газом в критичних умовах, а далі газ конденсується з утворенням НЧ.

Розглянемо типові приклади одержання наносистем благородних металів срібла та золота. Для синтезу наночасток срібла використовують прекурсор – розведений

розчин AgNO_3 , для хімічного методу в якості відновника застосовують розчини глюкози, етиленгліколю, натрій тетраборату, у якості стабілізаторів – полівінілацетат, олеат натрію, полівінілпіролідон (Fanoro & Oluwafemi, 2020; Sondi & Salopek-Sondi, 2004). Для синтезу Ag НЧ фізичним методом застосовують термічне розкладання та випаровування, а для біологічного методу використовують рослинні екстракти, бактерії, водорості, плісняві і дріжджові гриби. Для синтезу наносистем золота хімічним методом використовують як прекурсор розчин HAuCl_4 , та відновники: гідроген тетрахло-окупрат III тетрагідрат, тринатрій цитрат, тіолований хітозан, інозитолгексакісфосфат. Для синтезу Au НЧ фізичним та фізико-хімічним методом застосовують γ -опромінення у комбінації з відновниками (лимонна кислота, цетилтриметиламоній); для біологічного способу використовують рослинні екстракти, гриби, бактерії, водорості (Patra & Baek, 2015).

Основні класи антибіотиків та механізми їхньої дії на мікроорганізми

Медицина з 30-х років ХХ сторіччя використовує антибіотики у боротьбі з різноманітними інфекціями та профілактично під час хірургічних втручань. Існує декілька підходів до класифікації антибіотиків, однак найчастіше їх групують за хімічною структурою, механізмом дії та спектром мікроорганізмів, яких вони знищують. Історично першими, які були успішно використані, і дали величезний прорив в середині ХХ сторіччя у боротьбі з інфекційними захворюваннями та післяопераційними нагноєннями були беталактамні пеніцилінового ряду та аміноглікозидні (стрептоміцетові) антибіотики. Насьогодні відомо набагато більше спеціалізованих антимікробних речовин з різними механізмами дії та селективністю до патогенів. Нижче наведено огляд найбільш поширених антибіотиків, що належать до 15 груп (Vambeck et al, 2010; Overview, 2024).

І. Бета-лактамі антибіотики у своїй структурі містять β -лактаміне кільце (рис. 7, віділене червоним).

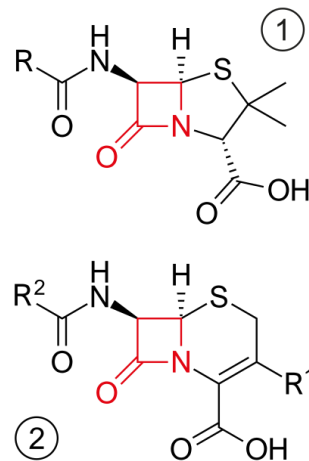


Рис. 7. Загальна структурна будова найбільш поширених β -лактамних антибіотиків:
1 – пеніцилінів, 2 – цефалоспоринів

До групи належать препарати: *пеніциліни* (пеніцилін G, амоксицилін, ампіцилін, метицилін) *цефалоспори́ни* (цефалексин, цефтріаксон, цефуроксим, цефепім), *карбапенеми* (іміпенем, меропенем, ертапенем), *монобактами* (азтреонам). Механізмом дії є інгібування синтезу клітинної стінки бактерій при формуванні муреїнового шару, а саме в місці формування пептидного зв'язку між термінальним D-аланіном та пентагліцином, шляхом впливу на фермент транспептидазу. Дестабілізована клітинна стінка не здатна витримати осмотичний тиск і руйнується, що веде до загибелі мікроорганізму. Дані антибіотики більш ефективно знищують Γ^+ бактерій. Пеніциліни мають довгу історію застосування, за цей час бактерії еволюціонували і набули здатності синтезувати β -лактамазу – фермент, що руйнує β -лактамне кільце в структурі

молекули антибіоту, виводячи його з ладу. Цефалоспори́ни є стійкішими, оскільки мають два радикали (рис 7.), які захищають лактамне кільце. Карбапенеми ефективно знищують Γ^- ентеробактерій, швидко проникаючи через зовнішню мембрану, блокують синтез пептидоглікану, при чому постантибіотичний ефект триває до 10 год (Vambeke et al, 2010; Overview, 2024).

II. *Аміноглікози́ди* включають природні (одержані з грибів стрептоміцетів) та напівсинтетичні сполуки. До групи належать гентаміцин, амікацин, тобраміцин, стрептоміцин. В структурі молекули аміноглікозидів є аміноцукри, сполучені з шестикарбоновим агліконом. Аглікон в молекулі стрептоміцину (рис. 8) представлений стрептидином, а у інших – 2-дезоксид-стрептаміном. Крім того, аміноглікози́ди відрізняються за кількістю аміноцукрових фрагментів.

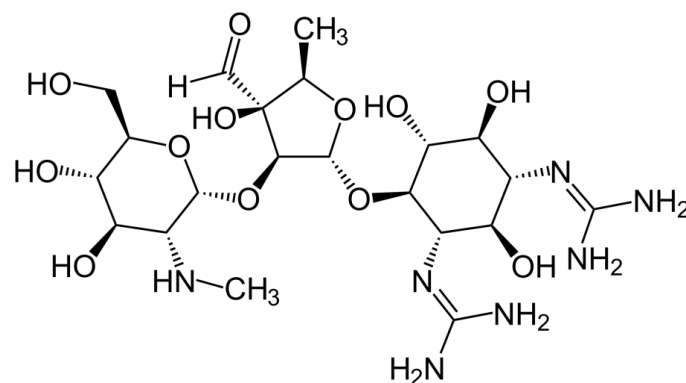


Рис. 8. Структурна формула молекули стрептоміцину

Механізмом антибактеріальної дії аміноглікозидів є порушення синтезу білку в клітинах бактерій. Антибіотик зв'язується з малою (30S) субодиницею рибосоми, при цьому порушується зчитування інформації з іРНК, закінчується трансляція і рибосома від'єднується від ще не сформованого білка. Утворені дефектні білки зупиняють ріст і розмноження мікроорганізмів. Аміноглікозиди ефективні проти Γ^- аеробних бактерій, їх застосовують для лікування сепсисів,

інфекцій дихальних шляхів, шкіри, кісток та туберкульозу (Overview, 2024).

III. Амінокумарини – сучасні антибіотики, продуковані штамми *Streptomyces*, в останні роки перетворились на модельну систему створення нових антибіотиків методами генетичної інженерії. Ядро молекули складається з 3-аміно-4,7-дигідроксикумаринового кільця, яке пов'язане, із цукром у 7-му положенні та похідним бензойної кислоти у 3-му положенні (рис. 9). До групи належать новобіоцин, клоробіоцин і кумерміцин.

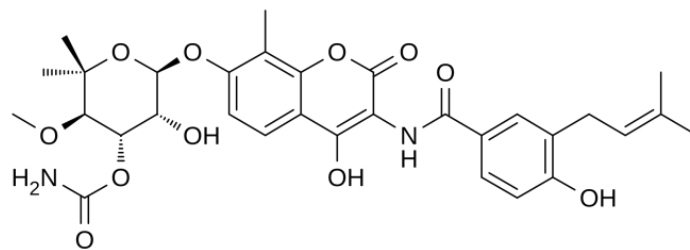


Рис. 9. Структурна формула новобіоцину

За механізмом антибактеріальної дії вони є потужними інгіботорами ДНК-гірази. Маючи високу афінність до В-субодиниці цього ферменту, зв'язують його (конкуруючи з АТФ) і пригнічують суперскручування ДНК (Heide, 2009; Overview, 2024).

IV. Макроліди – клас антибіотиків, основу молекул яких складає 14, 15 або 16 членне

макроциклічне лактонне (макролідне) кільце, сполучене з вуглеводними залишками (рис. 10). Розрізняють природні, продуцент – *Streptomyces erythreus* (еритроміцин, олеандоміцин, спіраміцин, мідекаміцин, джозаміцин, рокітаміцин) і напівсинтетичні (азитроміцин, кларитроміцин, рокситроміцин, телітроміцин).

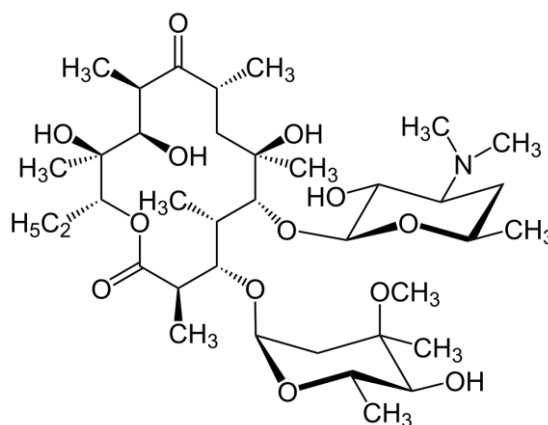


Рис. 10. Структурна формула еритроміцину

Макроліди виявляють бактеріостатичну дію, інгібуючи синтез білка шляхом зв'язування з 50S субодиницями рибосоми, пригнічуючи синтез РНК, при чому діють на будь-якій стадії рибосомального циклу.

Макроліди демонструють пролонгований постантибіотичний та помірний імуномодулюючий ефект.

V. *Тетрацикліни* – широковживані антибіотики широкого спектру дії, що діють переважно бактеріостатично. В основі хімічної структури молекули – ядро октагідронафтацену, що являє собою чотири сполучені шестичленні цикли (рис. 11). До

групи належать тетрациклін, доксициклін, міноциклін. Мають механізм дії подібний до аміноглікозидів, а саме сполучаються з 30S субодиницею рибосоми, порушуючи синтез білку (Overview, 2024).

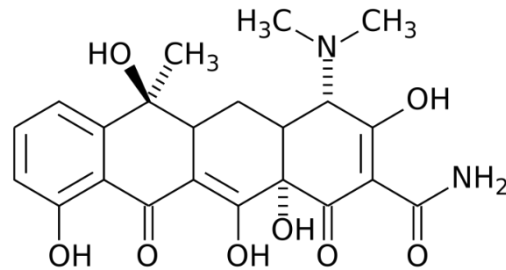


Рис. 11. Структурна формула тетрацикліну

VI. *Хінолони/флуорхінолони* (ципрофлоксацин, левофлоксацин, моксифлоксацин, норфлоксацин) – бактерицидні антибіотики широкого спектру дії, ефективні проти Γ^+ і Γ^- бактерій. Молекули мають біциклічну нітрогенвмісну структуру ядра, карбонільні групи і практично усі містять флуор. Ципрофлоксацин – один з найбільш поширених антибіотиків в світі, є флуор-

хінолоном другого покоління (рис. 12). Інгібують реплікацію бактеріальної ДНК за рахунок руйнування ензимів: ДНК-полімерази, ДНК-гірази та топоізомераз, які розрізають ДНК для утворення вторинної структури. Ферменти вивільняють ДНК з одно- та дволанцюговими розривами, що призводить до загибелі бактеріальної клітини.

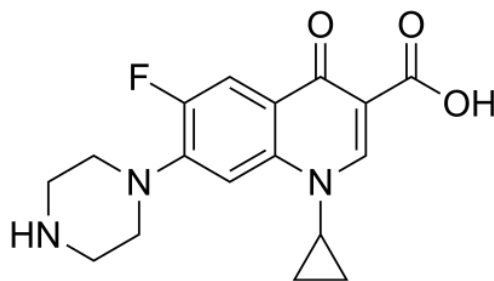


Рис. 12. Структурна формула ципрофлоксацину

VII. *Сульфаніламідні* антибіотики – синтетичні бактеріостатичні препарати, що містять сульфонамідну групу і ефективні проти Γ^+ і Γ^- бактерій (рис. 13). Серед засобів, що містять сульфамідну групу є

також антисудомні, протизапальні, антигістамінні та протидіабетичні ліки. Серед антибіотиків відомі сульфаметоксазол (часто поєднують з триметопримом під назвою ко-тримоксазол), сульфасалазин.

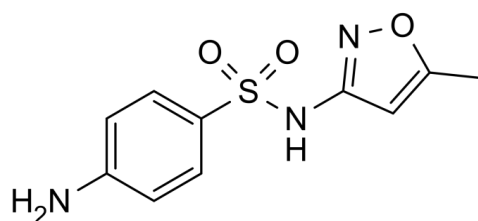


Рис. 13. Структурна формула молекули сульфаметоксазола

Механізмом антибактеріальної дії є пригнічення синтезу попередників фолієвої кислоти (вітамін B9) в клітинах бактерій. Антибіотики діють на дигідроптероат-синтетазу, яка необхідна клітинам бактерій для росту, і це призводить до зупинки процесу. Людина одержує фолієву кислоту з рослинною їжею і наші ферментні системи здатні до її засвоєння, на відміну від мікроорганізмів. Однак, проблемою застосування сульфаніламідних препаратів для людини є те, що вони є структурними аналогами ПАБК (парамамінобензойної кислоти) і тривале прийняття сульфаніл-

амідів може викликати ендогенний авітаміноз за фолієвою кислотою.

VIII. *Глікопептиди* – клас антибіотиків мікробного походження, що з хімічної точки зору являють собою глікозилізовані поліциклічні нерибосомальні пептиди (рис. 14). До даної групи належать препарати: ванкоміцин, тейкопланін, телавацин, рамопланін, декопланін. Інгібує синтез клітинної стінки. Зв'язується з ділянкою ацил-D-аланіл-D-аланіну, запобігаючи додаванню нових одиниць до попередника пептидоглікану. Активні проти G^+ бактерій.

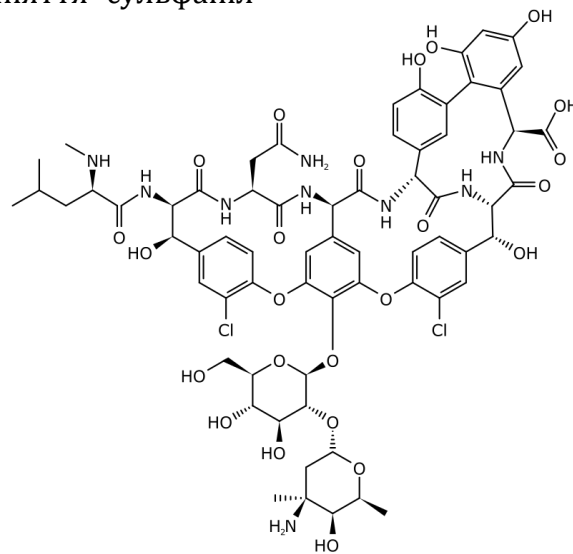


Рис. 14. Структурна формула ванкоміцину

IX. *Лінкозаміди* – клас природних бактеріостатичних антибіотиків, що виробляються стрептоміцетами. До складу функціональних груп молекул входить піролідинове

кільце, пептидний зв'язок, гексоза і метил-тіогрупа. До групи належать кліндаміцин (рис. 15), лінкоміцин, пірліміцин.

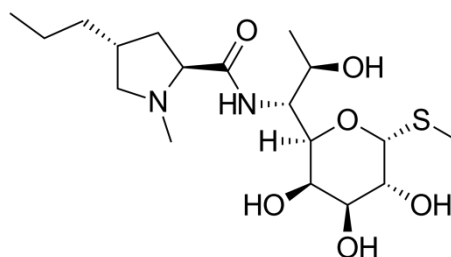


Рис. 15. Структурна формула лінкоміцину

Механізм антибактеріальної дії – інгібування синтезу бактеріальних білків шляхом дії на 50S субодиницю рибосоми (Spížek & Řezanka, 2017).

X. *Оксазолідинони* – відносно нова група синтетичних антибіотиків, активні щодо G^+ бактерій, в тому числі метицилінрезис-

тентних (MRS) та ванкоміцин резистентних стафілококів. В структурі молекули є 2-оксазолідонове ядро – п'ятичленний оксиген та нітроген вмісний гетероцикл, сполучений з карбонільною групою. До класу належать наступні препарати: лінезолід (рис. 16), тедизолід.

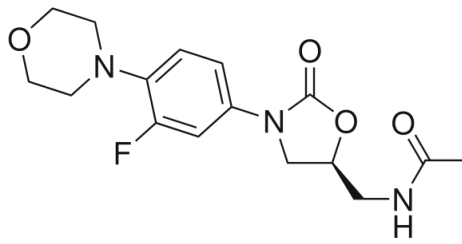


Рис. 16. Структурна формула лінезоліда

Пригнічують синтез білка на ранній стадії, зв'язуються поблизу пептидилтрансферази у А-центрі рибосоми і перешкоджають розміщенню аміноацил-тРНК. Таким чином не утворюється рибосомальний комплекс, що в нормі асоціює тРНК, мРНК та 50 S-субодиницю рибосоми.

XI. *Поліпептиди* – антибіотики природного походження, мають обмеження щодо застосування. З хімічної точки зору являють собою поєднання амінокислот за рахунок

карбоксильної і аміногруп з утворенням пептидних зв'язків (рис.17). До класу належать препарати: поліміксин В, колістин (поліміксин Е), бацитрацин, актиноміцин. Діють переважно проти Γ^- бактерій. Більшість препаратів доволі токсичні за перорального та системного застосування, але їх можна наносити на шкіру для лікування виразок і запалень, актиноміцин-Д використовують при таргентній терапії раку.

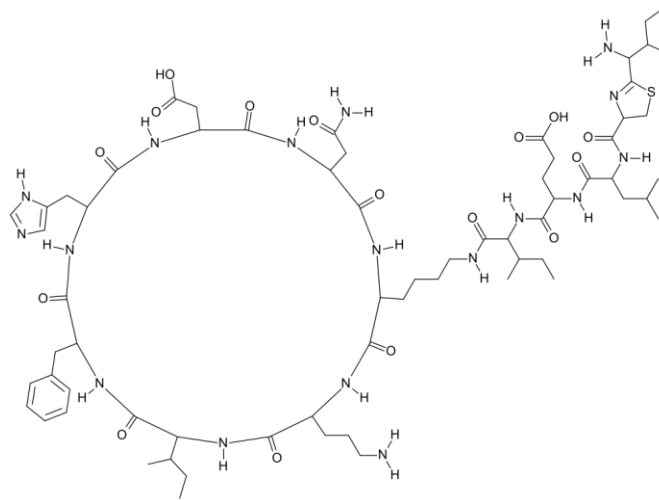


Рис.17. Структурна формула бацитрацину

Механізмом антибактеріальної дії є руйнування мембран та порушення транспорту попередників пептидоглікану з цитоплазми до клітинної стінки (Falagas et al, 2005)

XII. *Стрептограміни* – клас антибіотиків, що складаються з суміші двох речовин – стрептограмінів групи А, які є поліненасиченими макролактонами, і стрептограмінів групи В, що представляють собою циклічні гексадепсипептиди. Кожен з компонентів окремо виявляє помірну бактеріостатичну активність, зв'язуючись із великою 50S рибосомальною субодиницею бактерії. В результаті блокується трансляція, а синер-

гетична дія призводить до бактерицидної активності. До групи належать препарати хінупристин, пристиаміцин, синерцид. Особливо активні проти Γ^+ бактерій, включно з високорезистентними патогенами, такими як MRS стафілококи або резистентні *S. pneumoniae* та ентерококи (Mast & Wohlleben, 2014).

XIII. *Рифампіцини* – група природних (продуцент – *Amycolatopsis rifamycinica*) або напівсинтетичних антибіотиків, ефективні проти Γ^+ і деяких Γ^- бактерій, виступають ключовим компонентом протитуберкульозної терапії. До класу належать рифампіцин (рис. 18), рифабутин, рифапентин.

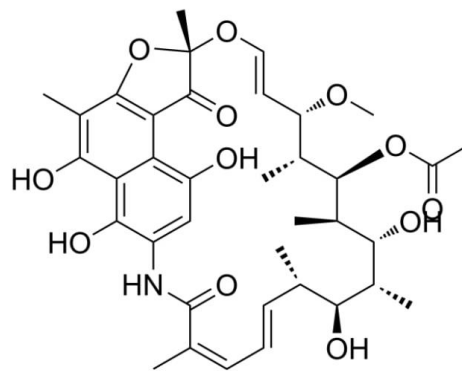


Рис. 18. Структурна формула рифампіцину SV

Рифампіцини мають унікальний механізм дії. За рахунок високої афінності до бактеріальної ДНК-залежної РНК-полімерази вони зв'язують цей фермент і опосередковано зупиняють синтез бактеріальних білків. Препарати не виявляють перехресної резистентності з іншими антибіотиками при клінічному застосуванні. Однак, самі рифаміцини страждають від досить високої резистентності, тому їх використовують в комбінації з іншими антибактеріальними препаратами (Campbell et al, 2001).

XIV. *Левоміцетин* (хлорамфенікол) – природний антибіотик з класу амфеніколів (структура молекули містить безольне

кільце, дві гідроксильні групи, пептидний зв'язок і два атоми хлору), продуцентом виступає ґрунтова бактерія *Streptomyces venezuelae*. До групи належать: хлорамфенікол (левоміцетин) (рис. 19), левоміцетину стеарат (еулевоміцетин), левоміцетину сукцинат розчинний (хлороцид С), синтоміцин. Є бактеріостатичним антибіотиком широкого спектру дії, активний до Γ^+ (стафілококи та стрептококи) і Γ^- коків (гонококи, менінгококи), ентеробактерій, рикетсій, спірохет і навіть деяких вірусів. Препарати активні відносно штамів, стійких до пеніциліну, стрептоміцину, сульфаніламідів.

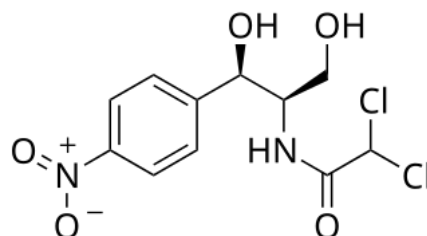


Рис. 19. Структурна формула хлорамфеніколу.

Механізм антибактеріальної дії пов'язаний з порушенням синтезу білків, шляхом впливу на 50S субодиницю рибосом. Хлорамфенікол історично використовували для лікування широкого спектру інфекцій, від менінгіту до черевного тифу. На жаль, серйозні побічні ефекти, зокрема вплив на утворення клітин крові, обмежили його клінічну роль. Анемія, викликана тривалим прийомом хлорамфеніколу передбачає руйнування мітохондріальних рибосом гемопоетичних стовбурових клітин кісткового мозку, викликаючи оборотне дозозалежне пригнічення. Після припинення прийому хлорамфеніколу продукція клітин

крові приходить в норму. Цей механізм підкреслює схожість між 70S рибосомами бактерій (30S – мала і 50S велика субодиниці) та рибосомами 70S у мітохондріях людини (Vambeke et al, 2010; Overview, 2024).

XV. *Нітроімідазоли* – клас антибактеріальних засобів, що включає метронідазол (рис. 20) і тинідазол. Формули сполук містять азоміцинове ядро – імізадолний ненасичений гетероцикл, сполучений з нітрогрупою. Препарати використовують для лікування Γ^+ і Γ^- анаеробних бактеріальних інфекцій, протозойних інфекцій (наприклад, лямбліоз і трихомоніаз), кишкового і позакишкового

амебіазу, бактеріального вагінозу, а також для хірургічної профілактики. Поширені побічні ефекти включають шлунково-

кишкові розлади та вплив на центральну нервову систему.

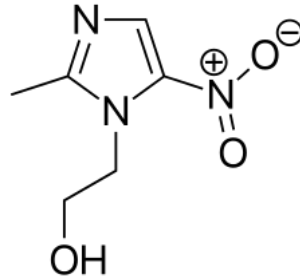


Рис. 20. Метронізадол

Нітроімізадоли мають бактерицидну дію, пошкоджують мікробну ДНК та пригнічують транскрипцію шляхом сполучення з РНК-полімеразою (Patel & Beteck, 2021).

XVI. Фузидани (фузидова кислота) – стероїдний антибіотик (містить циклопентанпергідрофенантренове ядро – рис. 21) природного походження (продуцент грибок *Fuzidium coccineum*), який використовують для перорального, парентерального та

місцевого застосування. Має потужну бактериостатичну дію, інгібує транслокацію пептидилової тРНК з Р-центру до А-центру рибосоми, запобігаючи дисоціації комплексу між гуанозидофосфатом і рибосомою, що призводить до припинення елонгації поліпептидного ланцюжка. До фузидової кислоти чутливі Γ^+ мікроорганізми: стафілококи (в тому числі MRS), стрептококи і клостридії.

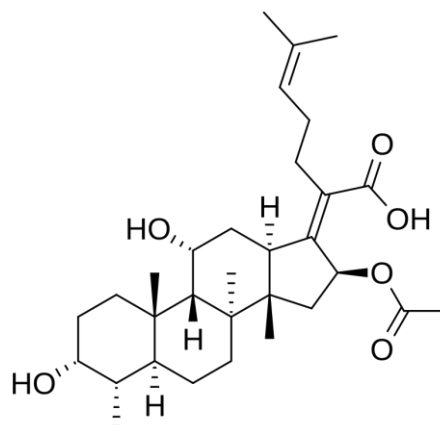


Рис 21. Структурна формула фузидової кислоти

Сумісна дія антибіотиків і НЧ

За останні роки краще була вивчена взаємодія НЧ з β -лактамами і аміно-

глікозидники антибіотиками, натомість найменш вивчені поліпептиди, фузидани, лінкозаміди та амінокумарини (рис. 22).



Рис. 22. Кількість досліджень за класом антибіотиків, кон’югованих металічними НЧ (Overview, 2024)

Розуміння особливостей механізмів антибактеріальної дії антибіотиків є надзвичайно важливим, оскільки їх поєднання з НЧ дозволяє запуснути руйнування клітин мікроорганізмів за різними напрямками одночасно, забезпечуючи їх гарантоване знищення. Так, наприклад, НЧ може доставляти антибіотик у складі хелату до поверхні клітини, при цьому полегшити проникність клітинної стінки і мембрани для антибіотика. Або навпаки, антибіотик покращить пенетрацію НЧ у клітину бактерії. Дія НЧ може інгібувати дію бактеріальних ферментів (наприклад, β-лактамази та карбапенемази, що руйнують антибіотики) і в результаті, запобігти їх руйнуванню. НЧ можуть виявити каталітичну активність, впливаючи на анти-

бактеріальну дію та концентрацію антибіотика. Як показали проведені дослідження, ампіцилін діє на клітинну стінку, дозволяючи проникнути Ag НЧ в цитоплазму патогенних мікроорганізмів *Haemophilus influenzae* та *Streptococcus pyogenes*, а сам комплекс ампіцилін-AgНЧ сполучається з ДНК і перешкоджає її розкручуванню, що призводить до загибелі мікробних клітин. Такий комплекс ампіцилін-AgНЧ було запропоновано до використання в медицині в якості консерванта для ендотрахеальних трубок (Hasoon et al, 2024).

Синтезувати комплекси металічні НЧ – антибіотик можна чотирма способами (Huh & Kwon, 2011; Shabatina et al, 2023; Hasoon et al, 2024), що схематично показано на рис. 23.



Рис. 23. Методи утворення кон’югату антибіотика та металічних НЧ

В методі А металічні НЧ синтезують окремо, а потім змішують з розчином антибіотика з фіксованими параметрами (температура, рН тощо) умов. Це найбільш поширений і популярний метод. Шлях Б передбачає хімічний або комбінований (з використанням рослинних екстрактів) синтез металічних НЧ за присутності антибіотика, який в окремих випадках може бути відновником, та більш сильного відновника. Наступний, метод В, передбачає початковий синтез металічних НЧ, їх подальша функціоналізація (тіолами, карбоновими кислотами, фосфінами дисульфідами, амінами, нітрилами) і наступним етапом з'єднання з антибіотиком. Метод Г передбачає синтез металічних НЧ шляхом хімічного відновлення з солей, коли у якості відновника виступає сам антибіотик (наприклад, тетрацикліни, макроліди або глікопептиди).

Синергетичний вплив антибіотика і наночасток металів

Важливим аргументом, що пояснює підвищення активності антибіотиків під дією НЧ металів, є гіпотеза щодо утворення специфічного комплексу «металева НЧ – молекула лікарського засобу». Запропоновано кілька пояснень синергічного впливу, коли бактерії гинули від дії комплексу швидше і повніше, ніж при окремій дії антибіотиків і НЧ у співрозмірних для коректного порівняння концентраціях (Agreles et al., 2022).

Було досліджено сумісний вплив ампіциліну, канаміцину, еритроміцину та хлорамфеніколу за присутності AgНЧ на культурах бактерій *S. aureus*, *Micrococcus luteus*, *S. typhi* та *E. coli*. Автори припускають, що синергетичний ефект спричинений реакцією зв'язування між гідроксильними та аміногрупами антибіотиків і наносріблом шляхом хелатування. Кластери AgНЧ стали оточені молекулами антибіотиків. У випадку ампіциліну, його вплив призводить до руйнування клітинної стінки і проникнення НЧ в цитоплазму бактерій. Крім того, дослідники розглядають можливість впливу комплексу «AgНЧ-ампіцилін» на ДНК та РНК (Fayaz, 2010).

Інші дослідники встановили синергетичний ефект AgНЧ в комплексі з наступними антибіотиками: еноксацином, канаміцином, неоміцином і тетрацикліном проти *Salmonella sp.* Для пояснення автори

запропонували чотириступінчастий механізм утворення складного відкритого комплексу. Спочатку молекули антибіотиків сполучаються з AgНЧ в комплекси, потім ці комплекси зв'язуються з бактерією. Приєднані до бактерії комплекси вивільняють Ag⁺ більше, ніж Ag-НЧ за тих самих умов. Таким чином виникає локальна висока концентрація Ag⁺ біля поверхні бактерії, іони руйнують покриви і проникають в цитоплазму, пошкоджуючи білки і нуклеїнові кислоти бактерій (Deng et al, 2016).

Синтезовано металокомплекси цефіксиму з Cu(II), Zn(II), Cd(II), Fe(III) та Ni(II). Проведено електронні спектральні та циклічні вольтамперометричні дослідження взаємодії комплексів металів з ДНК тимуса теляти. Результати свідчать про те, що комплекси можуть зв'язуватися з ДНК шляхом вбудовування. Комплекси Cu(II), Zn(II), Cd(II) і Ni(II) на СЕМі показали квадратну планарну геометрію. Комплекс Fe(III) був найбільш активним і мав октаедричну геометрію. Усі комплекси показали дещо вищу антимікробну активність, ніж чистий препарат цефіксим під час тестування на *S. aureus*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, *Proteus vulgaris* і *P. aeruginosa* та пліснявих грибів *Aspergillus niger*, *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus flavus*, *Rhizoctonia bataicola* та *C. albicans* (Pillai & Latha, 2016).

Іншою вагомою причиною для використання металевих НЧ разом з антибіотиками є встановлена деякими дослідниками можливість створення іноваційних систем цільової доставки ліків. Ідея полягає у модифікації металевих НЧ полімерним покриттям або функціоналізації відповідно до характеристик рецепторів на поверхні мікробної клітини. Так, НЧ діоксиду срібла та титану, покриті полімолочною кислотою, були розроблені для цільової доставки норфлоксацину і теноксикаму (Salahuddin et al., 2021). Наносистеми золота, функціоналізовані сироватковим альбуміном, були використані для адресної доставки тетрацикліну, окситетрацикліну та ролітетрацикліну. Альбуміни сироватки крові, маючи специфічні сайти зв'язування з лікарським засобами, при цьому виконують класичну транспортну функцію, а спектральна активність нанокластерів золота дозволить забезпечити постійний моніторинг зони лікування (Meena & Kishore, 2021).

Висновок

На сьогодні перед дослідниками стоїть завдання створити антибактеріальні препарати нового покоління. Враховуючи сучасні вимоги, тривалість розробки та реєстрації лікарських препаратів, нові засоби мають забезпечити вкрай повільне виникнення резистентності у патогенних мікроорганізмів. Нажаль, повна відсутність резистентності неможлива, бо вона є природним еволюційним процесом. Поєднання металевих НЧ і антибіотичних препаратів зберігає здатність останніх знищувати бактерії, які

стали до них стійкими. Крім того, нові антибактеріальні системи повинні відповідати вимогам адресної доставки і контролюваного вивільнення молекул ліків. Передбачається, що встановлений синергізм обумовить в подальшому зниження ефективних доз і, відповідно, токсичності разом з небажаними побічними ефектами обох складових комплексу: як антибіотиків, так і наночастинок. Металеві НЧ метаболізуються організмом людини суттєво довше, ніж органічні молекули антибіотиків, що також важливо для досягнення стійких терапевтичних ефектів.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Ambaye, T. G., Vaccari, M., & van Hullebusch, E. D. (2021). Photocatalytic nanomaterials for bacterial disinfection. In: Inamuddin, M.I. Ahamed, E. Lichtfouse (Eds) *Water Pollution and Remediation: Photocatalysis. Environmental Chemistry for a Sustainable World*, 57. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54723-3_7
- Agreles, M., Cavalcanti, I., & Cavalcanti, I. (2022). Synergism between metallic nanoparticles and antibiotics. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 106, 3973–3984. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12001-1>
- Bambeke, F., Glupczynski, Y., Mingeot-Leclercq M-P., & Tulkens, P. (2010). Chapter 130: Mechanisms of action. In G. Cohan (Ed), *Infectious Diseases*. (3d Ed. pp.1288–1307). Elsevier/Mosby. <https://www.farm.ucl.ac.be/Full-texts-FARM/Vanbambeke-2010-2.pdf>
- Bishoyi, A. K., Sahoo, C. R., & Padhy, R. N. (2022). Recent progression of cyanobacteria and their pharmaceutical utility: an update. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 41(9), 4219–4252.
- Campbell, E. A., Korzheva, N., Mustaev, A., Murakami, K., Nair, S., Goldfarb, A., & Darst, S. A. (2001). Structural mechanism for rifampicin inhibition of bacterial RNA polymerase". *Cell*. 104(6), 901–912. doi:10.1016/S0092-8674(01)00286-0
- Chlumsky, O., Purkrtova, S., Michova, H., Sykorova, H., Slepicka, P., Fajstavr, D., Ulbrich, P., Viktorova, J., & Demnerova, K. (2021). Antimicrobial Properties of Palladium and Platinum Nanoparticles: A New Tool for Combating Food-Borne Pathogens. *Int. J. Mol. Sci.*, 22(15), 7892. <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/15/7892>
- Deng, H., McShan, D., Zhang, Yi., Sinha, S., Arslan, Z., Ray, P. C., & Yu, H. (2016). Mechanistic study of the synergistic antibacterial activity of combined silver nanoparticles and common antibiotics. *Environmental Science & Technology*, 50(16), 8840–8848 <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00998>

- Duan, S., & Wang, R. (2013). Bimetallic nanostructures with magnetic and noble metals and their physicochemical applications. *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, 23, 113–126. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2013.02.001>
- Ezhilarasi, A. A., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Maaza, M., Ayeshamariam, A., & Kennedy, L. J. (2016). Green synthesis of NiO nanoparticles using *Moringa oleifera* extract and their biomedical applications: Cytotoxicity effect of nanoparticles against HT-29 cancer cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B: Biology*, 164, 352–360. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.10.003>
- Ezhilarasi, A. A., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Kennedy, L. J., Ramalingam, R. J., & Al-Lohedan, H. A. (2018). Green synthesis of NiO nanoparticles using Aegle marmelos leaf extract for the evaluation of in-vitro cytotoxicity, antibacterial and photocatalytic properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 180, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.01.023>
- Falagas, M. E., Kasiakou, S. K., & Saravolatz, L. D. (2005). Colistin: The revival of polymyxins for the management of multidrug-resistant gram-negative bacterial infections. *Clinical Infectious Diseases*, 40(9), 1333–1341. <https://doi.org/10.1086/429323>
- Fanoro, O. T., & Oluwafemi, O. S. (2020). Bactericidal Antibacterial Mechanism of Plant Synthesized Silver, Gold and Bimetallic Nanoparticles. *Pharmaceutics*, 12, 1044. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12111044>
- Fayaz, A.M., Balaji, K., Girilal, M., Yadav, R., Kalaichelvan, P.T., & Venketesan, R. (2010). Biogenic synthesis of silver nanoparticles and their synergistic effect with antibiotics: A study against gram-positive and gram-negative bacteria. *Nanomed. Nanotechnol. Biol. Med.*, 6, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2009.04.006>
- Haghighi, F., Mohammadi, S., Mohammadi, P., & Hosseinkhani, S. (2013). Antifungal activity of TiO₂ nanoparticles and EDTA on *Candida albicans* biofilms. *Infect. Epidemiol. Med.*, 1, 33–38. https://www.semanticscholar.org/paper/Antifungal-Activity-of-TiO-2-nanoparticles-and-EDTA-Haghighi-Mohammadi/d816127a0b7d75797b3497f3009f690985932dbc?utm_source=direct_link
- Hasoon, B. A., Jawad, K. H., Mohammed, I. S., Hussein, N. N., Al-azawi, K. F., & Jabir, M. S. (2024). Silver nanoparticles conjugated amoxicillin: A promising nano-suspension for overcoming multidrug resistance bacteria and preservation of endotracheal tube. *Inorganic Chemistry Communications*, 112456. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112456>.
- Heide, L. (2009). Chapter 18. Aminocoumarins: Mutasyntesis, Chemoenzymatic Synthesis, and Metabolic Engineering. *Methods in Enzymology*, 459, 437–455. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(09\)04618-7](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(09)04618-7)
- Huang, Z., Zheng, X., Yan, D., Yin, G., Liao, X., Kang, Y., Yao, Y., Huang, D., & Hao, B. (2008). Toxicological effect of ZnO nanoparticles based on bacteria. *Langmuir*, 24(8), 4140–4144. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la7035949>
- Huh, A. J., & Kwon, Y. J. (2011). “Nanoantibiotics”: A new paradigm for treating infectious diseases using nanomaterials in the antibiotics resistant era. *J. Control. Release*, 156(2), 128–145. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2011.07.002>
- Jin, T., & He, Y. (2011). Antibacterial activities of magnesium oxide (MgO) nanoparticles against foodborne pathogens. *J. Nanoparticle Res.*, 13, 6877–6885. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11051-011-0595-5>

- Kaur, P., Nene, A.G., Sharma, D., Somani, P. R., & Tuli, H. S. (2019). Synergistic effect of copper nanoparticles and antibiotics to enhance antibacterial potential. *Bio-Mater. Technol.*, 1, 33–47.
- Maleki Dizaj, S., Lotfipour, F., Barzegar-Jalali, M., Hossein Zarrintan, M., & Adibkia K. (2014). Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles. *Mater Sci Eng C*, 44, 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.08.031>
- Mast, Y., & Wohlleben, W. (2014). Streptogramins – Two are better than one. *International Journal of Medical Microbiology*, 304(1), 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2013.08.008>
- Meena, P., & Kishore, N. (2021). Thermodynamic and mechanistic analytical effect of albumin coated gold nanosystems for antibiotic drugs binding and interaction with deoxyribonucleic acid. *J. Mol. Liq.*, 339, 116718. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116718>
- Mukherji, S., Bharti, S., Shukla, G., & Mukherji, S. (2019). Synthesis and characterization of size- and shape-controlled silver nanoparticles. *Physical Sciences Reviews*, 4(1), 20170082. <https://doi.org/10.1515/psr-2017-0082>
- Nishanthi, R., Malathi, S., John Paul, S., & Palani P. (2019). Green synthesis and characterization of bioinspired silver, gold and platinum nanoparticles and evaluation of their synergistic antibacterial activity after combining with different classes of antibiotics, *Mater Sci Eng C*, 96, 693–707, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.11.050>
- Overview of antibiotic therapy (2024). *AMBOSS Database*, Last Updated 14.05.2022. <https://www.amboss.com/us/knowledge/overview-of-antibiotic-therapy>
- Pal, S., Tak, Y. K., & Song, J. M. (2007). Dose the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 27(6), 1712–1720. <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.02218-06>
- Panáček, A., Kvítek, L., Smékalová, M., Večeřová, R., Kolář, M., Röderová, M., Dyčka, F., Šebela, M., Pucek, R., & Tomanec, O. (2018). Bacterial resistance to silver nanoparticles and how to overcome it. *Nat. Nanotechnol.*, 13, 65–71. <https://doi.org/10.1038/s41565-017-0013-y>
- Patel, S., & Beteck, R. (2021). Metronidazole-conjugates: A comprehensive review of recent developments towards synthesis and medicinal perspective. *European Journal of Medicinal Chemistry*, <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/nitroimidazole#chapters-articles>
- Patra, J. K., & Baek, K. H. (2015). Novel green synthesis of gold nanoparticles using *Citrullus lanatus* rind and investigation of proteasome inhibitory activity, antibacterial, and antioxidant potential. *Int. J. Nanomed.*, 10, 7253–7264. <https://www.semanticscholar.org/paper/Novel-green-synthesis-of-gold-nanoparticles-using-Patra-Baek/3ae247d15e44fd8557fe74243fa474363b823577>
- Pillai, S.M., & Latha, P. S. (2016) Designing of some novel metallo antibiotics tuning biochemical behavior towards therapeutics: Synthesis, characterisation and pharmacological studies of metal complexes of cefixime. *J. Saudi Chem. Soc.*, 20, S60–S66. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.09.004>
- Salahuddin, N., Gaber, M., Elneanaey, S., Snowdon, M. R., & Abdelwahab, M. A. (2021). Co-delivery of norfloxacin and tenoxicam in Ag-TiO₂/poly(lactic acid) nanohybrid. *Int. J. Biol. Macromol.*, 180, 771–781. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.033>
- Salata, O. (2004). Applications of nanoparticles in biology and medicine. *J Nanobiotechnol*, 2, 3. <https://doi.org/10.1186/1477-3155-2-3>

Salas-Orozco, M., Niño-Martínez, N., Martínez-Castañón, G.-A., Méndez, F.T., Jasso, M.E.C., & Ruiz, F. (2019). Mechanisms of Resistance to Silver Nanoparticles in Endodontic Bacteria: A Literature Review. *J. Nanomater.*, 7630316, 1–11 <https://www.hindawi.com/journals/jnm/2019/7630316/>

Shabatina, T. I., Vernaya, O. I., & Melnikov, M.Y. (2023). Hybrid Nanosystems of Antibiotics with Metal Nanoparticles – Novel Antibacterial Agents. *Molecules*, 28, 1603. <https://doi.org/10.3390/molecules28041603>

Sondi, I., & Salopek-Sondi, B. (2004). Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for gram-negative bacteria. *J. Colloid Interface Sci.*, 275, 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.012>

Spížek, J., & Řezanka, T. (2017). Lincosamides: Chemical structure, biosynthesis, mechanism of action, resistance, and applications. *Biochemical Pharmacology*, 133, 20–28. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006295216304622?via%3Dihub>

Staszek, M., Siegel, J., Kolářová, K., Rimpelová, S., & Švorčík, V. (2014). Formation and antibacterial action of Pt and Pd nanoparticles sputtered into liquid. *Micro & Nano Letters*, 9(11), 778–781. <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1049/mnl.2014.0345>

Stratakis, E., Barberoglou, M., Fotakis, C., Viau, G., Garcia, C., & Shafeev, G. (2009). Generation of Al nanoparticles via ablation of bulk Al in liquids with short laser pulses. *Opt. Express*, 17, 12650–12659. <https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-17-15-12650&id=183579>

Usman, M., Zowalaty, M., Shameli, K., Zainuddin, N., Salama M., & Ibrahim, N. (2013). Synthesis, characterization, and antimicrobial properties of copper nanoparticles. *Int. J. Nanomedicine*, 8, 4467–4479. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24293998/>

Received: 02.08.2024. **Accepted:** 21.08.2024. **Published:** 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Хрокало Л., Сулима Д. Металеві наночастинки та антибіотики: валоризація синергетичної взаємодії та перспективи використання. *Biota. Human. Technology*. 2024. №2. С. 26-47.

Cite this article in APA style as:

Khrokalo, L., & Sulyma, D. (2024). Metal nanoparticles and antibiotics: valorization of synergistic interaction and application prospects. *Biota. Human. Technology*, 2, 26-47. (in Ukrainian)

Information about the authors:

Khrokalo L. [*in Ukrainian*: Хрокало Л.]¹, PhD in Biol. Sci., Assoc. Prof., e-mail: lkhrokalo@gmail.com, *ORCID*: 0000-0003-4334-6629 *Scopus Author ID*: 56534070400, *ResearcherID*: J-6560-2017
Physical Chemistry Department, Chemical Technology Faculty, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
37 Prospect Beresteiskyyi, Kyiv, 03056, Ukraine

Sulyma D. [*in Ukrainian*: Сулима Д.]², Student, e-mail: dashasylima@ukr.net
ORCID: 0009-0008-3112-8775
Physical Chemistry Department, Chemical Technology Faculty, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
37 Prospect Beresteiskyyi, Kyiv, 03056, Ukraine

¹ Study design, data collection, analysis, manuscript preparations

² Data collection, manuscript preparation



ZOOBIOTA

ЗООБИОТА



UDC 595.34(477.41/.42-751.3)

Людмила Гапонова

ОСОБЛИВОСТІ ВИДОВОГО РІЗНОМАНІТТЯ ЦИКЛОПОЇДНИХ КОПЕПОД
ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Liudmyla Gaponova

FEATURES OF SPECIES DIVERSITY OF CYCLOPOID COPEPODS
IN NATURE RESERVES OF UKRAINIAN POLESIE

DOI: 10.58407/bht.2.24.4

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Вивчення видового різноманіття циклопоїдних копепод у водоймах природно-заповідних об'єктів з різним охоронним статусом та проведення порівняльного аналізу видового складу циклопід та їх комплексів в озерах в межах природно-заповідних фондів (ПЗФ) та за їх межами.

Методологія. Матеріал збирали протягом 2014–2021 років з березня по листопад у водоймах ПЗФ на території Київського та Чернігівського Полісся. Для порівняння, використовувався матеріал, який відбирали з озер міста Києва в 2013–2016 роках. Проби відбирали шляхом змиву з рослинності, вилученої з водойми та фільтрацією води за допомогою планктонної сітки. Видову ідентифікацію циклопід проводили на живих об'єктах, або готували препарати в гліцерині, використовуючи основні роботи по цій групі (Monchenko, 1974; Lee et al., 2005; Gaponova & Holynska, 2022). Для порівняння озер за видовим складом циклопід використовували ієрархічний кластерний аналіз на основі відсотку неузгодженості.

Наукова новизна. Наведено результати досліджень видового різноманіття циклопід водойм Київського та Чернігівського Полісся. Проведено порівняльний аналіз комплексів видів циклопід озер на території ПЗФ та м. Києва.

Висновки. Досліджені об'єкти ПЗФ характеризуються значним видовим різноманіттям циклопід – зареєстровано 27 із відомих для Українського Полісся 49 видів, та наявністю рідкісних видів (*Eucyclops denticulatus*, *Paracyclops affinis* та *Paracyclops poppei*).

В результаті порівняльного аналізу було виявлено, що озера об'єктів ПЗФ характеризуються більшим видовим різноманіттям циклопід у порівнянні з озерами м. Києва. Також відмінністю є незначна представленість (1–2 види) або відсутність у міських озерах видів, що належать до озерно-річкового та озерно-ставкового комплексів.

Отже, наведені вище дані свідчать про те, що досліджені природо-охоронні об'єкти є цінними об'єктами природно-заповідного фонду і не зважаючи на те, що мають різний охоронний статус, забезпечують збереження видового різноманіття веслоногих ракоподібних, особливо рідкісних видів, а отже виступають резерватами біорізноманіття.

Ключові слова: біорізноманіття, рідкісні види, *Soropoda*, *Cyclopidae*, природно-заповідний фонд

ABSTRACT

Purpose of the work. To study the species diversity of cyclopoid copepods of protected areas with different protection status, and to conduct a comparative analysis of the species composition of cyclopids and their species complexes of lakes within and outside the protected areas.

Methodology. The material was collected over 2014–2021 from March to November in protected areas in Kyiv and Chernihiv Polesie. For comparison, the material collected in the lakes of Kyiv city over 2013–2016 was used. Samples were collected by washing from macrophytes removed from the water bodies and by filtering the water using a plankton net. Species identification of cyclopids was carried out on live specimens or preparatums in glycerol, using the main works on this group (Monchenko, 1974; Lee et al., 2005; Gaponova & Holynska, 2022). Hierarchical cluster analysis based on the percentage of disagreement value in cyclopoid species composition was used to compare the lakes.

Scientific novelty. The results of the cyclopid species diversity study in the water bodies of Kyiv and Chernihiv Polesie are presented. A comparative analysis of the cyclopid species complexes in lakes on the territory of the protected areas and the city of Kyiv has been carried out.

Conclusions. The studied protected areas are characterized by a significant species diversity of cyclopoid copepods – 27 of 49 species known for Ukrainian Polesie were recorded, and the presence of rare species (*Eucyclops denticulatus*, *Paracyclops affinis* and *Paracyclops poppei*).

The comparative analysis demonstrated that the lakes of the protected areas are characterized by a higher species diversity of cyclopid compared to the lakes of Kyiv city. They are also differed by a low representation (1–2 species) or absence of species belonging to the lake-river and lake-pond complexes in urban lakes.

Thus, the above data indicate that the studied protected areas are valuable objects of the nature reserve fund and, regardless of their protection status, provide the conservation of species diversity of cyclopoid copepods, especially rare species, and therefore serve as biodiversity reserves.

Key words: biodiversity, rare species, Copepoda, Cyclopidae, protected areas

Вступ

Розвиток людського суспільства порушує біологічну рівновагу середовища і запобігти цьому неможливо без науково обґрунтованого втручання в природу і розробки оптимального співвідношення природного середовища і трансформованого (Sheliah-Sosonko, 1973). Науковий підхід до охорони видів флори і фауни полягає в обґрунтованому відборі видів рослин і тварин, що підлягають охороні, створенні системи заповідних об'єктів і плануванні організаційних заходів. Діяльність природно-заповідних установ в першу чергу спрямована на збереження природних місць існування видів, що підлягають охороні. Особливо це важливо для безхребетних тварин, охорона яких часто зводиться до охорони біотопів, в яких вони трапляються. Водночас проведення біологічного моніторингу об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) є важливим для вирішення питання про їх репрезентативність.

Біорізноманіття природоохоронних територій Київського та Чернігівського Полісся вивчено недостатньо. Особливо це стосується гідробіонтів, таких як циклопоїдні копеподи, які є дрібними та потребують проведення спеціальних досліджень. Так, у роботі присвяченій Деснянському екологічному коридору (Kostiushyn & Prekrasna, 2010), де надана загальна інформація про безхребетних тварин, дані щодо згаданої групи тварин відсутні.

Метою нашого дослідження є вивчення видового різноманіття циклопоїдних копепод (Copepoda, Cyclopoidea, Cyclopidae) водойм ПЗФ з різним охоронним статусом та проведення порівняльного аналізу видового складу циклопід та їх комплексів в озерах в межах ПЗФ та за їх межами. Ця інформація є

основою для моніторингових досліджень біорізноманіття водойм, які сприяють виявленню нових місцезнаходжень рідкісних і зникаючих видів та є важливими для оцінки стану збереженості популяцій і розробки заходів для їх охорони.

Матеріали та методи дослідження

Матеріал збирали протягом 2014–2021 років з березня по листопад у водоймах ПЗФ з різним охоронним статусом на території Київського та Чернігівського Полісся: лісовий заказник місцевого значення «Рибне» (копанка, 50°28'09.2"N 30°42'24.8"E), заказник загальнодержавного значення «Лісники» (р. Сіверка, оз. Шапарня, тимчасові весняні водойми, вільхові болота, 50°17'03.8"N 30°33'36.9"E), гідрологічна пам'ятка-природи «Озеро Магістратське» (оз. Магістратське, 51°28'26.2"N 31°20'12.6"E), ботанічний заказник місцевого значення «Урочище Безодня» (оз. Безодня, струмок, тимчасові калюжі, 50°18'32.1"N 30°29'38.1"E).

Для порівняння, використовувався матеріал, відібраний в озерах міста Києва (оз. Йорданське, 50°29'37.9"N 30°30'09.7"E; оз. Мінське, 50°31'08.6"N 30°28'22.0"E; оз. Нижній Тельбін, 50°25'08.2"N 30°36'08.6"E; оз. Опечень, 50°30'58.0"N 30°28'22.0"E; оз. Редькіно, 50°32'44.3"N 30°28'52.7"E) в 2013–2016 роках.

Проби відбирали шляхом змиву з рослинності, вилученої з водойми, та фільтрацією води за допомогою планктонної сітки (Garopova, 2016). Частину з них фіксували 40 %-ним розчином формаліну або 70–96 %-ним розчином етилового спирту, а деякі вивчали *in vivo*. Видову ідентифікацію циклопід проводили на живих об'єктах або готували препарати в гліцерині (Dussart & Defaye, 2001).

Дослідження зразків проводили за допомогою мікроскопів: Olympus BX-51 з DIC-контрастом та фотокамерою, SZM-45T2 та Bresser BioScience. Для визначення циклопід користувалися основними роботами по цій групі (Monchenko, 1974; Lee et al, 2005; Garonova & Holynska, 2022). Назви видів наведені згідно World Directory of Crustacea Copepoda of Inland Waters. Cyclopiformes. (Dussart & Defaye, 2006).

Для порівняння озер за видовим складом циклопід використовували ієрархічний кластерний аналіз на основі відсотку неузгодженості, дендрограму будували за методом повного зав'язку (Chugaievska & Kovtun, 2022).

Результати та їх обговорення

Видове різноманіття циклопід ПЗФ.

В досліджених водоймах ПЗФ було зареєстровано 27 видів веслоногих ракоподібних. Це складає 55 % видового складу Українського Полісся, для якого відомо 49 видів циклопід (Monchenko, 1974; Shevtsova & Huleikova, 2005; Gromova et al., 2019). Також було виявлено 3 із 6 відомих для поліських водойм рідкісних видів циклопід – *Eucyclops denticulatus* (Graeter, 1903), *Paracyclops affinis* (Sars, 1863) та *Paracyclops poppei* (Rehberg 1880).

Як зазначається в літературних джерелах, *Paracyclops poppei* хоч і має широкий ареал, але є рідкісним видом (Sovinskii, 1888, Monchenko, 1974). Найхарактернішими місцями існування цього виду є різноманітні болота, заболочені частини ставків і озер. Також *Paracyclops poppei* був відмічений у притоках р. Прип'яті (Gromova et al., 2019). Ними він виявлений в копанці заказника «Рибне» (Garonova, 2016).

Інший вид – *Paracyclops affinis*, за літературними даними виявлений лише в деяких місцях р. Дніпра та його приток; зустрічається рідко, переважно в річках та великих озерах (Monchenko, 1974). *Paracyclops affinis* був зареєстрований нами в оз. Шапарня, а також раніше в оз. Магістратське (Garonova, 2019).

Вид *Eucyclops denticulatus* за літературними даними відмічався в Україні рідко, а для Київської області зареєстрований лише в деяких водоймах області і околиць м. Києва (Monchenko, 1962, Monchenko, 1974). Ними був знайдений в оз. Шапарня заказника Лісники, а також, раніше, в ставках парку Феофанія (Garonova, 2014).

Наведені вище дані свідчать про те, що досліджені об'єкти ПЗФ, не зважаючи на те, що мають різний охоронний статус, є цінними об'єктами природно-заповідного фонду, оскільки характеризуються значним видовим різноманіттям циклопід і наявністю рідкісних видів.

Порівняльний аналіз видового складу циклопід досліджених водойм в межах ПЗФ та за їх межами.

Озера є типовими водоймами як для урбанізованих ландшафтів, так і територій ПЗФ та є найбільш поширеними серед досліджених нами типів водойм. Загалом в досліджених озерах виявлено 20 видів циклопід. За класифікацією В. І. Монченко (Monchenko, 1974), зареєстровані види відносяться до 6 комплексів: озерно-річкові – 6 видів (*Cyclops vicinus vicinus* Uljanin, 1875, *Eucyclops macrurus* (G.O. Sars, 1863), *Eucyclops speratus* (Lilljeborg, 1901), *Paracyclops affinis*, *Paracyclops fimbriatus fimbriatus* (Fischer, 1853), *Thermocyclops oithonoides* (G.O. Sars, 1863)), озерно-ставкові – 5 видів (*Cyclops kikuchii* Smirnov, 1932, *Eucyclops denticulatus*, *Eucyclops macruroides macruroides* (Lilljeborg, 1901), *Microcyclops varicans varicans* (G.O. Sars, 1863), *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853)), евритопні – 4 види (*Eucyclops serrulatus serrulatus* (Fischer, 1851), *Macrocyclops albidus* (Jurine, 1820), *Megacyclops viridis viridis* (Jurine, 1820), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857)), комплекс видів, що населяють водойми з низьким значенням рН – 2 види (*Cryptocyclops bicolor bicolor* (G.O. Sars, 1863), *Macrocyclops fuscus* (Jurine, 1820)), мешканці пересихаючих водойм – 1 вид (*Acanthocyclops vernalis* (Fischer, 1853)), болотні – 1 вид (*Ectocyclops phaleratus phaleratus* (Koch, 1838)).

За допомогою кластерного аналізу нами проведено порівняння озер на території об'єктів ПЗФ та озер м. Києва за видовим складом циклопід. Як видно з дендрограми (рис. 1), озера розділилися на два кластери.

Перший кластер об'єднує озера об'єктів ПЗФ та оз. Нижній Тельбін. Кількість видів у цих озерах є різною і становить 14 видів – в оз. Магістратське, 11 видів – оз. Шапарня, 8 видів – оз. Безодня та 6 видів – оз. Нижній Тельбін. В межах першого кластеру можна виділити групу, що включає оз. Магістратське та оз. Шапарня, які характеризуються найбільшим видовим різноманіттям циклопід та найбільшою представленістю видів, що належать до

озерно-річкового (5 видів) та озерно-ставкового (5 видів) комплексів. В озері Магістратському в угрупованні за участю рдесту (*Potamogeton* sp.), ряски (*Lemna* sp.) та сальвінії (*Salvinia natans*) відмічена одна знахідка виду *Ectocyclops phaleratus phaleratus*. Хоча він віднесений до видів болотного комплексу, але, як зазначає В. І. Монченко (Monchenko, 1974), може траплятися в заболочених частинах ставків і озер. У другій групі озер цього кластеру, що включає оз. Безодня та оз. Нижній Тельбін, більш представленими є види евритопного комплексу – 3 види, в той час як виявлено

лише 2 види озерно-річкового та 1 вид озерно-ставкового комплексів. Крім того, в оз. Безодня зареєстровані 2 види, що населяють водойми з низьким значенням рН. Напевне це тому, що дане озеро відноситься до заплавних водойм, що мають обмежений водообмін з руслом. Як відзначено в роботі (Кагорова & Sereda, 2001), у таких водоймах відсутність постійного зв'язку з русловою системою річки сприяє накопиченню органічних речовин, замуленню водойми і розвитку процесів заболочування.

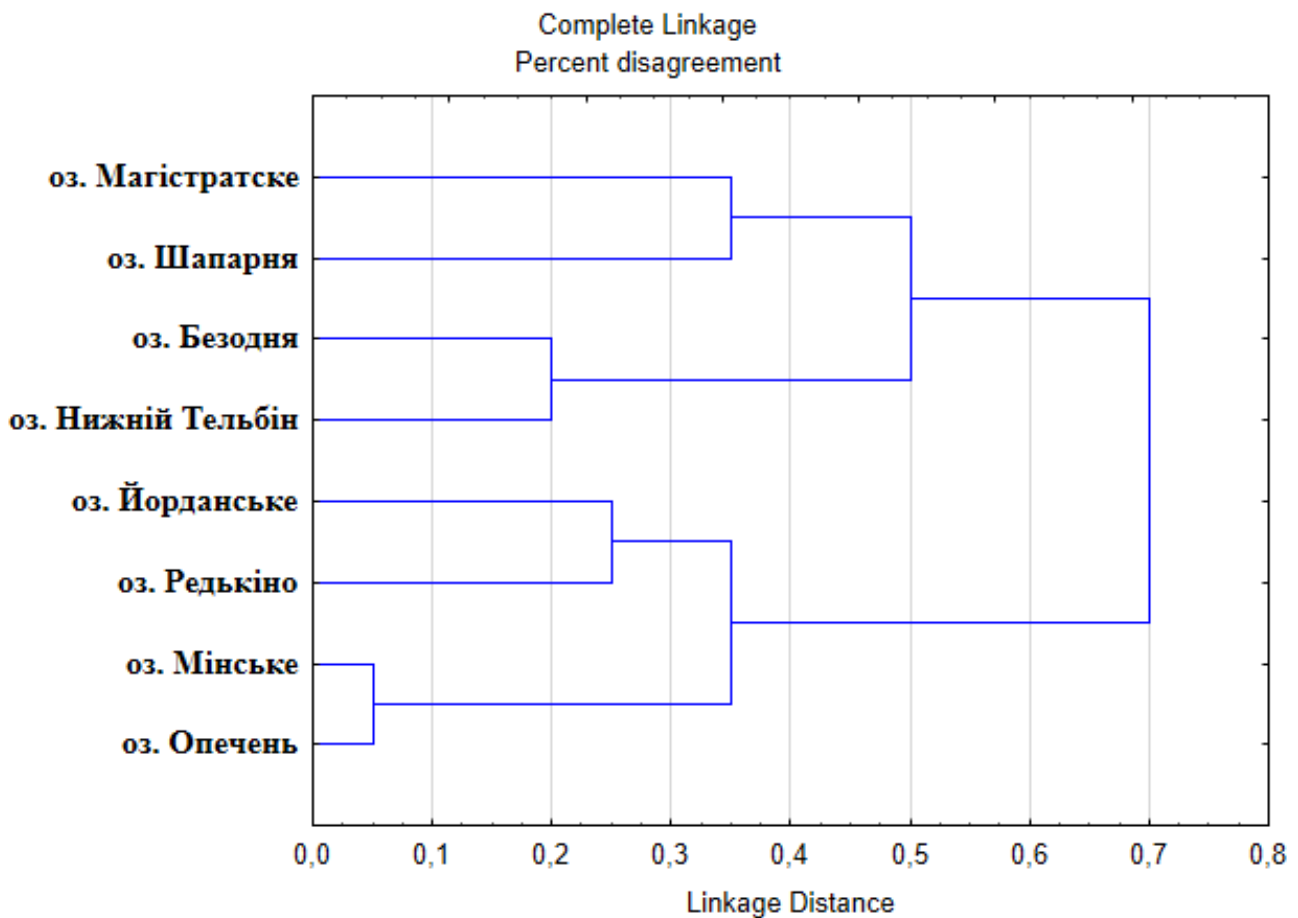


Рис. 1. Дендрограма відмінностей між озерами мегаполісу за межами ПЗФ та озерами об'єктів ПЗФ за видовим складом циклопід

Другий кластер утворює решта міських озер, що знаходяться за межами ПЗФ. Кількість видів в них є незначною – 3–4 види. В озерах, що входять у другий кластер, представлені види евритопного (3 види) та озерно-річкового (3 види) комплексів, в той час як види озерно-ставкового комплексу відсутні. Також в оз. Йорданське зареєстро-

ваний *Cryptocyclops bicolor bicolor*, який відноситься до комплексу видів циклопід, що населяють водойми з низьким значенням рН. В оз. Редькіно виявлений представник комплексу видів, приурочених до пересихаючих водойм – *Acanthocyclops vernalis*.

В результаті порівняльного аналізу було виявлено, що озера об'єктів ПЗФ

характеризуються більшим видовим різноманіттям циклопід у порівнянні з озерами м. Києва. Проте основною відмінністю між ними є відсутність у міських озерах частини видів, що належать до озерно-річкового та озерно-ставкового комплексів. Види евритопного комплексу (*Megacyclops viridis viridis*, *Mesocyclops leuckarti*, *Macrocyclops albidus*, *Eucyclops serrulatus serrulatus*) виявлені як в озерах на території об'єктів ПЗФ, так і міста Києва.

Висновки

Досліджені об'єкти ПЗФ характеризуються значним видовим різноманіттям циклопід – зареєстровано 27 із відомих для Українського Полісся 49 видів, та наявністю рідкісних видів (*Eucyclops denticulatus*, *Paracyclops affinis* та *Paracyclops poppei*).

В результаті порівняльного аналізу було виявлено, що озера об'єктів ПЗФ характеризуються більшим видовим різноманіттям циклопід у порівнянні з озерами м. Києва. Також відмінністю є незначна представленість (1–2 види) або відсутність у міських озерах видів, що належать до озерно-річкового та озерно-ставкового комплексів.

Отже наведені вище дані свідчать про те, що досліджені природо-охоронні об'єкти є цінними об'єктами природно-заповідного фонду і не зважаючи на те, що мають різний охоронний статус, забезпечують збереження видового різноманіття веслоногих ракоподібних, особливо рідкісних видів, а отже виступають резерватами біорізноманіття.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комітетом з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (№ протоколу: 4, 15 травня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium” (Protocol Number: 4, 15 May 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

Chugaievskaya, S. V., & Kovtun, N. V. (2022). *Basics of statistical modeling*. Ruta Publishing House. (in Ukrainian).

Основи статистичного моделювання: навч. посібник / за заг. ред. С. В. Чугаєвської, Н. В. Ковтун. Житомир: Видавництво ПП «Рута», 2022. 604 с.

Dussart, B., & Defaye, D. (2001). Copepoda: Introduction to the Copepoda. (2nd edition) (revised and enlarged). In H. J. F. Dumont (Ed.), *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World*. SPB Academic Publishers, The Hague.

Dussart, B., & Defaye, D. (2006). *World Directory of Crustacea Copepoda of Inland Waters, Volume 2: Cyclopiformes*. Backhuys Publishers, Leiden.

Gaponova, L. P. (2014). The seasonal population dynamics of the cyclopoid copepods (Cyclopoida, Cyclopidae) in ponds of Kyiv region (Ukraine). *Vestnik zoologii*, 48(4), 377–381.

- Gaponova, L. P. (2016). Biotope distribution of cyclopids (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopidae) in different type of water-bodies in Kyiv city and its vicinity. *Scientific Bulletin of the Uzhgorod University. Series Biology*, 41, 13–15. (in Ukrainian).
Гапонова Л. П. Особливості біотопічного розподілу циклопід (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopidae) у різнотипних водоймах м. Києва та його околиць. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту, Серія Біологія*. 2016. № 40. С. 13–15.
- Gaponova, L. P. (2019) Copepods of the Family Cyclopidae (Cyclopoida) of the Conservation Area of Water Lake Magistratske (Chernigiv, Ukraine). *Hydrobiological Journal*, 56(6), 62–70. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v56.i6.50>
- Gaponova, L., & Holynska, M. (2022). New data on the Western Palearctic distribution of *Eucyclops roseus* (Copepoda: Cyclopidae), with notes on its taxonomic relationships. *North-Western Journal of Zoology*, 18(2), 135–142.
- Gromova, Y. F., & Guleykova, L. V., Shcherbak, S. D. (2019). Zooplankton Composition and Taxonomic Richness in Water Bodies and Watercourses of the Pripyat River Basin and Their Long-Term Dynamics. *Hydrobiological Journal*, 55(6), 37–54. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i6.40>
- Kostiushyn, V., & Prekrasna, E. (Eds.). (2010). *Desnyanskyi ecocorridor*. NECU. (in Ukrainian).
Деснянський екологічний коридор / О. Василюк та ін. ; під заг. ред. В. Костюшина, Є. Прекрасної. Київ : НЕЦУ, 2010. 164 с.
- Karpova, G. A., & Sereda, T. N. (2001). Macrophytes and phytoplankton of the Desna River and its floodplain water bodies (transboundary areas). *Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*, 4(15), 78–79. (in Russian).
Карпова Г. А., Середя Т. Н. Высшая водная растительность и фитопланктон р. Десны и водоемов ее поймы (трансграничный участок). *Наукові записки Тернопільського держ. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія*. 2001. № 4(15). С.78–79.
- Lee, J. M., Min, G. S., & Chang C. Y. (2005). *Eucyclops serrulatus* species group (Copepoda: Cyclopoida: Cyclopidae) from South Korea. *The Korean Journal of Systematic Zoology*, 21(2), 137–156.
- Monchenko, V. I. (1962). *Copepods (Copepoda) of the middle Dnieper basin* [Thesis abstract on competition of a scientific degree of the Candidate of Biological Sciences]. (in Russian).
Монченко В. И. Веслоногие ракообразные (Copepoda) бассейна среднего Днепра : автореф. дис. ... канд. біол. наук. : Київ, 1962. 20 с.
- Monchenko, V. I. (1974). *Cyclopoida Gnathostoma (Cyclopidae)* (Fauna of Ukraine ; Vol. 27, Is. 3). Naukova dumka. (in Ukrainian).
Фауна України. В 40 т. Т. 27, Вип. 3. Щелепнороті циклопоподібні циклопи (Cyclopidae) / В. І. Монченко. Київ : Наукова думка, 1974. 452 с.
- Sovinskii V. (1888). Essay of the freshwater crustaceans fauna from the outskirts of Kyiv and the northern part of Kyiv province. Notes of the Kyiv Society of Naturalists, IX(1–2), 255–299. (in Russian).
Совинский В. Очерк фауны пресноводных ракообразных из окрестностей г. Киева и северной части Киевской губернии. *Записки киевского общества естествоиспытателей*. 1888. Т. IX(1–2). С. 255–299.
- Shevtsova, L. V., & Huleikova, L. V. (2005). Long-term dynamics of the Desna River zooplankton. *Hidrobiolohichniy Zhurnal*. 41(2), 3–16. (in Russian).
Шевцова Л. В., Гулейкова Л. В. Многолетняя динамика зоопланктона р. Десны. *Гідробіологічний журнал*. 2005. Т. 41(2). С. 3–16.
- Sheliah-Sosonko, Yu. R. (1973). On the question of individual protection of plant species in Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, 30(2), 220–228. (in Ukrainian).
Шеляг-Сосонко Ю. Р. До питання про індивідуальну охорону видів рослин в Україні. *Український ботанічний журнал*. 1973. Т. 30(2). С. 220–228.

Received: 10.06.2024. **Accepted:** 17.07.2024. **Published:** 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Гапонова Л. Особливості видового різноманіття циклопідних копепод природно-заповідних об'єктів українського Полісся. *Biota. Human. Technology. 2024. №2. С. 49-55.*

Cite this article in APA style as:

Gaponova, L. (2024). Features of species diversity of cyclopoid copepods in nature reserves of Ukrainian Polesie. *Biota. Human. Technology, 2*, 49-55. (in Ukrainian)

Information about the author:

Gaponova L. [*in Ukrainian: Гапонова Л.*], Researcher, PhD in Biol. Sci., email: gaponova@ieenas.org
ORCID – 0000-0001-6535-318X Scopus-Author ID – 56351598500 Researcher ID – AAB-5269-2020
Institute for Evolutionary Ecology, National Academy of Sciences of Ukraine
37 Acad. Lebedeva Street, Kyiv, 03143, Ukraine



ENVIRONMENTAL POLLUTION STRESSES AND ORGANISMS' RESPONSE

**СТРЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ
ТА РЕАКЦІЯ ОРГАНІЗМІВ**



UDC 582.736.311:504.6

Тетяна Морозова

**ФЕНОТИПІЧНА ПЛАСТИЧНІСТЬ *TRIFOLIUM REPENS* L.
ЯК ІНФОРМАТИВНА ІНДИКАТОРНА ОЗНАКА ЕКОФІТОМОНІТОРИНГУ**

Tetiana Morozova

**PHENOTYPIC PLASTICITY *TRIFOLIUM REPENS* L.
AS AN INFORMATIVE INDICATOR SIGN OF ECOPHYTOMONITORING**

DOI: 10.58407/bht.2.24.5

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Порівняльний аналіз внутрішньо- і міжпопуляційної мінливості локальних популяцій *Trifolium repens* за малюнком «сивої» плями на листку рослин у різних екологічних умовах.

Методологія досліджень базувалася на камеральних та польових дослідженнях, матеріали зібрано із використанням геоботанічних методів. Аналіз генетичного поліморфізму та індивідуальної мінливості проводили за загальноприйнятими методиками.

Наукова новизна. Здійснено аналіз поліморфізму популяцій *T. repens* у різнофункціональних зонах урбоєкосистеми. Встановлено морфогенетичну однорідність, з переважанням фенотипів О, А та С у природних популяціях. Індукована середовищем фенотипічна пластичність може бути критичним компонентом реакції на зміну середовища. Механізм збереження поліморфізму в урбосередовищі обумовлений адаптивними ефектами наддомінування, коли в популяції зберігаються різні алелі завдяки балансуєчому добору, що сприяє гетерозиготності. Територіям із високим антропогенним навантаженням властива така різноманітність фенотипів: А^н та В^нС. У селитебних зонах переважає фенотип В^н, а в індустріальних – В^нС, що може слугувати індикаційною ознакою.

Виявлені відмінності в біомасі стебел та листків у різних екосистемах: агрокультурні та девастровані зони мають найбільшу біомасу, а лучна екосистема вирізняється найбільшими значеннями висоти квітконоса та черешка біомаси стебел та листків, але найменшою кількістю листків. Зменшення діаметра, маси суцвіття та кількості квіток в суцвітті є неспецифічною реакцією на антропогенний вплив, з максимальним відхиленням стійкості розвитку конюшини в зоні витоупування.

Висновки. Досліджено поліморфізм популяцій *T. repens* методом кількісного підрахунку неоднорідності популяцій за наявністю та різноманіттям «сивої» плями на листках. Проаналізовано форму малюнка, частоту появу фенотипів, відзначено наявність рослин з унікальними фенотипами (малюнок іншого кольору, листки з 4 і більше листочками). Встановлено відмінність за частотою трапляння генотипів у різнофункціональних зонах, відмічена залежність ступеня гетерогенності популяцій від віку та виду антропогенного навантаження. Виявлено 10 фенотипічних класів, мінімальна кількість різноманітних фенів склала – 4, що вказує на різний ступінь морфогенетичного поліморфізму.

Ключові слова: референтні види, поліморфізм популяцій, фенотип, «сіра пляма», генетичний поліморфізм, індекс частоти трапляння фенів, множинний алелізм

ABSTRACT

Purpose of the work. Comparative analysis of intra- and interpopulation variability of *Trifolium repens* L. by the pattern of a «grey» spot on the leaf of plants in different environmental conditions.

Methodology. The research was based on office and field research, the materials were collected using by means of geobotanic method. The analysis of genetic polymorphism and individual variability was carried out according by using generally accepted methodologies.

Scientific novelty. The analysis of polymorphism of *T. repens* populations was carried out in multifunctional zones of urban ecosystems. Morphogenetic homogeneity was established, with a predominance of phenotypes O, A and C in

natural populations. Environment-induced phenotypic plasticity may be a critical component of the response to environmental change. The mechanism of conservation of polymorphism in the urboenvironment is due to the adaptive effects of overdominance, when different alleles are preserved in the population due to balancing selection, which favors heterozygosity. Territories with high anthropogenic load are characterized by the following variety with phenotypes: A^H and B^HC. In residential zones, the B^H phenotype predominance in population, and in industrial zones – B^HC, which can serve as an indicator.

Differences in the biomass of stems and leaves in different ecosystems were found: agricultural and devastic zones have the highest biomass, and the meadow ecosystem is distinguished by the highest values of the height of the peduncle and petiole of the biomass of stems and leaves, but the smallest number of leaves. A decrease in the diameter, weight of the inflorescence and the number of flowers in the inflorescence is a non-specific reaction to anthropogenic influence, with the maximum deviation of the stability of clover development in the trampling zone.

Conclusions. The polymorphism of *T. repens* populations was investigated by the method of quantitative calculation of heterogeneity of populations by the presence and diversity of the "gray" spot on the leaves. The shape of the pattern shape and phenotype frequency of phenotypes were analyzed, the presence of plants with unique phenotypes (a pattern of a different color, leaves with 4 or more leaflets) was noted. A difference in the frequency of occurrence of genotypes in multifunctional zones has been established, the dependence of the degree of heterogeneity of populations on age was noted and the type of anthropogenic load. Ten phenotypic classes were identified, the minimum number of various phenophiles was 4, which indicates different degrees of morphogenetic polymorphism.

Key words: reference species, population polymorphism, phenotype, gray spot, genetic polymorphism, phenoid frequency index, multiple allelism

Постановка проблеми

Екофітомоніторинг зумовлює пошук референтних видів, які можуть служити індикаторами змін у довкіллі. Цікавими об'єктами можуть бути не лише рідкісні, але й поширені види. Континуальність, широка ценотична амплітуда, евритопність – ці поняття добре характеризують особливості синантропних видів. Ми спробували оцінити можливість використання *Trifolium repens*, як універсального біоіндикатора. Вибір об'єкта дослідження обумовлений тим, що *T. repens*, відповідає багатьом вимогам ідеального біоіндикатора. Це типовий представник флори оселищ, пов'язаних з людиною, характеризується високою чисельністю в екотопах, знаходиться на одній території протягом багатьох років і легко піддається збору, швидко змінює фенофази протягом вегетаційного сезону.

Вивченню природних популяцій *T. repens* присвячені дослідження J.L. Brewbaker, A. Cresswell, R.S. Hamilton, P.P. Валієва, Н.В. Глотова, Л.Н. Денисової, І.Е. Камчатової, М.Ю. Купріянової, С.Н. Левицького, В.І. Нахаєвої, Д.Б. Орлинського, Г.Г. Соколової, Н. Хох, Н.Н. Шаригіної, П.Я. Шварцмана та ін., в яких наводиться аналіз просторової, вікової структури популяцій, характеризується еколого-генетична та міжпопуляційна мінливість за ознакою «сивої» плями на листку, вказується на наявність залежності ступеня фенотипічної та генотипічної різноманітності популяцій *T. repens* за даною ознакою від рівня антропогенного навантаження.

T. repens – гетерозиготний алотетраплоїдний вид із високим ступенем ауткросингу (Tashiro et al., 2010), це багаторічна бобова рослина, росте в регіонах з помірним кліматом і має високий потенціал як декоративна рослина. Екологічна особливість виду – адаптація до абіотичних умов, в тому числі екстремальних, стійкість до механічних пошкоджень, зокрема, витоптування, що сприяє поширенню на порушених територіях, в рослинних угрупованнях під впливом інтенсивних антропогенних чинників. *T. repens* добре адаптується до антропогенного навантаження, характеризується широким діапазоном толерантності до ряду абіотичних чинників (Hirano, 2005; Helgadottir et al., 2007), однак не витримує конкуренції з іншими видами, в природних угрупованнях для неї більш уразливим є ценотичний стрес. На порушених ділянках конюшина представлена особинами насінневого походження генетами (вегетативно-рухома життєва форма); в непорушених ценозах – видовженими плагіотропними пагонами, що нарастають за рахунок верхівкової меристеми і активно утворюють пазушні бічні пагони. Листки трійчасті, на поверхні наявні білуваті смужки у вигляді ромбоподібного малюнка – «сиза пляма».

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводили в екотопічних елементарних популяціях, що представляють угруповання ценопопуляцій у подібних еколого-ценотичних умовах, враховуючи

морфометричні й кількісні показники індивідуальної мінливості *T. repens* та ландшафтно-функціональне зонування урбо-екосистеми (Руденко, 2008). На території кожної різнофункціональної зони (парки, пустища, двори, узбіччя автомагістралей, автозаправні станції, котельні, заводи, сміттєзвалища) обстежено 15 рендомізованих ділянок розміром 2x3 м з покриттям *T. repens* до 85-90 %. Природну популяція на луках за межами міста брали за контроль. Листки збирали у другій декаді червня (у період максимального розвитку вегетативної частини та масового цвітіння) так, щоб з однієї рослини брати лише один листок (на відстані п'яти кроків від місця попереднього збору). Ідентифікацію малюнка «сивої» плями здійснювали за методикою І.Т. Папонової та П.Я. Шварцмана з використанням таблиці Дж. Л. Брюейкера. Розраховували частоту трапляння фенів (%).

Для кількісної оцінки фенотипового різноманіття популяцій застосовували індекс Шеннона-Вінера (Shannon-Weiner index) – показник внутрішньопопуляційного різноманіття (μ) і частку рідкісних фенотипів (h), запропоновані Л. А. Животовським.

$$\mu = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)$$

S – кількість різних фенотипів у популяції,
 p_i – частка кожного фенотипу у популяції

Для розрахунку подібності між популяціями використовували індекс Жаккара, як співвідношення кількості спільних елементів до загальної кількості унікальних елементів у множинах:

$$J = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

$|A \cup B|$ – кількість унікальних генотипів, які зустрічаються в популяціях А або В (сума унікальних елементів обох множин)

$|A \cap B|$ – кількість елементів, які присутні як у множині А, так і в множині В (спільні елементи).

$$\begin{aligned} & \text{Критерій ідентичності} = \\ & = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{p_{i1} \cdot p_{i2}}}{\sum_{i=1}^n p_{i1} + \sum_{i=1}^n p_{i2} - \sum_{i=1}^n \sqrt{p_{i1} \cdot p_{i2}}} \end{aligned}$$

p_{i1} та p_{i2} – частоти генетичних варіантів у першій і другій популяціях.

Результати та їх обговорення

Екомоніторинг компонентів довкілля та екосистем можна здійснювати за допомогою фенотипових біоіндикаторів. Один із таких показників (фен) – це відтінок будь-якої ознаки, яка відображає генетичні особливості індивідів. Альтернативні зміни прояву морфологічних ознак біологічних об'єктів можуть кількісно оцінити гетерогенність популяцій, особливості організації та структури, рівень антропогенного впливу (Caradus et al., 1993; David et al., 2001; Welham et al., 2002). Ступінь реалізації фенотипового різноманіття слугує показником рівня сприятливості умов середовища (Sokolova, 2018). Під фенотипічною пластичністю розуміють здатність організму адаптуватися до змінних умов середовища. Поліморфізм популяцій характеризує внутрішньо- та міжвидову мінливість, може обумовлюватися природним добром або адаптивною перебудовою генетичної структури у відповідь на зміни чинників середовища. Внутрішньопопуляційний поліморфізм є одним із проявів генетичної гетерогенності, зумовленої безперервним мутаційним процесом та комбінаціями генетичного матеріалу (Крижановська та ін., 2021).

T. repens – багаторічна рослина з сильно розгалуженою стрижневою кореневою системою, зимуючою розеткою, укороченими основними надземними пагонами і бічними повзучими вкоріненими пагонами довжиною до 10-50 см. Листки з крупними прилистками, трійчастоскладні. *T. repens* росте на різноманітних ґрунтах з достатньою кількістю поживних речовин і води, але не переносить надлишку вологи, сухих і сильнокислих ґрунтів. Геліофіт, за сприятливих умов швидко розростається і утворює зімкнутий покрив, витісняючи з травостою злаки і різнотрав'я. Росте на луках, серед чагарників, на узліссях, на полях, на городах, дорогах.

T. repens характеризується вегетативно рухливою життєвою формою, представленою особинами насінневого походження (генетами) і нащадками вегетативного розмноження різного ступеня галуження. Генети зустрічаються на ділянках з порушеним рослинним покривом. Вегетативне розмноження сприяє утриманню і поширенню по всій території, а генеративне розмноження, завдяки потужному насінне-

вому банку, служить для захоплення нових територій при порушенні там рослинного покриву.

Оцінка генетичного поліморфізму. В природних популяціях *T. repens* існують особини з повністю зеленими листками і з «сивою» плямою, яка відрізняється за розміщенням, формою, інтенсивністю прояву та розміром. На її вираженість впливає вік, форма і відносний розмір листка. Наявність «сивої» плями на листках пов'язана з особливою групою палісадних клітин мезофілу (менш витягнуті, переважно неправильної форми), у яких менша кількість хлоропластів, або вони відсутні (Han, et al., 2022; Ma et al., 2020).

Однією з особливостей *T. repens* є поліморфізм на основі «сивої» плями. Наявність «сивої» плями пов'язана з порушенням нормального розвитку хлорофілу, алелі гена *V* сприяють зменшенню розмірів палісадних клітин і збільшенню простору між ними, більш ранній загибелі клітин. Спадковий характер зрушень доведено на генетичному рівні з використанням методів ПЛР. Алелі (домінантні/кодомінантні) часто мають нечіткий фенотиповий прояв, лише близько 10% рослин можна однозначно віднести до

того чи іншого генетичного типу, тому аналіз може бути проведений за допомогою частоти тих чи інших фенотипів. Ступінь реалізації генофонду виду може служити індикатором умов середовища.

Плямистість листка генетично детермінована, успадковується як моногенна ознака і визначається серією множинних алелей гена *V*, які по-різному взаємодіють за ступенем домінування. Алель *v* рецесивна по відношенню до *V*, *V^H*, *V^B*, *V^{Bh}*, *V^P*, *V^F*, *V^S*. Різні плями відповідають впливу відповідних алелей. Алель *V^B* домінує над *V^P*, тому малюнки у генотипів *V^BV^P* та *V^BV^B* однакові. Часто вони діють як неоморфи і в компаунді дають продукти обох алелей (Sokolova, 2018), тому у фенотипі з'являються плями обох домінуючих алелей, зокрема, генотип *V^Bv* має фенотип *B*, а *V^{Bh}v* – фенотип *B^H*, але в компаунді *V^{Bh}V^B* виявляється новий малюнок з фенотипом *B^H*. Для більшості комбінацій алелей притаманна сумісна дія з утворенням різноманітних варіантів. На досліджуваних ділянках зустрічаються 10 фенотипів (рис. 1), фенотипова різноманітність в природних умовах менша порівняно з антропогенними.

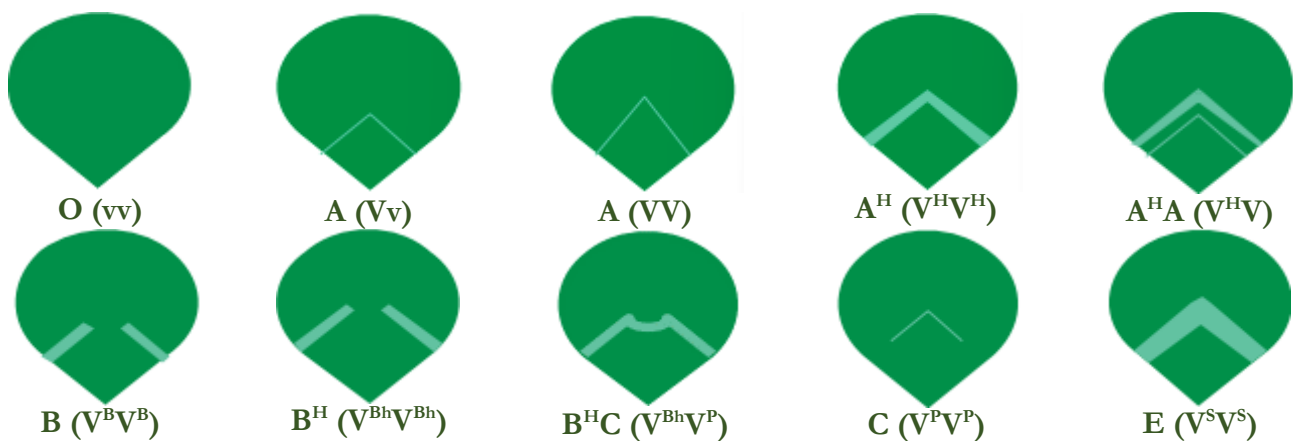


Рис. 1. Гомо- і гетерозиготи (компаунди) за алелями гена *V*

В досліджених популяціях нараховується від 4 до 10 фенотипів (рис. 2). Лише в індустріальних зонах зустрічається генотип *V^SV^S*. Алель *V^B* є одним з рідкісних, які зустрічаються з низькою частотою також до числа відносяться рослини з гомозиготним генотипом *V^BV^B* і гетерозиготи *V^{Bh}V^P*, у домінуючі алелі діють в компаунді, що проявляється в фенотипі плямами обох

алелів (подвійними плями). Показано суттєву відмінність за кількістю фенотипів у досліджених популяціях (табл. 1), що відображає різноманіття. Індекс подібності можна розглядати як частоту загальних фенотипів малюнка «сизих» плям у популяціях, оскільки подібність у них визначається тими фенотипами, які є спільними для всіх популяцій: *O*, *A*, *C*.

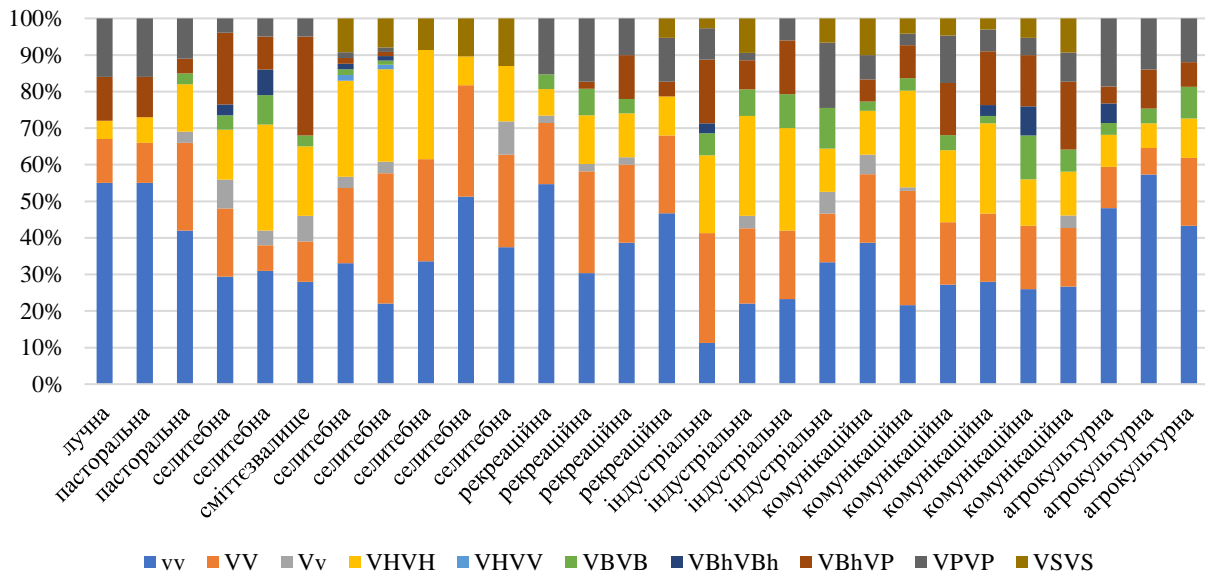


Рис. 2. Відсоток трапляння фенотипів *T. Repens* у різних ландшафтно-функціональних екотопах

Таблиця 1

Фенотипове різноманіття *T. repens*: показник внутрішньопопуляційного різноманіття (μ), частка рідкісних фенотипів (h)

Ландшафтно-функціональні екотопи	μ	h	Рідкісні фенотипи							Кількість фенотипів	
			VHVH	VHvV	VBVB	VBhVBh	VBhVP	VPVP	VSVS		
лучний	0,5317	0,17	VHVH	VBhVP							5
пасторальні	0,5272	0,18	VHVH	VBhVP							5
	0,7336	0,07			VHV	VBhVBh					7
селитебні	0,8114	0,0686				VBhVBh	VBVB				8
	0,7914	0,29			VBhVP	VBhVBh	VBVB	VPVP			8
	0,7696	0,0781			VBhVP	VHV	VBhVBh	VBVB	VPVP		10
	0,7362	0,0667			VBhVP	VHV	VBhVBh	VBVB	VPVP		10
	0,6778	0,0667			VBhVP	VHV	VBhVBh	VBVB	VPVP		10
	0,7127	0									
	0,6271	0									
0,7477	0										
смітгезвалище	0,7922	0,03					VBVB	VPVP			7
рекреаційні	0,6415	0,06					VBVB		Vv		6
	0,7642	0,06					VBVB		Vv		7
	0,7777	0,0398			VBhVP		VBhVBh	VBVB		Vv	7
	0,7062	0							Vv		6
індустріальні	0,809	0,087			VHV		VBVB		Vv	VSVS	8
	0,8125	0,207			VBhVP		VBVB	VPVP	Vv		8
	0,7989	0							Vv	VSVS	6
	0,8052	0,1256									7
комунікаційні	0,7793	0,026					VBVB				8
	0,7683	0,119					VBVB	VPVP	Vv	VSVS	8
	0,8343	0,267					VBVB	VPVP	Vv	VSVS	8
	0,818	0,088					VBVB			VSVS	7
	0,7986	0,05					VBVB			VSVS	8
	0,842	0,1					VBVB			VSVS	8
агрокультурні	0,7073	0,132			VBhVP		VBhVBh	VBVB			7
	0,6292	0,04					VBVB				6
	0,7400	0,154			VBhVP		VBVB				6

Порівняльний аналіз пасторальних популяцій показав достатню усталеність цих популяцій. *T. repens* серед рясної лучної

рослинності росте суцільним килимом і піддається частому витоптуванню. Тенденція розподілу частоти трапляння генотипів

зберігається. В інших популяціях *T. repens* росте скупченнями, відмічається збільшення генетичної різноманітності, якщо в лучних екосистемах виявлено 5, у пасовищних – 7 генотипів, то в селитебних (молоді популяції) – 10. Таке збільшення досягається за рахунок генотипів, що трапляються рідко: рослини з генотипом $V^H V$ трапляються з частотою $\approx 1\%$, генотипи $V^{Bh} V^{Bh}$, V^{PVP} та V^{BV^B} – з частотою – 2-2,5 %.

Відмічено, що ділянка з мінімальним антропогенним навантаженням (лучна екосистема) проявляє найменшу різноманітність фенотипів. Тут виявлено лише п'ять фенотипів, переважає O (без плями, vv) з частотою трапляння 55 % (рис. 1-3). На другому місці з частотою трапляння 16 % фенотип C (з плямою в центрі, V^{PVP}). Це найбільш поширені алелі, присутні в популяціях, пов'язаних спільним походженням, з яких алель v зустрічається по всьому ареалу. Варто відзначити, що в цій екосистемі не виявлено фенотипів A (повна пляма, VV), B (пляма з розривом, V^{BV^B}) та B^H (висока пляма з розривом, $V^{Bh} V^{Bh}$). У пасторальних екосистемах також переважає фенотип O з частотою трапляння 42 %, A – 24 % та A^H (повна висока пляма, $V^H V^H$) – 13 %. Селитебні зони відрізняються найбільшою різноманітністю фенотипів (9-10). Частота

трапляння фенотипу O коливається від 18,6 до 39,3 %, A – від 7 до 30 %, A^H – від 6 до 29 %. У рекреаційних зонах частота фенотипу O становить 30,6-54,7 %, A – 16,7-28 % та C – 10-17,4 %. Проте спостерігається зменшення різноманітності фенотипів (7), фенотипи A та B^H в цих зонах відсутні. У комунікаційних зонах виявлено 8 фенотипів, із переважанням фенотипів O (20,7-38,7 %), A (16-30 %), A^H (12-25,3 %) та $B^H C$ (6 – 18,6 %). Фенотип B^H також зустрічається в цих зонах. Схожа ситуація і в індустріальних зонах, де виявлено 6-8 фенотипів, але переважають фенотипи A (12-30 %), A^H (10,7-28 %) та $B^H C$ (8-17,4 %), а частота фенотипу O найнижча (11,3-30 %). Фенотип B^H зустрічається лише в Чернівцях. У агрокультурних зонах фенотип O має найвищу частоту – 43,3-57,3 %, фенотипи C (12-18,6 %) та A (7,3-18,6 %). Відсутні фенотипи A (генотип Vv), $A^H A$ та E . Практично для всіх популяцій відмічене переважання фенотипу O (vv), за винятком індустріальної зони – тут переважає A^H ($V^H V^H$). Рідше зустрічаються A (VV) – у селитебних, комунікаційних та рекреаційних зонах та C (V^{PVP}) – у агрокультурних, лучній та пасторальних зонах (рис. 3). Лише в житлових зонах виявлено фенотип E ($V^S V^S$) не притаманні природним популяціям.

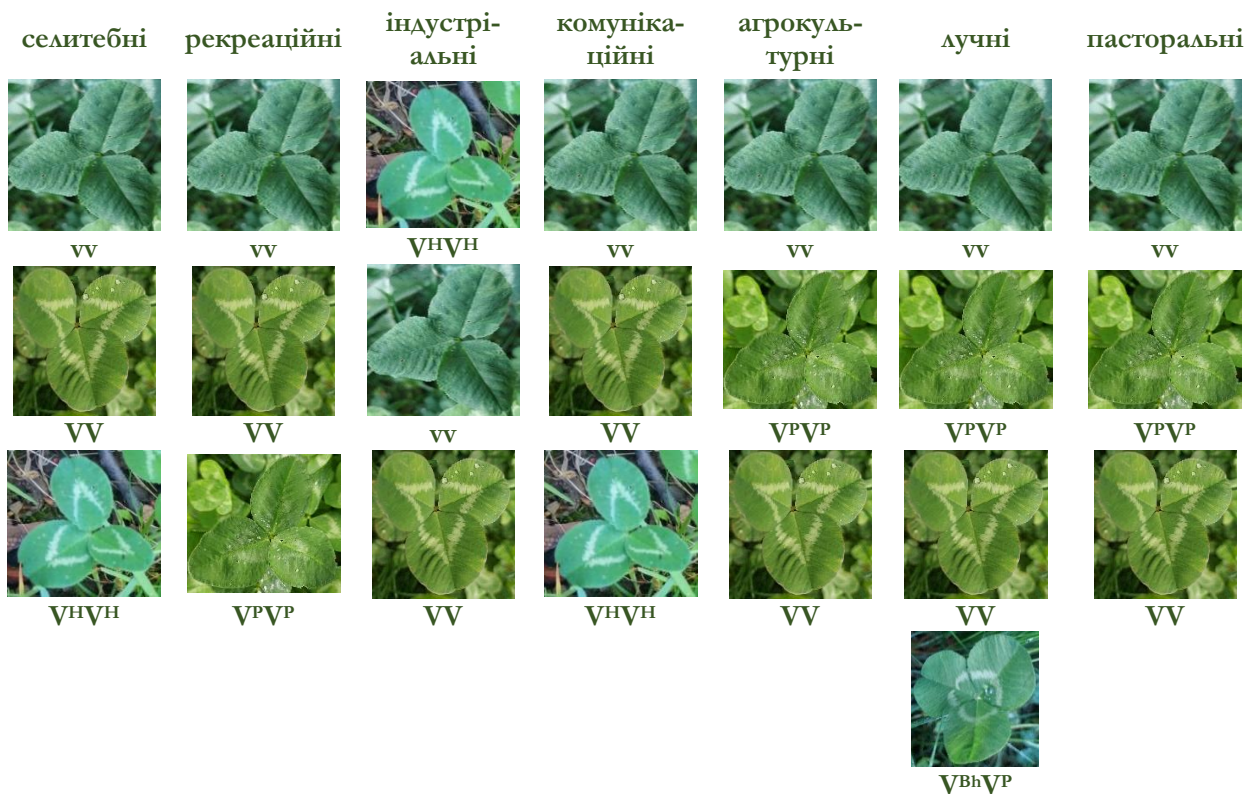


Рис. 3. Переважаючі фенотипи (перші три позиції)

Для оцінки стану компонентів довкілля використовували розрахунок індексу співвідношення фенотипів. Показано, що лише дві з досліджених ділянок мали низький рівень забруднення та характеризувалися як слабкозабруднені, що відноситься до популяцій луки та дендропарку. Найвищий рівень антропогенного навантаження – у індустріальних та комунікаційних зонах. Відомо, що ступінь гетерогенності пов'язана

з віком популяції. Усталені популяції (лучні, пасторальні) більш однорідні та стабільні, характеризуються більш-менш однорідним складом, рідкісні генотипи $V^H V^H$ та $V^B V^B$ трапляються переважно по периферії популяції. Молоді популяції – більш гетерогенні, однак крім віку має значення також антропогенне навантаження (рис. 4).



Рис. 4. Генотипи елементарних популяцій *T. repens* у різних ландшафтно-функціональних екоотопах та рівень забруднення довкілля, розрахований за індексом співвідношення фенотипів у популяціях

У багатовидових угрупованнях конюшина може пригнічуватися іншими видами, що призводить до виникнення своєрідної рівноваги: абіотичні умови кращі, але ценотичний стрес більш виражений. У забруднених районах конкуренція практично відсутня. Це призводить до того, що немає потреби змінювати вектор відбору. У екологічно напружених районах за впливу антропогенних чинників природний добір і мутаційний процес призводять до розширення наборів фенотипів, збільшення частоти їх виникнення та появи специфічних. Механізм збереження поліморфізму може обумовлюватися адаптивними ефектами надмірного домінування, коли в популяції зберігаються різні алелі завдяки балансуєчому добору, що надає перевагу гетерозиготним особинам. Згідно з теорією нейтралітету, більшість поліморфних молекулярних варіантів спочатку піддаються впливу мутацій, а потім генетичного дрейфу, що призводить до фіксації цих варіантів. В природних популяціях *T. repens* спостерігається мотивуючий відбір, спрямований на збільшення частоти трапляння певних генотипів. Це може бути зумовлене відхиленням від норми екологічних чинників, таких як режим освітлення, відкритість простору, вологість та температура повітря (IPCC, 2014). Тому *T. repens* можна використовувати як фенотиповий біоіндикатор для оцінки стану компонентів довкілля та рівня антропогенного впливу. (Nicotra et al., 2010). Фенотипова пластичність дозволяє забезпечити генетичну гнучкість популяцій та адаптацію у змінних умовах середовища (Nicotra et al., 2010; 2015; Cooper et al., 2019; Kelly et al., 2019; Kooke et al., 2015).

Фенотипове різноманіття походить від генетичної та епігенетичної варіації. Генетична варіація виникає внаслідок алельних різноманітностей у послідовності ДНК (Medrano et al., 2014), тоді як епігенетична варіація – це фенотипові зміни, не пов'язані зі зміною послідовності ДНК (Richards, 2006; Medrano et al., 2014). Метилування ДНК цитозину, як один із найбільш вивчених епігенетичних механізмів, може модулюватися за впливу стресових умов (Verhoeven et al., 2010; 2016) і впливати на екологічно важливі фенотипові ознаки (Cubas et al., 1999; Marfil et al., 2009; 2012; Zhan et al., 2013; Cortijo et al., 2014). Епігенетичне різно-

маніття в природних популяціях може впливати на різноманітність умов середовища (Lira-Madeiros et al. 2010; Herrera and Bazaga 2011; Dubin et al. 2015; Richards et al. 2017), а фенотипова варіація, спричинена епігенетичними змінами, може служити швидким механізмом адаптації до змін у середовищі (Gao et al. 2010; Nicotra et al. 2015). У вищих рослин поки мало досліджень епігенетичних змін та фенотипічної пластичності, спричинених середовищем, особливо в природних умовах.

В літературі наявні дані щодо позитивного кореляційного зв'язку між генотипами vv, VV, V^{HV^H} та вмістом Zn у ґрунтах, генотипами VV, Vv, V^{HV^H} та вмістом Fe, генотипами V^{HV^H}, V^{BhV^P} та вмістом Cu (Antosiewicz, 2000). Однак, автор наголошує, що для валідації кореляції необхідно збільшити вибірку.

Індивідуальна мінливість T. repens. Різноманітність підходів до вивчення внутрішньовидової мінливості трав'янистих рослин стимулює особливий інтерес до аналізу морфометричних ознак, що є ключовим адаптаційним механізмом рослинних організмів. Під час досліджень фенотипічної мінливості рослин в межах ареалу дослідники виявили, що крайові популяції часто відрізняються від центральних (Ibañez et al., 2021) Вони мають підвищений поліморфізм, зменшення розмірів та кількісних характеристик, а також зміни в зв'язках між ними та розмаху мінливості органів у вегетативній та генеративній сферах.

У *селитебних* екотопах середня довжина квітконосів становить 11,84 см (рис. 5), коливаючись від 10,46 до 13,20 см, у *рекреаційних* – спостерігається трохи більша довжина квітконоса, із середнім значенням 14,34 см (з варіативним діапазоном від 11,48 до 15,94 см). В *індустріальних* – середнє значення складає 12,57 см, і варіює від 10,84 см (біля хімічного заводу) до 15,61 см (меблевий комбінат). В *комунікаційних* екотопах середнє значення становить 11,25 см (мінімум 9,15 см, максимум 13,87 см). Найвищий середній показник для висоти квітконоса зафіксовано в агрокультурних екотопах (15,18 см), при коливанні від 13,08 см до 16,41 см. Варто відзначити, що максимальне значення цього показника (17,2 см) виявлено у рослин, що ростуть у

девастрованих зонах, зокрема поблизу сміттєзвалищ.

Довжина черешка листка коливалася від 7,71 см (індустріальна зона) до 12,25 см (агрокультурна), у селитебних – 9,1 см (при діапазоні 6,24-10,26 см), у рекреаційних зонах відзначається трохи більша довжина черешка – середнє значення 11,0 см (із варіацією – від 9,28 до 13,75 см). В індустріальних екоотопах середнє значення складає 7,71 см (найменше серед зафіксованих значень), з варіацією від 6,14 см (біля

хімічного заводу), до 9,02 см (меблевий комбінат). У комунікаційних зонах середнє значення досліджуваного показника становить 9,04 см (мінімум 7,88 см, максимум 10,12 см). Найбільше середнє значення довжини черешка листка відмічене у рослин, що зростаються в агрокультурних зонах і становить 12,25 см, з варіацією від 10,52 см до 14,02 см. Максимальне значення цього показника (13,24 см) зафіксовано у рослин, що ростуть у девастрованих зонах.

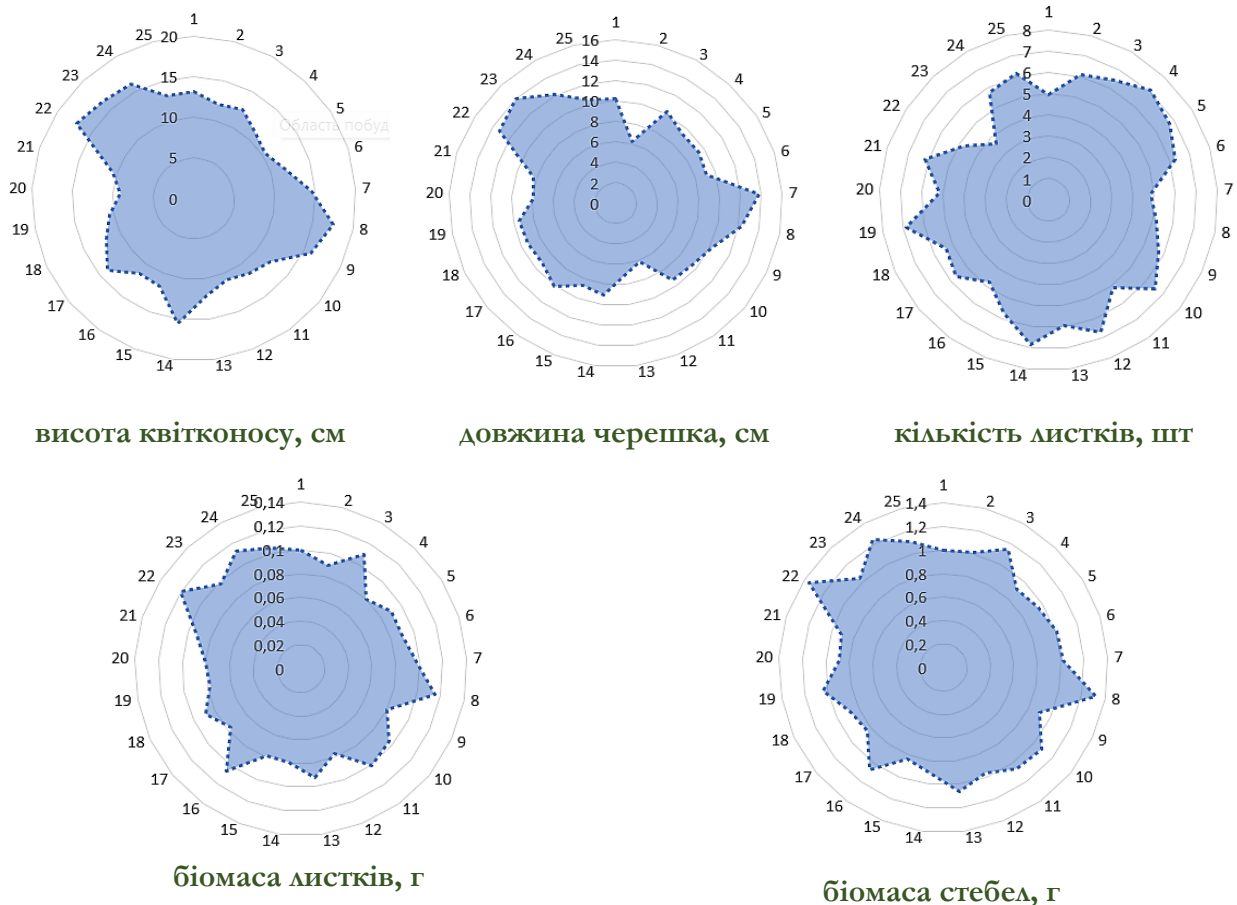


Рис. 5. Дендрограми індивідуальної мінливості *T. repens* з урахуванням ландшафтно-функціонального зонування

Ознаки *T. repens* в межах норми для виду, але порівняно з даними з різних частин оселища, отримані значення суттєво знижені до найнижчого рівня мінливості. Крім морфометричних параметрів, також аналізувалася кількість листків на одній рослині. Середнє значення серединної формації на одній рослині становило 5-6 штук.

Мінімальна середня біомаса листка (0,08 г) та стебла (0,884 г) спостерігалася в комунікаційних зонах.

З метою узагальнення придатності даного виду для біоіндикації проведений аналіз вегетативних та генеративних структур *T. repens* на ділянках з різними видами антропогенного навантаження. Аналіз

вегетативних та генеративних структур в різних зонах антропогенного впливу вказує на зміни в параметрах витривалості рослин. В зонах з автотранспортним навантаженням та в зонах інтенсивного вищипування спостерігається зниження середньої маси листків та пагонів, площі листової пластинки, а також довжини черешка листка і квітконоса. Скошування на розділових смугах автодоріг призводить до зниження біомаси та площі листка, а також довжини черешка листка і квітконоса. Ці зміни, ймовірно, пов'язані не з забрудненням ґрунту та атмосфери, а з частішим скошуванням.

Кількість листків на пагонах в зонах вищипування та автотранспортного навантаження не суттєво відрізняється одна від одної, але значно більша, ніж на контрольній території. Це пов'язано з укороченням міжвузлів та зближенням бічних структур пагонів за умов погіршення середовища існування. Аналогічна залежність спостерігається щодо кількості квітконосів на пагонах. Кількість бічних пагонів суттєво більша на ділянках з автотранспортним навантаженням, а в інших зонах значних відмінностей не спостерігається. Порушення в стабільності розвитку, оцінені змінами в індексі флуктуючої асиметрії, виявлені в популяціях *T. repens*, які піддаються інтенсивному вищипуванню, де індекс значно вищий, ніж на контрольній території. Таким чином, збільшення індексу флуктуючої асиметрії, ймовірно, можна вважати специфічним індикатором вищипування.

За впливу антропогенних чинників у популяціях збільшується частота появи специфічних фенотипів у різних видів рослин та тварин. Зокрема, форма «сивого» малюнка на листках *T. repens* та частота його трапляння може використовуватися як індикатор забруднення середовища. Ймовірно, дана ознака чутлива до забруднення, пов'язаного з вихлопними газами автомобільного

транспорту. Однак не варто виключати можливий внесок у високий рівень цього показника чинника інтенсивного механічного пошкодження – подвійного скошування на цих територіях, на відміну від одноразового на контрольній території.

Висновки

Механізм збереження поліморфізму в урбосередовищі обумовлений адаптивними ефектами наддомінування, коли в популяції зберігаються різні алелі за рахунок балансуєчого добору, що дає перевагу гетерозиготним особинам. У природних умовах популяції *T. repens* проявляють більшу морфогенетичну однорідність, виявлено переважання фенотипів O, A та C. У природних популяціях реалізується русійський відбір, спрямований на збільшення частоти трапляння окремих генотипів. Територіям із високим антропогенним навантаженням властива така різноманітність фенотипів: O, A, A^H та B^HC. У селитебних зонах переважає фенотип B^H, а в індустріальних – B^HC, що може слугувати індикаційною ознакою.

Найбільшою висотою квітконоса та довжиною черешка характеризуються *T. repens*, що зростають в агрокультурних та девастованих зонах, найбільша кількість листків спостерігається в індустріальній та селитебній зонах; агрокультурна, девастована та рекреаційна зони характеризуються найбільшою біомасою стебел та листків; лучна екосистема – найбільшими значеннями висоти квітконоса, черешка біомаси стебел та листків, проте найменшою кількістю листків. Зменшення діаметра, маси суцвіття і кількості квіток в суцвітті є неспецифічною реакцією на антропогенне навантаження. Максимальне відхилення стійкості розвитку конюшини спостерігається в зоні вищипування.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Antosiewicz, D. M. (2000). Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals. *Biol. Plant.*, 6(2), 599-601. <https://doi.org/10.5586/asbp.1992.026>
- Caradus, J. R., Hay, M. J., Mackay, A. D., et al. (1993). Variation within white clover (*Trifolium repens* L.) for phenotypic plasticity of morphological and yield related characters, induced by phosphorus supply. *New Phytologist*, 123(1), 175-184. <https://www.jstor.org/stable/2557783>
- Cooper, H. F., Grady, K. C., Cowan, J. A. et al. (2019). Genotypic variation in phenological plasticity: Reciprocal common gardens reveal adaptive responses to warmer springs but not to fall frost. *Glob. Change Biol.*, 25(1), 187-200. <https://doi.org/10.1111/gcb.14494>
- Cortijo, S., Wardenaar, R., Colomé-Tatché, M., et al. (2014). Mapping the epigenetic basis of complex traits. *Science*, 343(6175), 1145-8. <https://doi.org/10.1126/science.1248127>
- Cubas, P., Vincent, C., & Coen, E. (1999). An epigenetic mutation responsible for natural variation in floral symmetry. *Nature*, 401(6749), 157-61. <https://doi.org/10.1038/43657>
- David, L., Matt, G., & Sanderson, A. (2001). Molecular Analysis of White Clover Population Structure in Grazed Swards during Two Growing Seasons. *Crop Science*, 41(4), 1143-1149. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4141143x>
- Dubin, M. J., Zhang, P., Meng, D. et al. (2015). DNA methylation in *Arabidopsis* has a genetic basis and shows evidence of local adaptation. *Elife*, 4:e05255. <https://doi.org/10.7554/eLife.05255>
- Gao, L., Geng, Y., Li, B., Chen, J., & Yang, J. (2010). Genome-wide DNA methylation alterations of *Alternanthera philoxeroides* in natural and manipulated habitats: Implications for epigenetic regulation of rapid responses to environmental fluctuation and phenotypic variation. *Plant Cell Environ.*, 33(11), 1820-1827. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02186>
- Han, S. S., Sun, H. J., Eun, C. H. et al. (2022). Morphological classification and molecular marker development of white clover (*Trifolium repens* L.) parents and hybrids. *Plant Biotechnol. Rep.*, 16, 721-728. <https://doi.org/10.1007/s11816-022-00803-8>
- Helgadottir, A., Dalmannsdottir, S., & Collins, R. P. (2001). Adaptational Changes in White Clover Populations Selected Under Marginal Conditions. *Annals of Botany*, 88 (Special Issue), 771-780. https://doi.org/10.1093/annbot/88.suppl_1.771
- Herrera, C. M., & Bazaga, P. (2011). Untangling individual variation in natural populations: ecological, genetic and epigenetic correlates of long-term inequality in herbivory. *Mol. Ecol.*, 20(8), 1675-88. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05026.x>
- Hirano, R. (2005). Ecogeographic and genetic survey of white clover (*Trifolium repens* L.) on St. Kilda. School of Biosciences University of Birmingham. Birmingham, UK 9. 26-78.
- Ibañez, V. N., Masuelli, R. W., & Marfil, C. F. (2021). Environmentally induced phenotypic plasticity and DNA methylation changes in a wild potato growing in two contrasting Andean experimental gardens. *Heredity*, 126, 50-62. <https://doi.org/10.1038/s41437-020-00355-z>
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, In: Core Writing Team, R.K. Pachauri, L.A. Meyer (eds). IPCC, Geneva, Switzerland.
- Kelly, M., (2019). Adaptation to climate change through genetic accommodation and assimilation of plastic phenotypes. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 8, 374(1768), 20180176. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0176>

- Kooke, R. F., Wardenaar, R., Becker, F., et al. (2015). Epigenetic basis of morphological variation and phenotypic plasticity in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell*, 27(2), 337-48. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.133025>
- Kryzhanovska, M. M., Golub, N. Ya., Prokopiak, M. Z., & Goliney, G. M. (2021). Study of intrapopulation polymorphism of *Trifolium repens* L. Lanivtsi city under conditions of anthropogenic load of different intensity. *Factors of experimental evolution of organisms*, 29, 185-190. <https://doi.org/10.7124/FEE0.v29.1429> (in Ukrainian)
Крижановська М. М., Голуб Н. Я., Прокоп'як М. З., Голіней Г. М. Вивчення внутрішньопопуляційного поліморфізму *Trifolium repens* L. м. Ланівці в умовах антропогенного навантаження різної інтенсивності. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2021. Т. 29. С. 185-190. DOI: <https://doi.org/10.7124/FEE0.v29.1429>
- Lira-Madeiros, C. F., Parisod, C., Fernandes, R. A. et al. (2010). Epigenetic variation in mangrove plants occurring in contrasting natural environment. *PLoS ONE*, 5(4), e10326 1-8. <https://doi.org/10.1371>
- Ma, S., Han, C., Zhou, J. et.al. (2020). Fingerprint identification of white clover cultivars based on SSR molecular markers *Molecular Biology Reports*, 47(11), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05893-7>
- Marfil, C. F., Asurmendi, S., & Masuelli, R.W. (2012). Changes in micro RNA expression in a wild tuber-bearing *Solanum* species induced by 5-Azacytidine treatment. *Plant Cell. Rep.*, 31(8), 1449-61. <https://doi.org/10.1007/s00299-012-1260-x>
- Marfil, C. F., Camadro, E. L., & Masuelli, R. W. (2009). Phenotypic instability and epigenetic variability in a diploid potato of hybrid origin, *Solanum ruiz-lealii*. *BMC Plant Biol.*, 9(21), 1-16. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-21>
- Medrano, M., Herrera, C. M., & Bazaga, P. (2014). Epigenetic variation predicts regional and local intraspecific functional diversity in a perennial herb. *Mol. Ecol.*, 23(20),4926-38. <https://doi.org/10.1111/mec.12911>
- Morozova, T. V. (2020). Aspects of environmental monitoring. Kyiv (in Ukrainian)
Морозова Т. В. Аспекти екологічного моніторингу. Київ, 2020. 380 с.
- Nicotra, A. B, Atkin, O. K, Bonser, S. P. et al. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends plant Sci.*, 15(12), 684-92. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.008>
- Nicotra, A. B., Segal, D. L., Hoyle, G. L. et al. (2015). Adaptive plasticity and epigenetic variation in response to warming in an Alpine plant. *Ecol. Evolution.*, 5(3), 634-47. <https://doi.org/10.1002/ece3.1329>
- Richards, C. L., Alonso, C., Becker, C. et al. (2017). Ecological plant epigenetics: Evidence from model and non-model species, and the way forward. *Ecol. Lett.*, 20(12), 1576-1590. <https://doi.org/10.1111/ele.12858>
- Richards, E. J. (2006). Inherited epigenetic variation revisiting soft inheritance. *Nat. Rev. Genet.*, 7(5), 395-401. <https://doi.org/10.1038/nrg1834>
- Sokolova, G. G., & Borodulina, I. D. (2018). Polymorphism in populations of white clover *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4), 375-378. <http://surl.li/svfay>

Tashiro, R. M., Han, Y., Monteros, M. J., Bouton, J. H., & Parrott, W. A. (2010). Leaf Trait Coloration in White Clover and Molecular Mapping of the Red Midrib and Leaflet Number Traits. *Grup. Science*, 50(4), 1260-1268. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.08.0457>

Verhoeven, K. J. F., Jansen, J. J., van Dijk, P. J., & Biere, A. (2010). Stress-induced DNA methylation changes and their heritability in asexual dandelions. *N. Phytologist*, 185(4), 1108-18. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03121.x>

Verhoeven, K. J. F., Von Holdt, B. M., & Sork, V. L. (2016). Epigenetics in ecology and evolution: what we know and what we need to know. *Mol. Ecol.*, 25(8), 1631-8. <https://doi.org/10.1111/mec.13617>

Welham, C., Turkington, R., & Sayre, C. (2002). Morphological plasticity of white clover Ancestors of white clover (*Trifolium repens* L.) in response to spatial and temporal resource heterogeneity. *Oecologia*, 130(2), 231-238. <https://doi.org/10.1007/s004420100791>

Zhang, Y. Y., Fischer, M., Colot, V., & Bossdorf, O. (2013). Epigenetic variation creates potential for evolution of plant phenotypic plasticity. *N. Phytologist*, 197(1), 314-322. <https://doi.org/10.1111/nph.12010>

Received: 24.04.2024. **Accepted:** 30.05.2024. **Published:** 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Морозова Т. Фенотипічна пластичність *Trifolium repens* L. як інформативна індикаторна ознака екофітомоніторингу. *Biota. Human. Technology*. 2024. №2. С. 57-69.

Cite this article in APA style as:

Morozova, T. (2024). Phenotypic plasticity *Trifolium repens* L. as an informative indicator sign of ecophytomonitoring. *Biota. Human. Technology*, 2, 57-69. (in Ukrainian)

Information about the author:

Morozova T. [in Ukrainian: Морозова Т.], Ph.D. in Biol. Sci., Assoc. Prof., email: tetiana.morozova@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4836-1035 Scopus-Author ID: 57219053455
Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, National Transport University
1 Mykhaylo Omelyanovycha-Pavlenko Street, Kyiv, 02000, Ukraine

UDC 504.7:551.588.7(477)

Nataliia Dushechkina, Vira Moroz, Volodymyr Yanitskyi
**ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF CLIMATE CHANGE:
GLOBAL CHALLENGES AND REGIONAL RESPONSES**



Наталія Душечкіна, Віра Мороз, Володимир Яніцький
**ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ЗМІНИ КЛІМАТУ:
ГЛОБАЛЬНІ ВИКЛИКИ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ВІДПОВІДІ**

DOI: 10.58407/bht.2.24.6

ABSTRACT

The issue of environmental problems is particularly important today. The relevance is determined by the fact that global challenges arise every day, and global warming causes serious climate change and threatens the disappearance of the ecosystem.

The purpose of the article is to analyze current trends and consequences of global and regional climate change.

Methodology. A set of general scientific methods (analytical and synthetic hermeneutic, pragmatic, and generalization techniques) was employed to achieve the research goal and ensure the scientific reliability of the results.

Scientific novelty. The study reveals the main problems of nature management and changes in nature caused by anthropogenic activities. The importance of the population's counteraction to negative impacts on the planet's ecosystem is emphasized. The study examines the main causes of climate change and substantiates the global risks associated with this phenomenon. The impact of climate change on the economic sector is analyzed. Special attention is paid to the terms "climate crisis" and "global climate change". It is found that modern environmental problems include an increase in the number of wars, ocean pollution, global warming, resource shortages, and others. Each of these problems poses a serious threat to the development of any state. It is proved that in the context of political instability, Ukraine does not have the full potential to implement scientifically based balanced measures. The absence of an effective state policy on sustainable environmental management poses a threat to the economy and environment of Ukraine. It is necessary to find ways to solve the identified problems and consider promising areas for improving the factors that affect the environment and the environmental situation in general. Improving the environmental situation will allow Ukraine to rise to a new level in the global ranking.

The conclusions state that climate change threatens not only the economic and environmental security of the state, but also national security in general.

Key words: impact on ecosystems, emission reduction, resource conservation, green energy, alternative energy sources, habitat loss, climate change policy, health risks, socio-economic impacts

АНОТАЦІЯ

Питання екологічних проблем сьогодні є особливо важливим. Актуальність визначається тим, що глобальні виклики постають щодня, а глобальне потепління спричиняє серйозні кліматичні зміни та загрожує зникненням екосистеми.

Метою статті є аналіз сучасних тенденцій та потенційних наслідків глобальної та регіональної зміни клімату шляхом вивчення змін температури в різних регіонах України, оцінки адаптаційних заходів, розроблених в Україні, та надання методичних рекомендацій.

Методологія. Для досягнення поставленої мети дослідження та забезпечення наукової достовірності результатів застосовано набір загальнонаукових методів (аналітичних і синтетичних герменевтичних, прагматичних і узагальнюючих прийомів).

Наукова новизна. У дослідженні розкрито основні проблеми природокористування та зміни у природі, викликані антропогенною діяльністю. Підкреслено важливість у протидії населення щодо негативним впливам на екосистему планети. У дослідженні розглянуто основні причини зміни клімату та обґрунтовано глобальні ризики, пов'язані з цим явищем. Проаналізовано вплив кліматичних змін на економічний сектор. Особливу увагу приділено термінам «кліматична криза» та «глобальна зміна клімату». Виявлено, що сучасні екологічні проблеми включають зростання кількості воєн, забруднення океанів, глобальне потепління, нестача ресурсів та інші. Кожна із цих проблем становить серйозну загрозу для розвитку будь-якої держави.

Доведено, що за умов політичної нестабільності Україна не має повного потенціалу для впровадження науково обґрунтованих збалансованих заходів. Відсутність ефективної державної політики щодо збалансованого природокористування становить загрозу економіці та довкіллю України. Необхідно знайти шляхи розв'язання виділених проблем та розглянути перспективні напрями покращення чинників, які впливають на навколишнє середовище і екологічну ситуацію загалом. Покращення екологічної ситуації дозволить Україні піднятися на новий рівень у світовому рейтингу.

У висновках зазначено, що зміни клімату загрожує не лише економічній та екологічній безпеці держави, а й національній безпеці в цілому.

Ключові слова: вплив на екосистеми, зменшення викидів, консервація ресурсів, зелена енергетика, альтернативні джерела енергії, втрата середовищ існування, політика кліматичних змін, ризики для здоров'я, соціально-економічні впливи

Introduction

Global climate change is one of the most serious environmental challenges facing humanity. The International Center for Climate Research estimates that temperatures will rise by 2-5 degrees Celsius over the next 100 years. This rate of global warming will cause significant climate change and threaten the extinction of various ecosystems. Serious climate change is already happening today. Citizens of all countries must acknowledge that humanity has no right to use the earth's atmosphere for pollution. Without immediate action, stopping global climate change will become impossible, and future generations will face life-threatening conditions on Earth.

Climate change has emerged as a critical global challenge and a top priority on the international agenda in the 21st century. From a scientific perspective, this issue is interdisciplinary and complex, encompassing key environmental, economic and social aspects of sustainable development. Timely and preventive adaptation measures can yield substantial benefits by reducing the risks and potential damages associated with weather and climate-related impacts, including climate change. Ukraine is already facing challenges in adapting to the current climate and needs to enhance its capacity to adapt to future climate conditions.

Many domestic researchers have studied the environmental consequences of climate change. In particular, Tolkachova and Kononenko (2021) argue that each state faces issues related to ensuring environmental human rights. They note that inefficient use of natural resources and the widespread use of environmentally harmful and defective technologies, substances, and materials cause significant anthropogenic disturbances and technological overload on the planet.

Basok et al. (2021) examine the adaptation of the population to climate change and clearly describe the factors of global warming. Drakohrust (2022) explores the deep inequalities in our world by analyzing one of the most devastating consequences of climate change for people - forced migration. Climate change is the defining crisis of our time, and its effects disproportionately affect vulnerable groups in society, including those fleeing war and persecution.

Drakohrust and Martsenko (2022) discuss the need to understand the impact of climate change on migration processes, emphasizing the timely management of migration caused by climate change. They analyze the factors causing climate change, including solar flares, storms, solar winds, and the eccentricity of the Earth's orbit (natural factors), as well as environmental pollution and global warming caused by greenhouse gases (anthropogenic factors), which leads to melting glaciers, rising sea levels, and changes in animal populations and habitats.

Osadchii (2021) examines Ukraine's climate program as the foundation for a comprehensive national environmental policy on climate change. He also analyzes the main causes and consequences of global warming, highlighting its negative impacts, particularly on the fisheries sector.

Sarvas et al. (2023) analyze the socio-economic impacts of global climate change on our lives and the global economy. Their study demonstrates that global climate change will have significant social and economic consequences.

Tanasienko et al. (2019) consider global environmental issues within the national security system, classifying and analyzing the main problems. They argue that the irrational use of natural resources leads to the depletion of mineral resources and could cause a crisis in the near future. Hazardous production proces-

ses pollutes the environment and the authors identify key areas that need to be managed to protect and restore resources.

Karabinyuk and Markanych (2020) determined that the current trend in climatic conditions in Montenegro shows an increase (by 5-10 %) in average monthly temperature, maximum temperature, minimum temperature, precipitation, wind speed, and other climatic indicators. Tsitsyura (2017) presents the results of an analysis of changes in climatic parameters in Ukraine overall and specifically in the Right-Bank Forest-Steppe region. The analysis focuses on indicators such as average daily temperature, precipitation, and thermo-haline coefficient. The author concludes about the projected development of climatic phenomena in the study area and their impact on the efficiency of agriculture and crop production. Shevchenko (2023) examines the conceptual elements of climate communication and determines that climate communication highlighting that it is a crucial component of climate policy implementation. This involves raising public awareness at all levels about global climate change and climate policy, as well as adaptation and mitigation measures, in the current context of global climate change.

The purpose of this study is to analyze current trends and consequences of global and regional climate change.

Materials and methods

Due to the complex and multidimensional nature of the research topic, a set of general scientific methods was employed to achieve the research goal and ensure the scientific reliability of the results. These methods include analytical and synthetic hermeneutic, pragmatic, and generalization techniques. The application of the analytical and synthetic methods allowed us to determine the current state of the ecological system in Ukraine. The use of the hermeneutic method enabled an analysis of the negative impact of environmental challenges affecting climate change, particular global warming. Conclusions, recommendations and suggestions are based on practical generalization.

Results and discussion

Climate change is driven by disturbances in the energy balance of the biosphere and its components, notably natural ecosystems, under the significant influence of anthropogenic

factors. Ecosystems function to bind energy and maintain structural organization, but imbalance occurs when there is a significant gradient in the energy reserves of biosphere components.

Today's global warming is progressing 10 times faster than historical natural phenomena. Scientists increasingly refer to the situation as a «climate crisis» to emphasize its severity and the urgent need for action. The climate crisis, characterized by rising global average temperatures, necessitates achieving carbon neutrality and adapting to climate change by 2050 (Sarvas et al., 2023).

Global climate change presents one of humanity's most pressing challenges. Increased seasonal pollution is expected to lead to more allergies and asthma. Climate change will impact crop yield, leading to food shortages, and disrupt precipitation patterns, increasing the frequency and intensity of extreme weather events (Sarvas et al., 2023).

The natural ecosystem's inability to stabilize leads to external factors displacing horizontal and vertical energy, causing storms, cyclones, increased average annual temperatures, and other catastrophic events. When the system's internal organization cannot withstand external influences, it collapses. The World Economic Forum's Global Risks Report highlights the negative impacts on human mortality, ecosystem stress, food and water crises, climate-induced migration, geopolitical tensions, economic losses, capital market risks, and trade disruptions.

Rychak and Kizilova (2021) emphasize the impact of global climate change on air, water, and soil pollution, increased surface water salinity, industrial and drinking water quality, and the frequency of catastrophic events such as heavy rains, floods, snowfalls, tornadoes, large fires, and deadly heat waves. These issues adversely affect everyone.

Climate change is accelerating faster than previously predicted, manifesting in rising global temperatures, more frequent natural disasters, and accelerated polar ice melting (Osadchii, 2021). Agriculture, closely linked to climate change, contributes to global warming by releasing carbon dioxide during land cultivation. Extreme temperatures, droughts, and irregular seasonal weather significantly impact food production and consumption, reducing nutritional value and food safety.

Heat and humidity exacerbate agricultural challenges by increasing pest activity and the spread of fungal diseases, releasing dangerous toxins. As agriculture accounts for 10% of GDP, improving agricultural production models and management practices to address climate change into account.

The primary causes of climate change include:

1. The Greenhouse effect: this natural process, which keeps Earth’s average temperature at +15°C instead of -18°C, has intensified due to increased greenhouse gas concentrations from burning fossil fuels since the Industrial Revolution.

2. Greenhouse gas emissions: Fossil fuel combustion releases carbon dioxide, increasing atmospheric CO₂ concentrations from 280 ppm to over 400 ppm in 150 years (Tanasienko et al., 2019).

Human activities, such as fossil fuel use and inefficient energy consumption, exacerbate the greenhouse effect. Excessive greenhouse gases from power plants, transportation, agriculture, industry, and forest fires trap solar heat in the lower atmosphere.

Russia's invasion of Ukraine has exacerbated the climate crisis by releasing significant amounts of CO₂ and other greenhouse gases. The Ministry of Ecology and international experts estimate at least 33 million tons of CO₂-equivalents have been emitted due to the war, with potential indirect emissions from post-war recovery estimated at 48.7 million tons of CO₂-equivalents (Shevchenko, 2023).

In 2019, the European Commission introduced the “European Economic Direction with Environmental Risks” to address environmental risks in the European economy (Table 1).

Table 1

**Risks of climate change on the ecosystem of Ukraine
(compiled by the author based on data from
Tolkachova & Kononenko (2021), Drakochrust (2022))**

Element	Characteristics
Water	Reduced summer rainfall causing water shortages, more floods from high winter rainfall, increased frequency of severe droughts.
Food	Higher winter temperatures reduce crop losses, potential for increased food production if managed properly, more floods leading to crop losses, increased summer irrigation needs.
Energy	Reduced winter heating needs, increased summer cooling needs, decreased efficiency of electricity generation and distribution, industry must adapt to climate change and invest in infrastructure.
Health	Increased deaths from heat, fewer deaths during cold periods, increased surface and ozone pollution with serious health consequences, changes in disease distribution such as Lyme disease.
Other	Increased tourism as other regions become less attractive, coastal flooding, erosion, and saltwater inundation from rising sea levels, impact on forests and important international ecosystems.

Despite these risks, businesses and institutions often underestimate the seriousness of climate change. The global climate system's change affects the atmosphere, oceans, ice cover, and land surface, intensifying the hydrological cycle and leading to extreme weather events and rising sea levels, causing soil erosion and flooding. Extreme sea-level changes, once occurring every 100 years, are now projected to happen annually by the end of the century (Shkurat and Tukila, 2021).

Effective climate communication, awareness, and public concern about environmental risks can drive a new green social contract, influencing political and business life toward climate-friendly practices. British scientists cited by Tolkachova and Kononenko (2021) predict significant impacts on Ukraine’s economic sector:

Energy Infrastructure: Vulnerable to climate change, particularly thermal power plants facing reduced efficiency and water availability for cooling.

Infrastructure: Outdated mining infrastructure is at risk from extreme weather events and sea-level rise, threatening coastal areas.

Agriculture and Food Supply: Winter crop yields may increase, but greater variability and extreme events pose significant risks. Ukraine's grain yields lag behind global trends, with a fourfold difference between potential and actual yields.

Water Supply and Floods: Summer river flows could decrease by up to 50 %, leading to severe droughts and increased flooding, exacerbating health risks.

In recent years, cases of leptospirosis, cholera, hepatitis A, and salmonellosis have been reported in flooded areas of Ukraine. In general, the issue of rational environmental management of lake ecosystems is of particular importance for water conservation. This problem is especially relevant due to the dry climate in the steppe zones (Poleva et al., 2023).

Inadequate water balance, poorly developed waterway networks, and insufficient reservoir areas, as well as adjacent areas where water quality is deteriorating, exacerbate the issue. The study of water bodies is one of the most important priorities in Ukraine.

Sea Level Rise and Coastal Erosion: Increased erosion and toxic algae outbreaks threaten Ukraine's coastline and marine ecosystems.

1. **Tourism:** As southern European regions become less attractive, Ukraine may see increased tourism.

2. **Ecosystems and Biodiversity:** Climate change will exacerbate threats to biodiversity, leading to species extinction and altering ecosystems.

3. The flora and fauna of the Carpathians have already begun to adapt to climate change. Trees are starting to grow at higher altitudes, and other species are following suit. The lack of water will lead to a reduction in forest areas and a decrease in soil fertility.

4. **Human Health:** Rising temperatures and frequent heat waves increase morbidity and mortality from heat-related illnesses. Poor water quality will raise the incidence of bacterial diseases, though warmer winters may reduce hypothermia deaths. The impact of climate change in Ukraine, compounded by military operations, threatens public health, ecosystems, water and forest resources, and energy infrastructure. The lack of balanced, scientifically sound measures and effective state policy exacerbates these risks, jeopardizing Ukraine's economy and environment.

Conclusions and Prospects

The main causes of climate change are the greenhouse effect, greenhouse gas emissions, and continuous missile explosions worldwide. Given Ukraine's political instability, various risks impact both the national and global ecosystems.

There are currently insufficient opportunities to implement balanced and scientifically sound measures. The absence of an effective state policy on balanced environmental management poses threats to Ukraine's economy and environment, with broader implications for national security. Without substantial intervention, Ukraine risks being sidelined in the global progression towards sustainable development.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

Basok, B. I., Bazeev, E. T., & Kuraeva, I. V. (2021). Adaptation of communal heating to climate change. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 4, 60-75. <https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060>. (in Ukrainian)

Басок Б. І., Базєєв Є. Т., Кураєва І. В. Адаптація комунальної теплоенергетики до змін клімату. *Вісн. НАН України*. 2021. № 4. С. 60–75. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060>.

Drakohrust, T. V., & Martsenko, N. S. (2022). The role of climate change in migration processes: legal aspect. *Legal Scientific Electronic Journal*, 3, 245-248. <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2022-3/56>. (in Ukrainian)

Дракохруст Т. В., Марценко Н. С. Роль кліматичних змін у міграційних процесах: правовий аспект. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2022. № 3. С. 245-248. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2022-3/56>

Karabinyuk, M. M., & Markanych, Y. V. (2020). Dynamics of climatic conditions and modern trends of their changes in the northeastern sector of the Montenegrin landscape (Ukrainian Carpathians). *Nature of the Carpathians: scientific yearbook of the Carpathian Biosphere Reserve and the Institute of Carpathian Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 1(5), 4-16. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/30188> (in Ukrainian).

Карабінюк М. М., Марканич Я. В. Динамічність кліматичних умов та сучасні тенденції їхніх змін у північно-східному секторі ландшафту Чорногора (Українські Карпати). *Природа Карпат: науковий щорічник Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України*. 2020. Вип. №1(5) С. 4–16. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/30188> (дата звернення: 16.03.2024).

Osadchyi, V. I. (2021). The climate program of Ukraine as the basis of a holistic environmental policy of the state in the conditions of climate change. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6, 81-84. <https://doi.org/10.15407/visn2021.06.081> (in Ukrainian).

Осадчий В. І. Кліматична програма України як основа цілісної екологічної політики держави в умовах зміни клімату. *Вісник НАН України*. 2021. № 6. С. 81-84. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2021.06.081>.

Poleva, J. L., Varyshkina, O. O., & Demyanov, V. V. (2023). Analysis and research of the state of Lake Sukorivshchyna as a result of anthropogenic influence, as well as hydroecological and geomorphological conditions of species coexistence. *Ecology and Noospherology*, 34(1), 45-48. <https://doi.org/10.15421/032307> (in Ukrainian).

Польова Я. Л., Варишкіна О. О., Дем'янов В. В. Аналіз та дослідження стану озера Сукорівщина внаслідок антропогенного впливу, а також гідроекологічних і геоморфологічних умов співіснування видів. *Екологія та ноосферологія*. 2023. Т. 34, № 1. С. 45–48. DOI: <https://doi.org/10.15421/032307>.

Rychak, N. L., & Kizilova, N. M. (2021). Environmental consequences of global climate change in urbanized areas. *Environmental Sciences*, 37(4), 165-170. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.25> (in Ukrainian).

Ричак Н. Л., Кізілова Н. М. Екологічні наслідки глобальної зміни клімату на урбанізованих територіях. *Екологічні науки*. 2021. Т.37, № 4. С. 165–170. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.25>.

Sarvas, S., Midyany, R., Irza, B., Gadupiak, N., & Marunchak, R. (2023). Socio-economic consequences of global climate change. *Academic Visions*, 24, 1-8. <https://academy-vision.org/index.php/av/article/download/627/633> (in Ukrainian).

Сарвас С., Мідяний Р., Ірза Б., Гадуп'як Н., & Марунчак Р. Соціально-економічні наслідки глобальної зміни клімату. *Академічні візії*. 2023. Вип. 24. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/627> (дата звернення: 16.03.2024).

Tanasienko, N. P., Poplavska, O. V., & Fedorchuk, I. I. (2019). The state and prospects for solving environmental problems in the national security system. *Economic Sciences*, 1(4), 142-146. <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/01/29-17.pdf> (in Ukrainian).

Танасієнко Н. П., Поплавська О. В., Федорчук І. І. Стан та перспективи вирішення екологічних проблем в системі національної безпеки. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. Т. 1, № 4. С. 142-146. URL: <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/01/29-17.pdf> (дата звернення: 16.03.2024).

Tolkachova, I. A., & Kononenko, A. S. (2021). Problems of ensuring environmental human rights in Ukraine and foreign countries. *Agrarian, land and environmental law*, 2, 254-258. <https://chasprava.com.ua/index.php/journal/article/download/764/714/> (in Ukrainian)

Толкачова І., Кононенко А. Проблеми забезпечення екологічних прав людини в Україні та зарубіжних країнах. *Часопис Київського університету права*. 2021. № 2. С. 254-258. URL: <https://chasprava.com.ua/index.php/journal/article/view/764> (дата звернення: 16.03.2024).

Tsitsyura, Y. G. (2017). Adaptive farming strategy of the right-bank forest-steppe of Ukraine for climate change. *Agriculture and forestry*, 5, 25-33. <http://repository.vsau.org/getfile.php/16691.pdf> (in Ukrainian)

Цицюра Я. Г. Адаптивна стратегія землеробства правобережного Лісостепу України за зміни клімату. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. №5. С. 25-33. URL: <http://repository.vsau.org/getfile.php/16691.pdf> (дата звернення: 16.03.2024).

Shevchenko, O. V. (2023). Impact of climate change on agricultural land use in Ukraine. *Balanced nature management*, 4, 108-114. <https://journals.uran.ua/bnusing/article/download/292725/290986> (in Ukrainian)

Шевченко О.В. Вплив кліматичних змін на сільськогосподарське землекористування в Україні. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 4. С. 108-114. URL: <https://journals.uran.ua/bnusing/article/download/292725/290986> (дата звернення: 16.03.2024).

Shevchenko, O. V. (2023). Global Climate Change Communications: A Conceptual Dimension. *International and Political Studies*, (36), 224–231. <https://doi.org/10.18524/2707-5206.2023.36.288722> (in Ukrainian)

Шевченко О. В. Комунікації глобальних змін клімату: концептуальний вимір. *Міжнародні та політичні дослідження*. 2023. Вип. 36. С. 224–231. DOI: <https://doi.org/10.18524/2707-5206.2023.36.288722>.

Shkurat, M., & Tukila, K. (2021). The influence of ecology on international economic relations. *Economy and Society*, (26), 1-7. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-81> (in Ukrainian)

Шкурат М., Тукіла К. Вплив екології на міжнародні економічні відносини. *Економіка та суспільство*. 2021. Вип. 26. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-81>.

Received: 15.05.2024. Accepted: 27.06.2024. Published: 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Dushechkina N., Moroz V., Yanitskyi V. Environmental consequences of climate change: global challenges and regional responses. *Biota. Human. Technology*. 2024. №2. P. 70-76.

Cite this article in APA style as:

Dushechkina, N., Moroz, V., & Yanitskyi, V. (2024). Environmental consequences of climate change: global challenges and regional responses. *Biota. Human. Technology*, 2, 70-76.

Information about the authors:

Dushechkina N. [*in Ukrainian: Душечкіна Н.*]¹, Ph.D. in Pedagogical Sci., Assoc. Prof., email: nataxeta74@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4203-7122

Department of Chemistry and Ecology, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
2 Sadova str., 2, Uman, Cherkassy region, 20300, Ukraine

Moroz V. [*in Ukrainian: Мороз В.*]², Ph.D. in Agricultural Sci., Assoc. Prof., email: vera_moroz@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1457-4641

Department of Agribiotechnology, Education and Research Institute of Innovation, Environmental Management and Infrastructure, West Ukrainian National University
11 Lvivska Str., Ternopil, 46009, Ukraine

Yanitskyi V. [*in Ukrainian: Яніцький В.*]³, Graduate Student, email: volodimiryanitski@gmail.com
ORCID: 0009-0002-5393-3990

Department of Ecology, Polissia National University
7 Staryi Boulevard, Zhytomyr, 10008, Ukraine

¹ Conceptualization, Research, Methodology, Project management, Supervision, Drafting – original draft, Writing – proofreading and editing.

² Data curation, Formal analysis, Research, Software, Validation, Writing – proofreading and editing.

³ Data curation, Research, Resources, Display.

UDC 502.21:504.61

Наталя Ілюк, Ігор Костенко, Дмитро Бідолах

**ВПЛИВ АНТРОПОГЕННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ПРИРОДНІ РЕСУРСИ:
ПОШУК СТІЙКИХ МОДЕЛЕЙ РОЗВИТКУ**

Natalia Iliuk, Igor Kostenko, Dmytro Bidolakh

**IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES ON NATURAL RESOURCES:
SEARCHING FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT MODELS**

DOI: 10.58407/bht.2.24.7

АНОТАЦІЯ

Антропогенна діяльність продовжує здійснювати значний тиск на природні ресурси, що створює неабиякі проблеми для сталого розвитку.

У статті розглядається багатоаспектний вплив людської діяльності на природні ресурси та досліджується пошук моделей сталого розвитку. Актуальність цієї теми полягає в її значенні для глобальної екологічної рівноваги, соціально-економічної стабільності та добробуту нинішнього і майбутніх поколінь.

Метою даного дослідження є аналіз складних відносин між антропогенною діяльністю та природними ресурсами для визначення ефективних стратегій досягнення сталого розвитку.

Методологія. У процесі написання роботи було здійснено огляд сучасних наукових досліджень з відповідної тематики. У роботі застосовано наступні методи: аналізу, систематизації, узагальнення, порівняння.

Наукова новизна. Завдяки комплексному вивченню та аналізу розкриваються різні аспекти антропогенного впливу на природні ресурси, зокрема руйнування ареалів проживання, забруднення, надмірна експлуатація та зміна клімату. У дослідженні розглядаються наявні моделі сталого розвитку, включаючи екологічні технології, природоохоронні заходи та законодавчі рамки, висвітлюються їхні сильні та слабкі сторони, а також потенціал для масштабування.

Результати дослідження наголошують на необхідності прийняття цілісних підходів, що поєднують екологічні, соціальні та економічні аспекти для пом'якшення антропогенного тиску та сприяння сталому управлінню природними ресурсами. Робота також розкриває важливість міждисциплінарного співробітництва, залучення зацікавлених сторін та глобальної співпраці у просуванні порядку денного сталого розвитку.

Висновки. На основі цих результатів у дослідженні зроблено висновок, що, незважаючи на значний прогрес у розумінні та вирішенні проблеми впливу антропогенної діяльності на природні ресурси, для досягнення справжньої сталості попереду багато роботи. Воно наголошує на необхідності трансформаційних змін у моделях виробництва, споживання та управління для захисту екосистем, підвищення їхньої стійкості та забезпечення рівного доступу до ресурсів.

Ключові слова: стійкий розвиток, антропогенний вплив, екологічна стійкість, збереження біорізноманіття, екосистемні послуги, зміна клімату, водні ресурси, землекористування, вуглецевий слід

ABSTRACT

Human activity continues to exert significant pressure on natural resources, creating considerable challenges for sustainable development. This article examines the multifaceted impact of human activity on natural resources and explores the search for models of sustainable development. The relevance of this topic lies in its significance for global ecological balance, socio-economic stability, and the well-being of present and future generations.

The aim of this research is to analyze the complex relationships between anthropogenic activity and natural resources to identify effective strategies for achieving sustainable development.

Methodology. In the course of writing this paper, a review of contemporary scientific research on the relevant topic was conducted. The following methods were applied in the work: analysis, systematization, generalization, and comparison.

Scientific novelty. Through comprehensive research and analysis, this study reveals various aspects of anthropogenic impact on natural resources, including habitat destruction, pollution, overexploitation, and climate change. Existing models of sustainable development are examined, including ecological technologies, conservation measures, and legislative frameworks, highlighting their strengths and weaknesses, as well as their potential for scalability.

The research findings emphasize the need for comprehensive approaches that integrate ecological, social, and economic aspects to mitigate anthropogenic pressures and promote sustainable management of natural resources. The study also highlights the importance of interdisciplinary collaboration, engagement of stakeholders, and global cooperation in advancing the sustainable development agenda.

Conclusions. Based on these results, the research concludes that despite significant progress in understanding and addressing the impact of anthropogenic activities on natural resources, much remains to be done to achieve true sustainability. It underscores the need for transformative changes in production, consumption, and management models to protect ecosystems, enhance their resilience, and ensure equitable access to resources.

Key words: sustainable development, anthropogenic impact, ecological resilience, biodiversity conservation, ecosystem services, climate change, water resources, land use, carbon footprint

Вступ

Актуальність теми дослідження полягає у вирішенні складних глобальних проблем, пов'язаних із погіршенням стану довкілля та виснаженням природних ресурсів, а саме: впливу антропогенної діяльності на природні джерела та пошуком моделей сталого розвитку. Оскільки людська діяльність продовжує розширюватися та інтенсифікуватися, вплив на природні ресурси стає все більш відчутним, позначаючись на екосистемах, біорізноманітті та загальному стані навколишнього середовища на планеті. Усвідомлення цього впливу має ключове значення для розробки ефективних стратегій сприяння сталому розвитку (Bahorka & Yurchenko, 2020).

Дане дослідження дозволяє висвітлити складні взаємозв'язки між антропогенною діяльністю та природними ресурсами, показати різні способи, в які людська діяльність сприяє експлуатації ресурсів, забрудненню та руйнуванню середовищ існування. Аналізуючи ці взаємозв'язки, можна встановити ключові чинники деградації довкілля та сформулювати цілеспрямовані заходи для пом'якшення їхніх негативних наслідків (Melnychenko et al., 2023).

Антропогенна діяльність, безперечно, змінила структуру природних ресурсів, створивши значні виклики для стійкості екосистем і добробуту людей. Нещодавні дослідження та публікації спрямовані на всебічне розуміння цих впливів, а також на розробку моделей сталого розвитку.

Наукові праці продовжують наголошувати на загрозливих темпах деградації екосистем і виснаження ресурсів, спричинених антропогенною діяльністю, зокрема вирубкою лісів, надмірним виловом риби та забрудненням довкілля. Дослідження висвітлюють каскадний вплив на втрату біорізноманіття, дефіцит води та зміну клімату (Kuzum et al., 2023).

Помітною тенденцією в останніх публікаціях є застосування інтегрованих підходів до оцінки багатогранних наслідків антропогенної діяльності. У цих дослідженнях інтегруються екологічні, соціально-економічні та управлінські аспекти, щоб забезпечити цілісне розуміння складних взаємодій у природних системах. Докладаються зусилля для визначення критичних порогів, за якими екосистемам завдається незворотна шкода. Дослідники використовують передові методи моделювання та емпіричні спостереження для визначення ключових моментів, що допомагають політикам та зацікавленим сторонам вчасно вжити заходів для запобігання екологічному руйнуванню (Omelchuk, 2023).

Інтеграція новітніх технологій, таких як дистанційне зондування, штучний інтелект і блокчейн, обіцяє покращити стратегії моніторингу та управління природними ресурсами. Ці інновації дозволяють збирати, аналізувати та приймати рішення в режимі реального часу, сприяючи проактивному збереженню та сталому використанню ресурсів (Shrakova, 2020). Незважаючи на досягнення в науковому вивченні, залишаються невирішені питання щодо втілення

результатів досліджень в ефективні політичні заходи та реформи врядування. Серед викликів – боротьба з особистими інтересами, сприяння міжсекторальній співпраці та забезпечення справедливого розподілу вигоди і навантаження

Поширення успішних ініціатив зі сталого розвитку залишається ключовим пріоритетом. Науковці виступають за відтворювані моделі та трансформаційні шляхи, що забезпечують баланс між екологічною цілісністю та метою соціально-економічного розвитку. Однак залишаються питання щодо масштабованості, мобілізації ресурсів та адаптивності рішень у різних контекстах (Zamula & Shavurska, 2023).

Міждисциплінарна співпраця та обмін знаннями мають важливе значення для вирішення складних проблем антропогенного впливу на природні ресурси. Інтегровані дослідницькі структури та платформи сприяють діалогу між науковцями, політиками, практиками та місцевими громадами, стимулюючи інновації та взаємне навчання.

Підвищення стійкості та впровадження стратегій адаптивного управління мають вирішальне значення для подолання невизначеності та непередбачуваних наслідків, пов'язаних із антропогенною діяльністю. Основними принципами забезпечення сталості систем природних ресурсів є гнучкість, навчання на основі зворотного зв'язку та сприяння розвитку адаптивних структур управління (Ryzhova & Pavlyuk, 2023).

Метою статті є аналіз складних відносин між антропогенною діяльністю та природними ресурсами для визначення ефективних стратегій досягнення сталого розвитку.

Матеріали і методи дослідження

Інформаційною базою досліджень стали наукові дослідження вітчизняних вчених та статистичний матеріал.

Науковою основою дослідження стали праці вітчизняних вчених з досліджуваної проблеми (Azarov & Kharlamova, 2020; Zinchuk et al., 2022).

Для досягнення мети та поставлених завдань дослідження було використано комплекс методів наукового пізнання, а саме: для вивчення та узагальнення теоретичних положень з обраної теми, обґрунтування висновків – аналіз, для виділення суттєвих ознак та властивостей

досліджуваних явищ, формулювання понять та категорій – абстрагування, порівняльно-аналітичний метод – для порівняння та зіставлення різних концепцій, підходів до вирішення проблем індукція та дедукція. У свою чергу для узагальнення та логічного виведення нових знань – індуктивний та дедуктивний методи. І насамкінець, для дослідження об'єкта як цілісної системи з урахуванням його внутрішніх та зовнішніх зв'язків – системний підхід.

Результати дослідження та їх обговорення

Антропогенний вплив на природні ресурси є однією з найважливіших проблем сучасності, що охоплює широкий спектр людської діяльності, яка впливає на екосистеми планети та ресурси, які вони забезпечують. Цей вплив проявляється у різних формах, кожна з яких має свої особливості та наслідки. Розуміння масштабів і результатів цього впливу має ключове значення для розробки ефективних стратегій його пом'якшення та забезпечення сталого використання ресурсів нашої планети. Основні напрями антропогенного впливу на навколишнє середовище показані на рисунку 1 (рис. 1).

Одним із основних видів антропогенного впливу на природні ресурси є вирубування лісів. Ліси, що є важливими для збереження біорізноманіття, поглинання вуглецю та регулювання клімату, знищуються із загрозливою швидкістю, щоб звільнити місце для сільськогосподарства, урбанізації та промислової діяльності. Така масове вирубування лісів призводить до зникнення біотопів, ерозії ґрунтів, порушення водних циклів і втрати біорізноманіття.

Іншою значною проблемою є надмірна експлуатація рибних і морських ресурсів. Несталі практики рибальства, зумовлені зростанням попиту і технологічного прогресу, призвели до виснаження рибних запасів, пошкодження морських біотопів і загрожують життєдіяльності мільйонів людей, які залежать від рибальства як джерела існування і доходу. Забруднення з промислових і побутових джерел посилює деградацію морських екосистем, спричиняючи евтрофікацію, руйнування біотопів і токсичне забруднення.

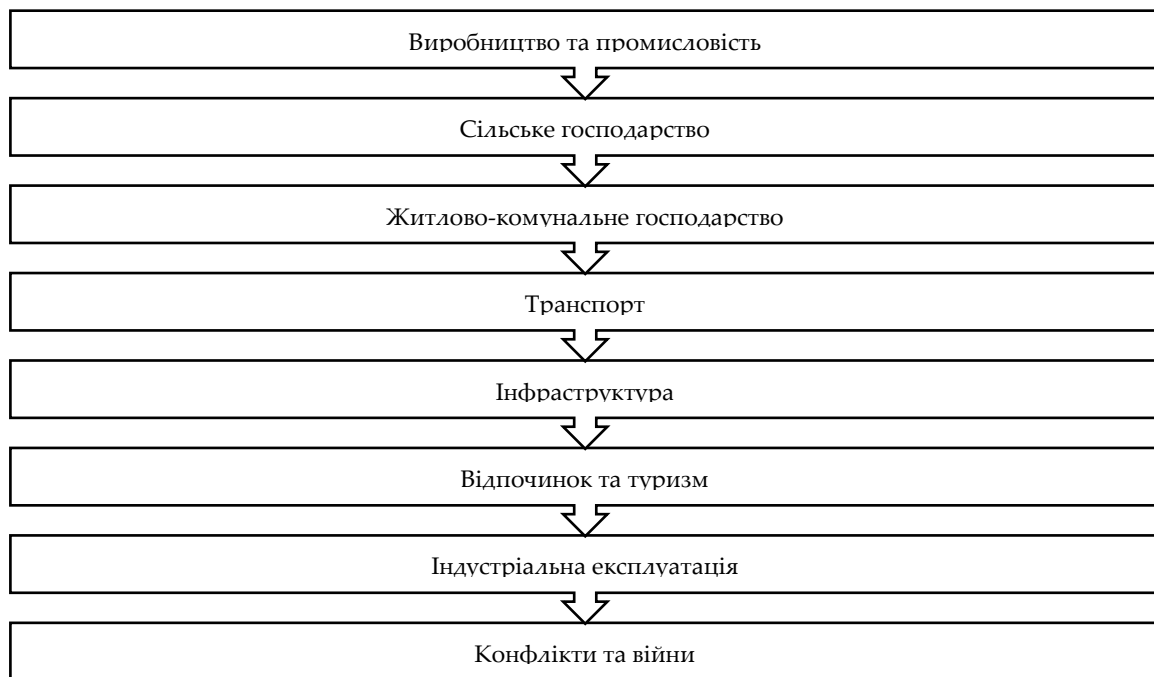


Рис.1. Основні джерела антропогенного впливу на природні ресурси (Джерело: власна розробка авторів)

Деградація земель, зокрема ерозія ґрунтів, опустелювання та засолення, є ще одним наслідком антропогенної діяльності, такої як нестійке сільське господарство, надмірний випас худоби та нераціональне використання земельних ресурсів. Ці процеси погіршують родючість ґрунтів, знижують продуктивність сільського господарства та посилюють продовольчу небезпеку у незахищених регіонах.

Модифікація водних об'єктів шляхом спорудження гребель, відведення води та забруднення створює додаткові виклики в галузі управління природними ресурсами. Греблі порушують річкові екосистеми, перешкоджають міграції риби та змінюють гідрологічний режим, що призводить до впливу на якість води, перенесення наносів та розвиток заплав вниз за течією. Забруднення промисловими і сільськогосподарськими стоками та міськими відходами призводить до подальшої деградації прісноводних екосистем, порушуючи їхню екологічну цілісність і загрожуючи здоров'ю людей.

Урбанізація та розвиток інфраструктури здійснюють значний тиск на природні ресурси, що призводить до руйнування ареалів проживання, втрати біорізноманіття та збільшення забруднення. Розширення міських територій забирає важливі землі та ресурси, витісняє дику природу, сприяє забрудненню повітря та води, посилюючи

деградацію довкілля та ризики для здоров'я населення.

Наслідки антропогенного впливу на природні ресурси є різнобічними. Різновиди впливу та їх наслідки описані у таблиці 1. Втрата біорізноманіття, спричинена руйнуванням та фрагментацією середовищ існування, загрожує стабільності екосистем та послуг, що вони надають, зокрема запиленню, боротьбі зі шкідниками та кругообігу поживних речовин. Зміна клімату, спричинена викидами парникових газів внаслідок вирубки лісів, спалювання викопного палива та промислових процесів, посилює тиск на довкілля, призводячи до зміни режиму опадів, підвищення рівня моря та екстремальних погодних явищ (Ryzhova & Pavlyuk, 2023).

Деградація природних ресурсів знижує стійкість екосистем і ставить під загрозу безпеку людей, які залежать від них як джерел їжі, води, засобів до існування та культурної ідентифікації. Найчастіше диспропорційний вплив відчувають на собі соціально незахищені та вразливі верстви населення, що посилює соціальну нерівність і призводить до загострення конфліктів за обмежені природні ресурси.

Наприклад, щодо України, то у таблиці 2, показано динаміку та статистику антропогенного впливу на природні ресурси України у 2019-2023 роках.

Таблиця 1

Наслідки впливу антропогенної діяльності на природні ресурси та стан екосистем (Джерело: власна розробка авторів)

Тип впливу	Наслідки
Забруднення водних ресурсів хімічними речовинами	Загроза для водних екосистем, знищення рибних запасів, отруєння водних організмів, обмеження доступу до питної води
Викиди шкідливих речовин у повітря	Забруднення повітря, негативний вплив на живих істот та їхнє здоров'я, кліматичні зміни, кислотні дощі
Забруднення ґрунтів хімічними речовинами	Втрата родючості, зменшення врожайності, забруднення продуктів харчування, негативний вплив на здоров'я людей і тварин
Зміна ландшафту	Втрата природних місць існування, затоплення територій, ерозія, знищення життєвого середовища
Втрата біорізноманіття	Порушення екосистем, втрата видів, порушення регуляторних функцій навколишнього середовища
Вплив війни	Загроза для різноманітності форм життя, знищення природних ресурсів, зменшення стійкості екосистем, загроза виживання видів

Таблиця 2

Динаміка антропогенного впливу на природні ресурси України у 2019 – 2023 роках (за даними Державної служби статистики України)

Показники	2019	2020	2021	2022	2023
Викиди забруднюючих речовин, тис. т	2,785	2,650	2,600	2,450	2,400
Використання водних ресурсів, млн м ³	12,500	13,200	12,100	11,900	11,700
Викиди парникових газів, млн т CO ₂	210	205	200	195	190
Лісозаготівля, тис. м ³	7,500	7,300	7,200	7,100	7,000
Використання земельних ресурсів, тис. га	40,000	39,800	39,600	38,400	39,200
Витрати енергоресурсів, млн т н.е.	90	88	87	85	83
Утворення твердих побутових відходів, млн т	11	11,2	11,3	11,5	11,7

Аналізуючи таблицю 2, можна побачити загальну тенденцію до зниження антропогенного впливу на природні ресурси України у 2019-2023 роках. Викиди забруднюючих речовин зменшилися з 2,785 тис. тонн у 2019 році до 2,400 тис. тонн у 2023 році. Це свідчить про поступове покращення стану атмосферного повітря, імовірно завдяки впровадженню нових технологій або посиленню екологічного контролю.

Використання водних ресурсів також знизилося з 12,500 млн м³ у 2019 році до 11,700 млн м³ у 2023 році. Це може бути наслідком більш ефективного використання водних ресурсів, а також зниження промислового виробництва внаслідок активних бойових дій.

Викиди парникових газів зменшилися з 210 млн тонн CO₂ у 2019 році до 190 млн тонн CO₂ у 2023 році. Це свідчить про заходи щодо зменшення впливу на зміну клімату, можливо, через впровадження відновлюваних джерел енергії або підвищення енергоефективності.

Лісозаготівля зменшилася з 7,500 тис. м³ у 2019 році до 7,000 тис. м³ у 2023 році, що може вказувати на зменшення вирубки лісів або покращення управління лісовими ресурсами.

Використання земельних ресурсів також знизилося з 40,000 тис. га у 2019 році до 39,200 тис. га у 2023 році, що може свідчити про зменшення розширення сільськогосподарських або промислових територій.

Витрати енергоресурсів знизилися з 90 млн тонн нафтеквіваленту у 2019 році до 83 млн тонн нафтеквіваленту у 2023 році, що вказує на підвищення енергоефективності та зменшення залежності від викопних видів палива.

Утворення твердих побутових відходів, навпаки, зросло з 11 млн тонн у 2019 році до 11,7 млн тонн у 2023 році, що вказує на зростання кількості відходів, яке може бути пов'язане з підвищенням рівня споживання.

Таким чином, таблиця 2 відображає поступове покращення екологічної ситуації в Україні, але також вказує на необхідність подальших зусиль у сфері управління відходами.

Для вирішення проблем, пов'язаних із антропогенним впливом на природні ресурси, потрібні скоординовані зусилля на локальному, національному та глобальному рівнях. Стратегії сталого управління ресурсами повинні інтегрувати екологічні, економічні та соціальні аспекти, сприяти ініціативам з охорони та відновлення природних ресурсів, а також розвивати партнерство між учасниками з різних секторів (Bahorka & Yurchenko, 2020).

Державні заходи, зокрема нормативно-правова база, економічні стимули та кампанії з інформування громадськості мають важливе значення для сприяння відповідальному використанню ресурсів, зменшенню відходів і забруднення, а також переходу до більш сталого способу життя та виробничих процесів.

Одним із головних наслідків людської діяльності на природні ресурси є втрата екосистемних послуг. Екосистеми забезпечують широкий спектр послуг, необхідних для добробуту людини, зокрема чисте повітря і воду, родючі ґрунти, регулювання клімату, культурні та рекреаційні можливості. Проте антропогенні порушення, такі як вирубування лісів, забруднення та деградація ареалів, ставлять під загрозу здатність екосистем надавати ці послуги, що негативно впливає на стан довкілля, економічну продуктивність та стійкість суспільства.

Водно-болотні угіддя виконують важливу функцію очищення води, видаляючи забруднювачі та осади, що покращує якість води для пиття, сільськогосподарських потреб та рекреаційного використання. Наприклад, 1,000 гектарів водно-болотних

угідь можуть очищувати до 1,000,000 кубометрів води на день, що становить 365,000,000 кубометрів на рік. Вартість штучного очищення 1 кубометра води в очисних спорудах становить приблизно 0.50 доларів США, тому річна економія від природного очищення водно-болотними угіддями становить близько 182.5 мільйонів доларів США. Ця оцінка підкреслює економічну вигоду від збереження природних екосистем, які забезпечують значні екосистемні послуги.

Так, вирубування лісів не лише призводить до втрати біотопів та зменшення біорізноманіття, але й знижує здатність лісів поглинати вуглекислий газ, який є основним чинником зміни клімату. Порушення вуглецевого циклу Землі посилює глобальне потепління, що призводить до частіших і жорсткіших погодних явищ, зміни режиму опадів і підвищення рівня моря, з подальшим каскадним впливом на екосистеми та населення в усьому світі.

Так само деградація прісних водних ресурсів через забруднення, надмірний вилов риби і знищення біотопів ставить під загрозу якість і доступність води, піддаючи ризику стан водних екосистем і життєдіяльність мільйонів людей, які залежать від річок, озер і водно-болотних угідь як джерел питної води, зрошення, риболовлі та транспорту

До того ж антропогенний вплив на природні ресурси може посилювати соціальну нерівність і призводити до загострення конфліктів за доступ до дефіцитних ресурсів та контроль над ними. У багатьох регіонах соціально незахищені та вразливі верстви населення несуть на собі головний вантаж деградації довкілля, зазнаючи непропорційно високих ризиків і труднощів через обмежений доступ до альтернативних засобів до існування, нерозвинену інфраструктуру та обмеженість можливостей для політичного впливу.

Наприклад, етнічні народи та села, які залежать від лісів, річок і традиційних методів ведення сільського господарства, часто зазнають витіснення, захоплення земель і втрати культурної спадщини в результаті реалізації масштабних проектів розвитку, комерційного сільського господарства та видобувних галузей промисловості. Це не лише руйнує місцеві засоби до існування та продовольчу безпеку, але й послаблює соціальну згуртованість, куль-

турну ідентичність та традиційні системи знань, що є важливими для сталого управління ресурсами та стійкості громад.

Водночас наслідки антропогенного впливу на природні ресурси не обмежуються тільки екологічними та соціальними аспектами, але й мають також економічні наслідки. Нераціональна експлуатація ресурсів та деградація довкілля призводять до значних економічних втрат, зокрема до зниження продуктивності, збільшення витрат на охорону здоров'я та зниження конкурентоспроможності на світових ринках (Filipov, 2019).

Наприклад, погіршення родючості ґрунтів і втрата сільськогосподарського біорізноманіття негативно впливають на продовольчу безпеку та продуктивність сільськогосподарства, призводячи до дефіциту продовольства, волатильності цін і зростання залежності від зовнішніх факторів виробництва, таких як добрива та пестициди, що сильніше погіршує екосистеми і збільшує ризики для довкілля та здоров'я населення.

Втрата сільськогосподарського біорізноманіття, яка включає зміни у сівознах, монокультуру та інтенсивне землекористування, значно погіршує екосистеми. Зміна сівозмін і зменшення кількості культур знижує природний контроль за шкідниками і хворобами, сприяє ерозії ґрунтів та виснаженню землі. Монокультура призводить до виснаження ґрунтів, збільшення залежності від хімічних добрив і пестицидів, роблячи сільськогосподарські системи більш вразливими до шкідників і хвороб. Інтенсивне землекористування знищує середовища існування для дикої флори і фауни, знижує запилення та природне регулювання водних ресурсів. Це все знижує родючість ґрунтів, підвищує використання пестицидів, спричиняє ерозію ґрунтів, знижує запилення та призводить до водного забруднення, що негативно впливає на довкілля та здоров'я населення.

Так само виснаження рибних запасів і деградація морських біотопів не лише загрожують джерелам існування рибалок і прибережних спільнот, але й підривають економічну спроможність рибальства та пов'язаних із ним галузей, що призводить до втрат доходів, витіснення робочих місць і соціальних негараздів.

Сталий розвиток – термін, введений у 1987 році у Звіті Брундтланд Всесвітньої комісії з навколишнього середовища та розвитку – означає задоволення потреб сьогодення без шкоди для здатності майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби. По суті, сталий розвиток прагне досягти балансу між економічним зростанням, соціальною справедливістю та захистом довкілля. Він підкреслює взаємозалежність економічної, соціальної та екологічної систем і визнає, що розвиток повинен здійснюватися з урахуванням цих взаємозв'язків (Zamula & Shavurska, 2023).

У прагненні до сталого розвитку з'явилися різні моделі та підходи, кожна з яких має власні акценти та стратегії. Однією з таких моделей є циклічна економіка, що має на меті мінімізувати відходи та максимально ефективно використовувати ресурси, сприяючи переробці, повторному використанню та відновленню на противагу традиційним лінійним моделям виробництва та споживання. Завдяки тому, що матеріали та продукти використовуються якомога довше, циркулярна економіка зменшує виснаження ресурсів і забруднення довкілля, а також створює нові економічні можливості.

Інша модель – екологічна економіка, що піддає сумніву традиційні економічні парадигми, інтегруючи екологічні принципи в економічну теорію та практику. Наголошує на обмеженості ресурсів і важливості дотримання екологічної цілісності в процесі прийняття економічних рішень. Вона виступає за політику і практику, які надають пріоритет екологічній стійкості та соціальній справедливості поряд з економічним зростанням

Інший підхід до сталого розвитку, особливо в контексті управління природними ресурсами, представляють проекти інтегрованого збереження та розвитку (ICDPs). ICDP прагнуть узгодити природоохоронні цілі з потребами та прагненнями територіальних громад, інтегруючи природоохоронні ініціативи з проектами розвитку громад. Шляхом залучення місцевої громадськості до процесів прийняття рішень та вирішення їхніх соціально-економічних проблем ICDP сприяють як збереженню довкілля, так і підвищенню добробуту людей.

Агроекологія пропонує ще одну модель сталого розвитку, зокрема у сфері сільськогосподарства. Спираючись на принципи

екології, агроекологія прагне оптимізувати сільськогосподарські системи, імітуючи природні екосистеми та покращуючи біорізноманіття, стан ґрунтів і стійкість екосистем. Надаючи пріоритет екологічній стійкості над короткостроковим підвищенням продуктивності, агроекологія пропонує цілісний підхід до виробництва продуктів харчування, що може підтримувати як стан довкілля, так і продовольчу безпеку.

Оцінюючи стабільність моделей сталого розвитку, слід враховувати декілька критеріїв. Екологічна стійкість є фундаментальним критерієм, що охоплює такі фактори, як ефективність використання ресурсів, рівень забруднення та збереження біорізноманіття. Моделі, що надають пріоритет збереженню та відновленню природних екосистем, мають більше можливостей бути стабільними в довгостроковій перспективі.

Соціальна рівність є ще одним важливим критерієм, оскільки сталий розвиток повинен враховувати потреби та інтереси всіх членів суспільства, особливо вразливих і незахищених груп. Моделі, що сприяють соціальній інтеграції, рівності та справедливості, з більшою ймовірністю сприятимуть соціальній стабільності та стійкості.

Економічна життєздатність теж має важливе значення, оскільки моделі сталого розвитку повинні бути економічно обґрунтованими і здатними генерувати достатній обсяг ресурсів для підтримки поточної імплементації. Моделі, що сприяють економічній диверсифікації, місцевому економічному розвитку та справедливому розподілу ресурсів, мають більше можливостей бути економічно стабільними.

До того ж дуже важливою є стійкість моделей сталого розвитку до зовнішніх потрясінь і невизначеностей. Які включають гнучкість, адаптивність та стратегії управління ризиками, краще підготовлені до протистояння несподіваним викликам та збереження стабільності в часі.

Для досягнення сталого розвитку були розроблені різні методи визначення моделей сталого розвитку, які можуть спрямувати політику, бізнес-практику та суспільну поведінку до більш узгоджених відносин із навколишнім середовищем. Центральне місце у цих методах займають принципи моделювання та аналізу впливу на природні ресурси, використання інформаційних техно-

логій у дослідженнях і прийняття синергетичного підходу до вирішення проблем.

Моделювання та аналіз впливу на природні ресурси є основними інструментами на шляху до сталого розвитку. Використовуючи математичні моделі, симуляції та методи аналізу даних, науковці та розробники стратегій отримують уявлення про складну взаємодію між людською діяльністю та екологічними системами. Ці моделі дозволяють оцінити екологічний слід різних галузей промисловості, містобудівних проєктів та діяльності з видобутку корисних копалин. За допомогою аналізу сценаріїв управління можна дослідити різні варіанти політики та їхні потенційні наслідки для використання природних ресурсів, біорізноманіття та стану екосистем. До того ж сучасні методи, такі як оцінка життєвого циклу, дозволяють кількісно оцінити вплив на довкілля протягом усього життєвого циклу продуктів і послуг, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень і виявленню можливостей для вдосконалення.

Використання інформаційних технологій зробило справжню революцію у сфері досліджень сталого розвитку, надавши потужні інструменти для збору, аналізу та передачі даних. Програмне забезпечення географічних інформаційних систем дозволяє дослідникам картографувати та візуалізувати дані про навколишнє середовище, полегшуючи просторовий аналіз та ідентифікацію зон екологічної значущості або вразливості. Технології дистанційного зондування, зокрема супутникові знімки і безпілотні літальні апарати, дають змогу отримати важливу інформацію про зміни у землекористуванні, вирубку лісів і втрату ареалів проживання на великих географічних територіях. Поширення сенсорних мереж і пристроїв Інтернету речей уможливорює моніторинг параметрів довкілля, таких як якість повітря і води, в режимі реального часу, підтримуючи системи раннього попередження про випадки забруднення та інформуючи про стратегії адаптивного управління.

Проте справжній потенціал інформаційних технологій у дослідженнях сталого розвитку полягає не лише у зборі даних, але й у їх інтеграції з передовими аналітичними методами. Алгоритми машинного навчання, наприклад, можуть аналізувати великі масиви даних, щоб виявити закономірності,

тенденції та кореляції, які можуть бути неочевидними для дослідника-людини. Використовуючи ці можливості, вчені здатні розробляти прогностичні моделі для таких явищ, як наслідки зміни клімату, зміни в розподілі видів і доступність ресурсів за різних сценаріїв. Також методи штучного інтелекту можуть оптимізувати стратегії розподілу та управління ресурсами, допомагаючи максимізувати ефективність і мінімізувати відходи в таких секторах, як енергетика, транспорт і сільське господарство.

Можливо, найперспективніший шлях до пошуку моделей сталого розвитку полягає у прийнятті синергетичного підходу до вирішення проблем. Замість того, щоб розглядати соціальні, економічні та екологічні виклики як окремі проблеми, цілісна перспектива визнає їхній взаємозв'язок і шукає інтегровані рішення, які стосуються декількох вимірів одночасно. Цей підхід втілений у таких концепціях, як циркулярна економіка, що має на меті відокремити економічне зростання від споживання ресурсів шляхом планування відходів, сприяння ресурсоефективності та створення систем із замкнутим циклом. Аналогічно, концепція екосистемного управління наголошує на важливості збереження і відновлення природних екосистем як основи сталого розвитку, визнаючи їхню роль у наданні основних послуг, таких як чиста вода, регулювання клімату і збереження біорізноманіття (Azarov & Kharlamova, 2020).

В основі синергетичного підходу є визнання того, що сталий розвиток не може бути досягнутий точковими втручаннями або ізольованими зусиллями. Натомість він вимагає співпраці та партнерства між учасниками з державного управління, промисловості, громадянського суспільства та академічних кіл, спираючись на різноманітні перспективи, досвід та ресурси. Багатосторонні ініціативи, такі як Цілі сталого розвитку, забезпечують загальну основу для дій, спрямовуючи зусилля на вирішення взаємопов'язаних проблем, наприклад, бідність, нерівність, зміна клімату та деградація екосистем. Сприяючи діалогу, обміну знаннями та колективним діям, ці ініціативи мають на меті каталізувати трансформаційні зміни на шляху до більш сталого та стійкого майбутнього для всіх (Levkivska et al., 2022).

Успішне впровадження моделей сталого екологічного розвитку посідає важливе

значення для збереження нашої планети та добробуту майбутніх поколінь. У різних галузях і регіонах існують яскраві приклади того, як бізнес, влада та громади впроваджують сталі практики для пом'якшення наслідків деградації довкілля, одночасно сприяючи економічному зростанню. Ці зразки демонструють інноваційні підходи та підкреслюють ефективність стратегій сталого розвитку.

В енергетичному секторі відновлювані джерела енергії останнім часом набули значного поширення. Такі країни, як Данія та Ісландія, досягли значних успіхів у використанні вітрової та геотермальної енергії, відповідно, для задоволення значної частини своїх енергетичних потреб. Данія, наприклад, стала світовим лідером у вітроенергетиці: вітрогенератори забезпечують понад 40 % попиту на електроенергію в країні. Так само багаті геотермальні ресурси Ісландії дозволили їй виробляти майже 100 % електроенергії з відновлюваних джерел, зменшивши залежність від викопних видів палива і значно скоротивши викиди вуглецю.

У транспортній галузі перехід до електромобілів змінив правила гри. Такі компанії, як Tesla, зробили революцію в автомобільному секторі, випускаючи високопродуктивні електромобілі, що забезпечують мобільність із нульовим рівнем викидів. Також міста по всьому світу інвестують у сталі системи громадського транспорту. Наприклад, Куритиба (Бразилія) відома своєю системою швидкісного автобусного транспорту, яка ефективно перевозить мільйони пасажирів щодня, мінімізуючи затори та забруднення (Ryzhakova et al., 2019).

Сільське господарство теж є прикладом успішного впровадження сталих практик. Концепція агроекології, що наголошує на біорізноманітті, збереженні природних ресурсів та якості ґрунтів, набрала обертів. У таких регіонах, як Африка на південь від Сахари, проекти, що пропагують агролісомеліорацію, не лише підвищили продовольчу безпеку, але й відновили деградовані землі та зберегли біорізноманіття. Також ініціативи з просування органічного землеробства та сталого управління земельними ресурсами дали позитивні результати в різних частинах світу, зменшивши використання хімікатів та зберігши родючість ґрунтів.

У міському будівництві ініціативи зеленого будівництва набувають усе більшого розповсюдження (Shrakova, 2020). Міста, як Ванкувер (Канада), запровадили жорсткі стандарти зеленого будівництва, що призвело до зведення енергоефективних та екологічно чистих споруд. Такі будівлі оснащені сонячними панелями, ефективною ізоляцією та системами збору дощової води, що значно зменшує споживання енергії та вуглецевий слід (Azarov & Kharlamova, 2020).

Туристична індустрія також запровадила сталі практики, щоб мінімізувати свій вплив на навколишнє середовище. Такі країни, як Коста-Ріка, позиціонують себе у напрямі екологічного туризму, зберігаючи свої природні ареали і водночас задовольняючи потреби туристів, які прагнуть отримати досвід перебування в незайманому природному середовищі. Ініціативи сталого туризму зосереджені на природоохоронних заходах, залученні громадськості та відповідальних туристичних практиках, що забезпечують баланс між економічною вигодою та збереженням довкілля.

Концепція циркулярної економіки набула поширення в різних галузях промисловості, сприяючи підвищенню ефективності використання ресурсів та зменшенню відходів (Dereij et al., 2021). Такі компанії як Interface (світовий виробник килимів) запровадили виробничі процеси із замкнутим циклом, де продукція призначена для переробки та повторного використання, мінімізуючи утворення відходів та вплив на довкілля (Zinchuk et al., 2022).

Аналіз ефективності цих моделей сталого розвитку свідчить про перспективні результати. Скорочення викидів парникових газів, покращення якості повітря та води, збереження біорізноманіття та підвищення стійкості до зміни клімату – це лише деякі з помітних переваг. На додаток, багато з цих ініціатив стимулювали економічне зростання, створили можливості для працевлаштування та підвищили якість життя громад, що беруть у них участь.

Висновки і перспективи

Антропогенна діяльність чинить суттєвий вплив на природні ресурси, створюючи значні виклики для досягнення сталого розвитку. Різноманітні форми антропогенного впливу, такі як вирубування лісів, надмірна експлуатація рибних і морських ресурсів, деградація земель, модифікація водних об'єктів, урбанізація та розвиток інфраструктури, значно впливають на екосистеми планети та ресурси, які вони забезпечують. Для пом'якшення цих впливів необхідно розробляти ефективні стратегії, що поєднують екологічні, соціальні та економічні аспекти.

Проблема антропогенного впливу на природні ресурси вимагає комплексного підходу, який включає міждисциплінарну співпрацю, залучення зацікавлених сторін та глобальну співпрацю. Незважаючи на значний прогрес у розумінні та вирішенні проблеми, необхідні трансформаційні зміни в моделях виробництва, споживання та управління для захисту екосистем, підвищення їхньої стійкості та забезпечення рівного доступу до ресурсів.

Важливим є інтегрування новітніх технологій, таких як дистанційне зондування, штучний інтелект і блокчейн, для покращення стратегій моніторингу та управління природними ресурсами. Ці інновації дозволяють здійснювати збір, аналіз та прийняття рішень у режимі реального часу, сприяючи проактивному збереженню та сталому використанню ресурсів. Однак залишаються виклики, пов'язані з втіленням результатів досліджень у політичні заходи та реформи управління.

Акцентується увага на необхідності адаптивного управління, що враховує невизначеність та непередбачувані наслідки антропогенної діяльності. Принципи гнучкості, навчання на основі зворотного зв'язку та сприяння розвитку адаптивних структур управління є ключовими для забезпечення стійкості систем природних ресурсів.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Azarov, S. I., & Kharlamova, O. V. (2020). Modeling the impact of anthropogenic factors on the environment. *Ecological Sciences*, 1(28), 97–101. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.14> (in Ukrainian)
Азаров С. І., Харламова О. В. Моделювання впливу антропогенних факторів на навколишнє середовище. *Екологічні науки*. 2020. №1(28). С. 97–101. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.14>
- Bahorka, M. O., & Yurchenko, N. I. (2020). Ecologically oriented innovations in the activities of agricultural enterprises. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Economics and Management*, 31(70), 107–114. <https://doi.org/10.32838/2523-4803/70-3-18> (in Ukrainian)
Багорка М. О., Юрченко Н. І. Екологічно орієнтовані інновації в діяльності сільськогосподарських підприємств. *Наукові записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2020. №31(70). С. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/70-3-18>
- Dereiy, Zh., Butenko, N., & Zosymenko, T. (2021). Implementation of the circular economy concept: Problems and prospects. *Problems and Perspectives in Economics and Management*, 1(25), 54–62. [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2021-1\(25\)-54-62](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2021-1(25)-54-62) (in Ukrainian)
Дерій Ж., Бутенко Н., Зосименко Т. Впровадження концепції циркулярної економіки: проблеми та перспективи. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2021. №1(25). С. 54–62. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2021-1\(25\)-54-62](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2021-1(25)-54-62)
- Filipov, V. Yu. (2019). The paradigm of sustainable development: Genesis, preconditions, and origins. *Economic Innovations*, 21(4), 171–179. [https://doi.org/10.31520/ei.2019.21.4\(73\).171-179](https://doi.org/10.31520/ei.2019.21.4(73).171-179) (in Ukrainian)
Філіпов В. Ю. Парадигма сталого розвитку: генезис, передумови та витоки. *Економічні інновації*. 2019. №21(4). С. 171–179. DOI: [https://doi.org/10.31520/ei.2019.21.4\(73\).171-179](https://doi.org/10.31520/ei.2019.21.4(73).171-179)
- Kyzym, M. O., Khaustova, V. Y., Shpilevskiy, V. V., & Shpilevskiy, O. V. (2023). Justification of promising directions for the development of the circular economy in Ukraine. *Problemy Ekonomiky*, 3, 101–111. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-101-111> (in Ukrainian)
Кизим М. О., Хаустова В. Є., Шпілевський В. В., Шпілевський О. В. Обґрунтування перспективних напрямів розвитку циркулярної економіки в Україні. *Проблеми економіки*. 2023. №3. С. 101–111. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-101-111>
- Levkivska, L. M., Shvets, T. V., & Plotnikova, M. F. (2022). The role of gender and ecological settlements in the policy implementation of Ukraine's entrepreneurial potential. *Economy and State*, 3, 43–48. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2022.3.43> (in Ukrainian)
Левківська Л. М., Швець Т. В., Плотнікова М. Ф. Роль родових та екологічних поселень у реалізації підприємницького потенціалу України. *Економіка і держава*. 2022. №3. С. 43–48. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2022.3.43>
- Melnychenko, S. G., Bohadorova, L. M., & Okhremenko, I. V. (2023). Pollutants emissions dynamics by stationary and mobile sources of pollution within Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, 40, 42–52. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-04> (in Ukrainian)
Мельниченко С. Г., Богадорова Л. М., Охременко І. В. Динаміка викидів забруднювальних речовин стаціонарними та мобільними джерелами забруднення в Україні. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2023. №40. С. 42–52. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-04>
- Omelchuk, D. S. (2023). Implementation of the green concept in business activity strategy. *Scientific Notes of Lviv University of Business and Law*, 38, 223–229. (in Ukrainian)
Омельчук Д. С. Втілення зеленої концепції в стратегію діяльності бізнесу. *Наукові записки Львівського університету бізнесу та права*. 2023. №38. С. 223–229.
- Ryzhakova, G., Ryzhakov, D., Leshchinska, I., Kistion, D., & Kondratskiy, V. (2019). Conceptual model of differentiated involvement of sources of resource provision of investment and construction projects. *Urban Planning and Territorial Planning*, 71, 283–300. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2019.71.283-300> (in Ukrainian)
Рижаківа Г., Рижаків Д., Лещинська І., Кістіон Д., Кондрацький В. Концептуальна модель диференційованого залучення джерел ресурсного забезпечення інвестиційно-будівельних проектів. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. №71. С. 283–300. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2019.71.283-300>

Ryzhova, I., & Pavlyuk, O. (2023). Strategy of sustainable development of urban ecology in the contemporary spatial-subject environment: Challenges, opportunities, perspectives. *Humanities Studies*, 15(92), 52–63. <https://doi.org/10.32782/hst-2023-15-92-06> (in Ukrainian)

Рижова І., Павлюк О. Стратегія сталого розвитку урбоекології в сучасному просторово-предметному середовищі: виклики, можливості, перспективи. *Гуманітарні студії*. 2023. №15(92). С. 52–63. DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2023-15-92-06>

Shpakova, H. V. (2020). Economic transformation of production models using the example of biosphere-compatible construction. *Economy and State*, 2, 67–71. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.2.67> (in Ukrainian)

Шпакова Г. В. Економічна трансформація моделей виробництва на прикладі біосферосумісного будівництва. *Економіка і держава*. 2020. №2. С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.2.67>

Zamula, I. V., & Shavurska, O. V. (2023). Theoretical preconditions for the development of accounting in mining enterprises under the influence of the sustainable development concept. *Economics, Management, and Administration*, 1(103), 88–98. [https://doi.org/10.26642/ema-2023-1\(103\)-88-98](https://doi.org/10.26642/ema-2023-1(103)-88-98) (in Ukrainian)

Замула І. В., Шавурська О. В. Теоретичні передумови розвитку бухгалтерського обліку на гірничодобувних підприємствах під впливом концепції сталого розвитку. *Економіка, менеджмент, адміністрування*. 2023. №1(103). С. 88–98. DOI: [https://doi.org/10.26642/ema-2023-1\(103\)-88-98](https://doi.org/10.26642/ema-2023-1(103)-88-98)

Zinchuk, T., Palamarchuk, T., & Usyuk, T. (2022). The dialectics of green economy development in the context of globalization. *Economics and Society*, 44. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-86> (in Ukrainian)

Зінчук Т., Паламарчук Т., Усюк Т. Діалектика розвитку «зеленої економіки» в умовах глобалізації. *Економіка і суспільство*. 2022. №44. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-86>

Received: 23.07.2024. **Accepted:** 25.08.2024. **Published:** 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Ілюк Н., Костенко І., Бідолах Д. Вплив антропогенної діяльності на природні ресурси: пошук стійких моделей розвитку. *Biota. Human. Technology*. 2024. №2. С. 77-88.

Cite this article in APA style as:

Iliuk, N., Kostenko, I., & Bidolakh, D. (2024). Impact of anthropogenic activities on natural resources: searching for sustainable development models. *Biota. Human. Technology*, 2, 77-88. (in Ukrainian)

Information about the authors:

Iliuk N. [*in Ukrainian: Ілюк Н.*] ¹, Ph.D. in Agriculture, Assoc. Prof., email: n.iliuk@i.ua
ORCID: 0000-0002-3296-4790

Department of Microbiology, Modern Biotechnology, Ecology and Immunology, Institute of Biomedical Technologies, Open International University of Human Development "Ukraine"
3 Lvivs'ka Street, Kyiv, 04071, Ukraine

Kostenko I. [*in Ukrainian: Костенко І.*] ², Ph.D. in Technical Sciences, Assoc. Prof., email: atrdj@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1195-5163

Department of Food Technologies and Ecology, Educational and Scientific Institute of Management, Food Technologies and Trade, Chernihiv Polytechnic National University
95 Shevchenko Street, Chernihiv, 14035, Ukraine

Bidolakh D. [*in Ukrainian: Бідолах Д.*] ³, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, email: dimbid@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0248-3731

Department of Forestry and Landscape Gardening, Faculty of Agricultural Engineering, SE NULES of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"
20 Academichna Street, Berezhany, Ternopil region, 47501, Ukraine

¹ Study design, manuscript preparation.

² Data collection, statistical analysis.

³ Statistical analysis, manuscript preparation.



**BIOTIC REGULATION
OF THE ENVIRONMENT**

БІОТИЧНА РЕГУЛЯЦІЯ ДОВКІЛЛЯ



UDC 60:338.1.014.2

Володимир Єрохін, Максим Стець

ІНТЕГРАЦІЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ У ЦИРКУЛЯРНУ ЕКОНОМІКУ



Volodymyr Yerokhin, Maksym Stets

INTEGRATION OF BIOTECHNOLOGY INTO THE CIRCULAR ECONOMY

DOI: 10.58407/bht.2.24.8

АНОТАЦІЯ

Мета. У статті підкреслюється важливість дослідження через ефективність та репрезентативність інтеграції біотехнологій в циркулярну економіку, оскільки вони забезпечують реалізацію нелінійного підходу, який сприяє додатковому прибутку і захищає довкілля від екологічних катастроф.

Методологія. Використані методи включають: а) біодеградацію та біорозкладання із застосуванням біоматеріалів, таких як органічні відходи, біополімери та біопластик, що вивчаються за допомогою біохімічних тестів, мас-спектрометрії та молекулярно-біологічних методів; б) біосинтез та біопереробку із використанням живих організмів, таких як бактерії, гриби та водорості, що піддаються генетичній модифікації для підвищення їх продуктивності та стійкості; в) біоремедіацію для дослідження біоматеріалів і мікроорганізмів, що очищують забруднені ділянки, використовуючи високоефективну рідинну хроматографію та молекулярно-генетичні методи для оцінки ефективності та екологічної безпеки; г) біоінженерію, яка включає високопродуктивні методи редагування геному.

Наукова новизна. Стрижневі засади функціонування циркулярної економіки включають відновлюваність (ремонт та повторне використання продуктів), диференціацію (вибір матеріалів, розклад яких є швидшим і безпечнішим), екологізм (використання джерел «чистої» енергії, що підвищують стійкість систем) і культурологізм (поширення екологічної парадигми для зміни споживчої поведінки).

Висновки. Інтеграція біотехнологій в циркулярну економіку має особливу важливість у контексті поточної екологічної ситуації та необхідності впровадження нелінійної економіки, яка відповідає сучасній культурі споживання. Основними перспективами є удосконалення існуючих методів, інноваційні рішення та міждисциплінарні підходи. Подальші дослідження мають бути зосереджені на вдосконаленні процесів біодеградації та впровадженні нових матеріалів, що сприятиме інтенсифікації взаємодії між науковими установами, промисловими компаніями та іншими учасниками. Біотехнології в контексті циркулярної економіки мають значний потенціал для сталого розвитку, захисту довкілля та інтенсифікації наукового прогресу через розробку нових методологій, технік та інтегративних наукових проектів.

Ключові слова: біотехнології, циркулярна економіка, лінійна економіка, нелінійна економіка, біоремедіація, біосинтез, біодеградація, біорозкладання, біопереробка, біоінженерія

ABSTRACT

Objective. The article emphasises the importance of the study because of the effectiveness and representativeness of the integration of biotechnology into the circular economy, as it provides a non-linear approach that promotes additional profits and protects the environment from environmental disasters.

Methodology. The methods used include: a) biodegradation and biodecomposition using biomaterials such as organic waste, biopolymers and bioplastics, which are studied using biochemical tests, mass spectrometry and molecular biological methods; b) biosynthesis and biorefining using living organisms such as bacteria, fungi and algae, which are genetically modified to increase their productivity and sustainability; c) bioremediation for the study of biomaterials and microorganisms that clean up contaminated sites, using high-performance liquid chromatography and molecular genetic methods to assess efficacy and environmental safety; d) bioengineering, which includes high-throughput genome editing methods.

Scientific novelty. The core principles of the circular economy include renewability (repair and reuse of products), differentiation (selection of materials whose decomposition is faster and safer), environmentalism (use of clean energy sources that increase the sustainability of systems) and culturalism (spreading the environmental paradigm to change consumer behaviour).

Conclusions. The integration of biotechnology into the circular economy is of particular importance in the context of the current environmental situation and the need to introduce a non-linear economy that meets the modern culture of

consumption. The main prospects are the improvement of existing methods, innovative solutions and interdisciplinary approaches. Further research should focus on improving biodegradation processes and introducing new materials, which will help to intensify interaction between academic institutions, industrial companies and other stakeholders. Biotechnology in the context of the circular economy has significant potential for sustainable development, environmental protection, and intensification of scientific progress through the development of new methodologies, techniques, and integrative research projects.

Key words: biotechnology, circular economy, linear economy, nonlinear economy, bioremediation, biosynthesis, biodegradation, bio-processing, bioengineering

Вступ

Проблема інтеграції біотехнологій у циркулярну економіку є доволі широкою, оскільки її динаміка корелює з диджиталізаційними процесами (зокрема – з екстраполяцією математичної парадигми до гуманітарних досліджень, тенденціями до кумулювання в сучасних наукових дослідженнях (як гуманітарних, так і природничих) інформаційних технологій тощо). Своєю чергою, останні лімітовані й детерміновані специфікою циркулярної економіки, яка є альтернативною економічною моделлю, базованою на актуалізації певних замкнених циклів в процесах виробництва, обігу та споживання (Circular economy model, 2024).

Біотехнології продуктивні й репрезентативні щодо вищезазначеного виду економіки, оскільки вони дозволяють реалізувати покладений у ній нелінійний підхід. Останній відрізняється від класичного лінійного, для якого притаманний незамкнений цикл, у межах якого використання продукту має певну етапність («придбання – використання – утилізація»). Натомість циркулярна економіка актуалізує інший підхід, продукуючи отримання додаткового прибутку (на відміну від «одноразового» вищезазначеного).

Таким чином, у межах циркулярної економіки актуалізовано такі детермінанти: а) *відновлювальність* – можливість ремонту й повторного використання навіть після завершення запланованого терміну придатності; б) *диференціація* – виявляється у підборі для використання тих матеріалів, розклад яких буде безпечним для навколишнього середовища; в) *екологізм* – використання джерел «чистої» енергії, які, своєю чергою, дозволяють підвищити стійкість систем та знизити залежність від ресурсних коливань; г) *культурологізм* – продукування розвитку тематичних норм, рухів, ідеологій тощо, які культивують видозміну споживацької поведінки: оренди замість придбання, спільного використання замість одноосібного тощо.

Неоднозначність, самотність та особлива динаміка функціонування аналізованої проблематики репрезентована у низці досліджень, у яких вивчено її побутування. Так, вищезазначена нова культура споживання яскраво висвітлена у праці Abdullah et al. (2024), у якій автори репрезентують концепцію спільного виробництва біоенергії з відновленням довкілля, аналізуючи низку її трансформаційних змін. Вчені вбачають реалізацію останньої у ідеї інтегрованого водоростево-олійнопального біопереробного заводу як економічно ефективного та інноваційного рішення для вирішення проблеми взаємозв'язку між кліматом, енергією, продовольством, водою, циркулярною економікою та сталим виробництвом енергії, а також розробкою біопродуктів.

Безпосередньо перспективи інтеграції біотехнологій щодо побутування циркулярної економіки представлено у праці (Begum et al., 2024). У ній автори стверджують, що перехід від вищезазначеної лінійної моделі економіки до циркулярної засвідчує продуктивність використання біогазових установок та біопереробних заводів у довгостроковій перспективі. Вчені підкреслюють, що актуалізація останньої позначена перетворення відходів на біоенергію, біодобрива та інші продукти з доданою вартістю з метою їх сировинної актуалізації у промисловості.

Singh et al. (2024) репрезентують своє розуміння циркулярної економіки як цілісного підходу, спрямованого на створення стійкої та відновлюваної економічної системи, яка мінімізує відходи, сприяє ефективному використанню ресурсів та збереженню навколишнього середовища. Відтак, на думку авторів, біотехнологія продуктивна щодо використання корисних мікробів, ставши фундаментальним підходом до розвитку циркулярної економіки. Дослідники вивчають, як корисні мікроби, отримані за допомогою точної біотехнології, відіграють ключову роль у трансформації

різних секторів економіки, просуваючи сталі практики, покращуючи використання ресурсів та сприяючи більш стійкому та екологічному майбутньому.

Під кутом Індустрії 4.0 репрезентують Duong Thi Binh et al. (2024) аналізовану проблематику: так, авторами здійснено комплексний огляд літератури (1998–2023 рр., 232 праці), що виявив стрижневі тенденції, лакуни в наявних дослідженнях. Вчені стверджують, що результатом вищезазначеного стала розробка всеосяжної теоретичної бази для Індустрії 4.0, спрямованої на сприяння сталості в межах циркулярної економіки, що охоплює економічні, соціальні та екологічні виміри. Дослідники підкреслюють, що вищезазначена робота засвічує зростаючий ентузіазм щодо використання інструментів Індустрії 4.0 (Інтернет речей, блокчейн тощо) для покращення управління якістю в операціях циркулярного ланцюга поставок.

Виклики та можливості моделі біоциркулярно-зеленої економіки щодо актуалізації у аграрному секторі висвітлено у праці (Jaroenkietkajorn et al., 2024) Автори розглядають теорію, концепції, підходи та інструменти оцінки сталості, що інтегрують продукти з доданою вартістю, які лежать в основі вищезазначеної моделі. Вчені репрезентують самобутність актуалізації досліджуваної моделі щодо сільськогосподарських ланцюгів доданої вартості, а також висвітлюють розроблену ними систему оцінки сталого розвитку. Дослідники акцентують увагу на потенціалі сільськогосподарських ланцюгів доданої вартості, який може бути посилений за допомогою концепції біорефінансування.

Обговорення механізму біоремедіації стічних вод шкіряної промисловості на основі моделі циркулярної економіки як стратегії очищення представлено у праці (Montalvo-Romero et al., 2024). У аналізованій праці автори акцентують увагу на тому, що забруднення, спричинене скидами стічних вод шкіряної промисловості, спричиняє різні захворювання та негативно впливає на флору і фауну. Вчені представляють біоремедіацію біотехнологічним підходом, здатним усунути токсичні забруднювачі, наслідком цього є надання переваги вищезазначеним процесам перед іншими, оскільки вони є дружніми та неінвазивними

для довкілля. Дослідники підкреслюють, що саме біоремедіація є стратегією, яка дозволяє відновлювати очищену воду для різних цілей, акцентуючи на її спрямованості на управління токсичними речовинами та забруднюючими процесами.

Процесу Фішера-Трошпа (далі – ФТ), який трансформує вугілля, біомасу або природний газ на рідкі вуглеводні шляхом утворення синтез-газу та каталітичної конверсії присвячено працю (Moreroa et al., 2024). У ній автори досліджують потенціал моделі циркулярної економіки як стратегії сталого управління стічними водами для поводження зі стічними водами ФТ. Вчені вивчають меліоративні заходи для подолання обмежень одного методу біологічного очищення – анаеробного зброджування стічних вод – шляхом вивчення комбінації додавання поживних речовин, мікробіологічного збагачення та збагачення за рахунок інтеграції відходів, отриманих з інших промислових секторів, як ключових для впровадження моделювання циркулярної економіки в оцінці вартості стічних вод ФТ.

Аналіз глибокого впливу забруднення води на екосистеми та здоров'я людини, а також вивчення інноваційних стратегій для ефективного очищення стічних вод представлено у праці (Trivedi et al., 2024). У аналізованій праці автори зазначають, що традиційні методи очищення, хоча й обмежені, створюють підґрунтя для обговорення новітніх технологій, таких як металоорганічні каркаси, лужно-активовані матеріали, молекулярна біологія та фіторемедіація. Вчені підкреслюють, що вищезазначені новаторські підходи обіцяють економічно ефективно, екологічно чисте очищення стічних вод у поєднанні з вилученням цінних сполук. Дослідники акцентують увагу на тому, що інтеграція цих рішень у практику сприяє створенню циркулярної біоекономіки, оптимізації використання ресурсів та зменшенню впливу на довкілля. Таким чином, ця праця репрезентативна щодо шляху до сталого зменшення забруднення води та максимізації ресурсів у світі, що стрімко розвивається.

Вивчення можливостей використання мінеральних субстратів, які лишаються у гірських породах після процесів біоекстракції, для вирощування сільськогосподарських культур представлено у праці (Sobral et al.,

2024). Автори зазначають, що такі залишки є природним методом удобрення, у межах якого відбувається збільшення використаних поживних речовин, необхідних для виробництва продуктів харчування, у ґрунтах, виснажених вивітрюванням/вилуговуванням або невідповідним та інтенсивним використанням хімічних добрив, не впливаючи на баланс довкілля. Дослідники підкреслюють, що існує потреба в технології відновлення елементів з електронного брухту, враховуючи, що деякі з них також використовуються як мікроелементи для людини, особливо з огляду на короткий термін служби сучасного електронного обладнання.

Розгляд аналізованої проблематики у розрізці нанотехнологій, які революціонізують сільськогосподарські та харчові відходи у слаборозвинених країнах завдяки застосуванню принципів сталого сільського господарства та циркулярної економіки, представлено у праці (Preethi et al., 2024). Автори критично оцінюють здатність нанотехнологій вирішувати проблеми управління сільськогосподарськими відходами та використанням ресурсів. Вчені стверджують, що завдяки своїй нанорозмірній специфічній інженерії нанотехнології забезпечують значне підвищення ефективності переробки відходів. Так, за допомогою наноматеріалів і нанопристроїв можна створювати сучасні датчики для моніторингу сільськогосподарських процесів у реальному часі, оптимізації ресурсів і зменшення відходів. Натомість нанокатализатори також перетворюють органічні відходи на біопаливо та сполуки на біологічній основі, підтримуючи циркулярну економіку.

Вивчення ціни продажу біопалива на основі якості (стабільності, ефективності поглинання вуглецю та вмісту важких металів щодо аналізу чистої теперішньої вартості (далі – ЧТВ), ціни беззбитковості продажу продукту та ціни обробки осаду) використані у праці O'Boyle, Mohamed, & Li (2024) для визначення прибутковості спільного піролізу порівняно з піролізом лише осаду стічних вод (далі – ОСВ) й традиційними методами обробки. Вчені вивчають ціни продажу біопалива на основі якості (стабільності, ефективності поглинання вуглецю та вмісту важких металів), які були оцінені на рівні 2,24, 1,44 та

0,98 CAD/кг для біопалива високо-, середньо- та низькосортних сортів. Дослідники підкреслюють, що ціни на останнє, розраховані на основі його вищої теплової здатності біопалива та дизельного палива, й коливалися від 0,80 до 1,22 CAD/кг. Показово, що тирса та пшенична солома були обрані як сировина для спільного піролізу з чотирма співвідношеннями змішування (20, 40, 60 та 80 мас. %). Прикметно, що, на думку авторів, аналіз чутливості показав залежність економічних показників від ринкової вартості біогазу та біопалива, що засвідчує репрезентативність аналізованої праці щодо економічного аналізу такого підходу і поглибив розуміння потенціалу спільного піролізу для виробництва біопалива та біогазу, пропонуючи інноваційні рішення для екологічних проблем утилізації ОСВ.

Отже, аналіз історіографії з досліджуваної проблематики статті засвідчив самобутність процесу актуалізації біотехнологій у циркулярній економіці, варіативність підходів, методів, практик тощо, виявивши, тим не менш, її лакунізованість. Зокрема, незважаючи на актуальність біотехнологій у контексті побутування циркулярної економіки відзначимо наявність низки прогалин (зокрема, щодо методології та інструментарію). Останнє пояснюване в контексті неусталеності природи побутування біотехнологій, що, своєю чергою, продукує принципову відкритість практики їх використання. Вищезазначене, природно, визначає спрямованість нашої роботи на узагальнення підходів до аналізованої проблематики щодо вибудовування її аналізу й методології.

Метою статті є вивчення можливостей та переваг інтеграції біотехнологій у циркулярну економіку з метою створення сталого та ефективного використання ресурсів і зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. *Гіпотезою* – інтеграція біотехнологій у циркулярну економіку може сприяти зниженню відходів, оптимізації використання ресурсів та створенню нових продуктів та матеріалів з використанням біологічних процесів. Вищезазначене може бути досягнуто шляхом використання мікроорганізмів для переробки відходів, біологічного виробництва сировини та біополімерів, а також застосування біоінженерії для покращення

процесів відновлення та використання ресурсів у замкнутому циклі.

Матеріали і методи дослідження

Побутування сучасного світу детерміноване низкою екологічних проблем й обмежень ресурсної бази, вирішенням яких є циркулярна економіка (Circular economy model, 2024). Остання репрезентована як перспективна парадигма, у межах якої можливе реальне зменшення відходів із паралельною оптимізацією використання ресурсів. Біотехнології виступають найпродуктивнішим інноваційним інструментарієм реалізації останньої, що продукує актуальність вивчення самотності їх інтеграції у її межах. При цьому стрижневими віхами вищезазначеного процесу є такі матеріали й методи:

1. *Біодеградація та біорозкладання* позначені використанням низки біоматеріалів (органічних відходів, біополімерів та біопластики), що досліджують за допомогою біохімічних тестів, мас-спектрометрії та молекулярно-біологічних методів тощо. Останні покликані визначити склад та швидкість певних реакцій (у цьому випадку – швидкість розкладу аналізованих матеріалів) (Abdullah et al., 2024)

2. *Біосинтез й біопереробка*, у процесі яких задіяно широкий спектр живих організмів (бактерії, гриби та водорості), які узвичаєно використовують для виробництва біопалива. Своєю чергою, такі мікроорганізми здебільшого зазнають генетичної модифікації задля підвищення їх продуктивності, а також стійкості до певних (зазвичай, стресових) умов (Begum et al., 2024).

3. *Біоремедіація*, використовується для вивчення біоматеріалів та мікроорганізмів різноманітної природи, які здатні очищувати забруднені ділянки. Серед найпоширеніших методів дослідження – аналітичні (високоєфективна рідкісна хроматографія та низка молекулярно-генетичних, які допомагають визначати ефективність та екологічну безпеку вищезазначених процесів (Montalvo-Romero et al., 2024; Moreroa et al., 2024; Trivedi et al., 2024).

4. *Біоінженерія*, у межах якої задіюють високопродуктивні методи генетичної інженерії, покликані продукувати організми з покращеними властивостями. Методологія роботи включає методи редагування геному (до прикладу, CRISPR-Cas9), які дозволяють

впливати на генетичний склад організмів з метою набуття ними доданої користі в контексті циркулярної економіки (Montalvo-Romero et al., 2024; Sobral et al., 2024).

Вищезазначене засвідчує широкий спектр створення екологічних стійких та ефективних систем використання ресурсів у межах актуалізації біотехнологій у циркулярній економіці. Зокрема, мовиться про експонентне зростання інновацій у вищезазначеній галузі, що продукує потребу у виробленні особливого механізму впливу на сталість та екологічний баланс глобальної економіки.

Природно, що у вищезазначеному стрижневу роль відіграють матеріали і методи дослідження, які є визначальними щодо таких ініціатив. Так, спектр застосування останніх варіюється від аналізу складу матеріалів до розвитку інноваційних технологій біопереробки тощо, що, своєю чергою, продукує вироблення ефективних, ресурсоемних та стійких рішень щодо сучасної екологічної кризи.

Результати дослідження та їх обговорення

Аналізована проблематика закономірно продукує актуальність обговорення таких положень:

1. *Самотність актуалізації біотехнологій щодо біодеградації відходів*. Дослідження репрезентативні щодо перспектив біотехнологій в контексті трансформацій органічних відходів (сільськогосподарських залишків, харчових відходів) на корисні продукти (біопаливо, біополімери та органічні добрива). Першою чергою, обговорення вищезазначеного включає врахування переваг актуалізації біотехнологій порівняно з традиційними методами переробки відходів (спалювання, сміттєзвалища).

Sobral et al. (2024) зауважують, що останнім часом електронні відходи можуть містити десятки різних елементів, таких як неблагородні метали, дорогоцінні метали, рідкоземельні та деякі важкі метали. Вчені репрезентують можливі шляхи вилучення/переробки цих металів й підкреслюють актуальність біотехнологічного підходу як ефективного способу переробки таких відходів, а також багатьох інших, що скидаються в навколишнє середовище, оскільки природні ресурси доступні в навколишньому середовищі і можуть бути

використані без особливих витрат, як, до прикладу, у випадку з багатьма мікроорганізмами.

Натомість Abdullah et al. (2024) аналізують різні типи біомаси олійної пальми та стічних вод млинів, а також технології відновлення навколишнього середовища за допомогою когенерації чистої/біоенергії на основі біодизеля, біоетанолу, біометану, біоводню, біомасла та авіаційного біопалива з використанням накопичувачів енергії та суперконденсаторів. Автори приділяють особливу увагу перетворенню біомаси та стоків у біополімери, графен, біокомпозити та MXene, а також у біохімічні речовини та для біомедичних застосувань. Вчені деталізовано розглядають важливість використання зелених та екологічно чистих процесів. У своїй праці вони пропонують економічне інтегроване вирощування водоростей у промислових умовах (зокрема, олійних пальм) для застосування в аквакультури з інклюзивними програмами розвитку громад, заснованими на філософії NEESBA, що, на їх думку, суголосно глобальним цілям сталого розвитку.

2. Ефективна актуалізація мікроорганізмів та генетично-модифікованих організмів. Полягає у використанні генетичної модифікації задля покращення низки властивостей мікроорганізмів з метою підвищення ефективності обробки біомаси та відходів. Обговорення може включати актуалізацію низки етичних та екологічних аспектів використання генетично-модифікованих продуктів з урахуванням спектра їх кореляцій з довкіллям та здоров'ям людей.

Begum et al. (2024) висвітлюють оптимальне та відповідальне використання ресурсів і розробку технологій відповідно до підходу 3R (Reduce, Reuse, and Recycle). Останнє, на їх думку, суголосно експонентному зростанню рівня переробки та повторного використання відходів, яке наближає систему до концепції циркулярної економіки, що є менш шкідливою для довкілля і прибутковішою. При цьому автори підкреслюють, що на сьогодні циркулярна економіка все ще перебуває на етапі становлення, наслідком чого місце біотехнологій у цьому процесі є несталим. Зокрема, продукція біогазових установок та біорегенераційних заводів знайде свій шлях на світовому ринку в найближчі роки. Так,

гнучкість систем біометанування/біопереробних заводів та їх здатність переробляти різноманітну сировину (органічну) для виробництва широкого спектра продуктів забезпечує роль біогазових установок та біопереробних заводів у циркулярній економіці.

3. Застосування нанотехнологій у межах біотехнологічних досліджень. Перспективність вищезазначеного напряму засвідчена низкою переваг застосування наноматеріалів щодо каталітичних властивостей та стабільності біохімічних процесів. Обговорення цього напряму репрезентативне щодо врахування генези потенційних ризиків та переваг використання наноматеріалів у біотехнологічних дослідженнях, а також їх впливу на довкілля.

V. Preethi et al. (2024) фокусуються на точному землеробстві з використанням нанотехнологій, яке підвищує врожайність сільськогосподарських культур, зменшуючи при цьому витрати ресурсів. Вчені стверджують, що цільові та регульовані технології нанорозмірного внесення добрив і пестицидів зменшують вплив на навколишнє середовище й оптимізують використання поживних речовин. Зокрема, наносенсори в сільськогосподарських системах забезпечують прийняття рішень щодо сталого ведення сільського господарства на основі даних. Таким чином, критична оцінка репрезентативна щодо відповідального та інклюзивного впровадження нанотехнологій у країнах, що розвиваються, та їх соціально-економічних наслідків. У праці запропоновано стратегічну інтеграцію нанотехнологій в аграрний сектор бідних країн для революційної переробки відходів, підвищення ефективності використання ресурсів та впровадження циркулярної економіки.

Окрім того, Duong Thi Binh et al. (2024) репрезентують низку адаптивних стратегій вищезазначеної Індустрії 4.0, які спрямовані на досягнення цілісних цілей сталого розвитку в циркулярній економіці, підкреслюючи наслідки для подальших наукових досліджень у цій динамічній галузі. Вчені зазначають, що задля сприяння диджиталізації управління якістю ланцюгів поставок, зацікавлені сторони цього ланцюга повинні проаналізувати прогалини в дослідженнях і розробити практичні плани впровадження,

використовуючи окреслену методологію, визначивши її основні, сталі компоненти.

4. *Специфіка створення біокомпозитів та біоматеріалів.* Дослідження засвідчують переваги використання біокомпозитів та біоматеріалів, що продукує зменшення залежності від необоротних ресурсів та, як наслідок, сприяє розвитку циркулярної економіки. Обговорення актуалізує переваги використання вищезазначених матеріалів порівняно з узвичаєними полімерами з своєрідним впливом на здоров'я людей та довкілля.

Jaroenkietkajorn et al. (2024) зазначають, що вищезазначена технологія (біорефінансування) становить серйозну проблему для виробництва продуктів з доданою вартістю та інвестиційних витрат. Вчені акцентують увагу на тому, що технічний розвиток процесів збору та зберігання, а також управління логістикою є пріоритетним для належного управління. Дослідники підкреслюють, що розроблена система оцінки сталого розвитку включає три інструменти (оцінка життєвого циклу, оцінка соціального життєвого циклу та аналіз витрат і вигод), які охоплюють усі виміри сталого розвитку. Характерно, що вищезазначені інструменти додатково підтримуються природоорієнтованими рішеннями, аналізом матеріальних потоків та екологічним слідом для розгляду питань збереження екосистеми, визначення пріоритетності ресурсів та обмеження екологічного потенціалу відповідно.

Вищезазначені результати актуальні щодо їх значення для розвитку циркулярної економіки, сталого використання ресурсів та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Окрім того, можна розглянути можливі напрями подальших досліджень та актуалізацію цих технологій на практиці.

Висновки та перспективи

Отже, інтеграція біотехнологій у циркулярну економіку має особливу значущість щодо актуальної екологічної ситуації, потреби у нелінійній економіці, що репрезентує сучасну культуру споживання. Так, проведене дослідження підтвердило потенціал біотехнологій щодо створення сталого використання ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля. Природно, що головними перспективами

вищезазначеного є удосконалення наявних методів та технологій, експонентне впровадження інноваційних рішень, нестандартних підходів тощо у практику.

Останнє продуковано, незважаючи на досягнуті успіхи, низкою наявних викликів, потреб тощо, які видозмінюються з часом. Так, подальші дослідження аналізованої проблематики доцільно зосередити, окрім вищезазначеної методології та технології, на вдосконаленні процесів біодеградації й впровадженні нових матеріалів у практику роботи. Це, першою чергою, можна досягти інтенсифікацією взаємодії між науковими установами, промисловими компаніями та іншими учасниками.

Такий підхід буде продуктивний, оскільки динамічний обмін знаннями та ресурсами дозволить прискорити впровадження інноваційних рішень, винайдення нових матеріалів та нестандартних підходів. Своєю чергою, вищезазначене створить нові робочі місця і зменшить залежність від необоротних ресурсів та стимулюватиме інновативність цього економічного сектора. Окрім того, такі процеси покращать якість довкілля шляхом зменшення викидів виробництва, наслідком чого стане все менша кількість екологічних катастроф.

Відтак, актуалізація біотехнологій щодо циркулярної економіки має значний потенціал в контексті сталого розвитку, збереження навколишнього середовища та інтенсифікації генези науки загалом. Першою чергою, останню вбачаємо у розробці нової сучасної, базованої на останніх дослідженнях і здобутках, методології, техніках, а також інтегративних наукових проектах, які дозволять у міжпредметному ключі дослідити ту чи ту проблему.

Вищезазначений підхід до моделі циркулярної економіки може допомогти подолати екологічні проблеми, пов'язані з стічними водами, оскільки він сприяє спільному використанню, повторному використанню та переробці ресурсів. Таким чином, принципи циркулярної економіки продуктивні для покращення відновлення ресурсів, переробки та співпраці з іншими промисловими секторами (сільське господарство, гірничодобувна промисловість) та зменшення їхнього впливу на навколишнє середовище, що підтверджує вищезазначену гіпотезу.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Abdullah, M. A., Nazir, M. S., Hussein, H. A., Shah, S. M. U., Azra, N., Iftikhar, R., ... & Hung, Y. T. (2024). New perspectives on biomass conversion and circular economy based on Integrated Algal-Oil Palm Biorefinery framework for sustainable energy and bioproducts co-generation. *Industrial Crops and Products*, 213, 118452. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118452>.
- Begum, S., Juntupally, S., Arelli, V., & Anupoju, G. R. (2024). Waste to biomethane: advent of circular economy. In *Biogas to Biomethane* (pp. 225–242). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18479-6.00007-7>.
- Circular economy model. (2024). Diya Business: website. Retrieved May 06, 2024, from <https://goo.su/SqcR> (in Ukrainian)
Модель циркулярної економіки. (2024). *Дія Бізнес* : вебсайт. URL: <https://goo.su/SqcR> (дата звернення: 06.05.24).
- Duong Thi Binh, A., Akbari, M., Le Thi Cam, H., Nguyen Canh, L., & Truong Quang, H. (2024). Forging Pathways to Circular Economy Excellence: Integrating Industry 4.0 with Quality Management. *Sustainability*, 16(7), 3053. <https://doi.org/10.3390/su16073053>.
- Jaroenkietkajorn, U., Gheewala, S. H., Mungkung, R., Jakrawatana, N., Silalertruksa, T., Lecksiwilai, N., ... & Nilsalab, P. (2024). Challenges and Opportunities of Bio-Circular-Green Economy for Agriculture. *Circular Economy and Sustainability*, P. 1–22. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00355-9>.
- Montalvo-Romero, N., Montiel-Rosales, A., Sandoval-Herazo, L. C., & Purroy-Vásquez, R. (2024). Bioremediation of Wastewater from the Tanning Industry Under a Circular Economy Model. In *Nature-based Solutions for Circular Management of Urban Water* (pp. 169–184). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50725-0_10.
- Moreroa, M., Malematja, T. P., & Ijoma, G. N. (2024). Integrating the circular economy model into the management and treatment of Fischer-Tropsch effluents-a conversion of waste to energy (biogas) opportunity. *IET Renewable Power Generation*. <https://doi.org/10.1049/rpg2.12976>.
- O'Boyle, M., Mohamed, B. A., & Li, L. Y. (2024). Co-pyrolysis of sewage sludge and biomass waste into biofuels and biochar: A comprehensive feasibility study using a circular economy approach. *Chemosphere*, 350, 141074. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.141074>.
- Preethi, B., Karmegam, N., Manikandan, S., Vickram, S., Subbaiya, R., Rajeshkumar, S., ... & Govartanan, M. (2024). Nanotechnology-powered innovations for agricultural and food waste valorization: A critical appraisal in the context of circular economy implementation in developing nations. *Process Safety and Environmental Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.100>.
- Singh, R. P., Yadav, P., Kumar, I., Kumar, A., & Gupta, R. K. (2024). Precision biotechnology using beneficial microbes as a fundamental approach to the circular economy. In *The Potential of Microbes for a Circular Economy* (pp. 73–103). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15924-4.00001-1>.
- Sobral, L. G. S., de Aguiar Sobral, L., de Oliveira, A. D. N., Silva, I. G., & de Araujo, P. C. (2024). Mineral-Metal Wastes (Bio)/Recycling: Compliance with Circular Economy. *Biotechnological Innovations in the Mineral-Metal Industry*, P. 229–244. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43625-3_13.

Trivedi, R., Upadhyay, T. K., Khan, F., Pandey, P., Kaushal, R. S., Sonkar, M., ... & Siddique, M. A. B. (2024). Innovative strategies to manage polluted aquatic ecosystem and agri-food waste for circular economy. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 100928. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2024.100928>.

Received: 24.04.2024. Accepted: 30.05.2024. Published: 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Єрохін В., Стець М. Інтеграція біотехнологій у циркулярну економіку. *Biota. Human. Technology*. 2024. №2. С. 90-98.

Cite this article in APA style as:

Yerokhin, V., & Stets, M. (2024). Integration of biotechnology into the circular economy. *Biota. Human. Technology*, 2, 90-98. (in Ukrainian)

Information about the authors:

Yerokhin V. [*in Ukrainian: Єрохін В.*] ¹, Postgraduate Student, email: exploser2@gmail.com

ORCID: 0009-0000-0224-8622

Department of Technology of Biologically Active Substances, Pharmacy and Biotechnology, Lviv Politechnic National University

12 S. Bandery Street, Lviv, 79013, Ukraine

Stets M. [*in Ukrainian: Стець М.*] ², Postgraduate Student, email: stecmaxim@gmail.com

ORCID: 0009-0002-5608-0217

Department of Technology of Biologically Active Substances, Pharmacy and Biotechnology, Lviv Politechnic National University

12 S. Bandery Street, Lviv, 79013, Ukraine

¹ Study design, data collection, manuscript preparation.

² Study design, data collection, manuscript preparation.



MAN AND HIS HEALTH
ЛЮДИНА ТА ЇЇ ЗДОРОВ'Я



UDC 616.697:615.85

Elizaveta Kadirova, Halina Tkaczenko, Piotr Kamiński,
Oleksandr Lukash, Natalia Kurhaluk

HARNESSING PHYTOTHERAPY: EXPLORING ALTERNATIVE TREATMENTS FOR MALE INFERTILITY



Єлизавета Кадирова, Галина Ткаченко, Пьотр Камінський,
Олександр Лукаш, Наталія Кургалюк

ВИКОРИСТАННЯ ФІТОТЕРАПІЇ: ВИВЧЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МЕТОДІВ ЛІКУВАННЯ ЧОЛОВІЧОГО БЕЗПЛІДДЯ

DOI: 10.58407/bht.2.24.9

ABSTRACT

Purpose: The multifaceted nature of male infertility requires innovative approaches, leading researchers to explore the potential of phytotherapy to improve reproductive health. Phytotherapy offers a promising prospect for individuals seeking alternative treatments for male infertility, harnessing the natural therapeutic properties of plant-based compounds. The aim of this work is to investigate the efficacy and mechanisms of action of phytotherapy as a promising alternative treatment for male infertility. Through a comprehensive review of existing literature and clinical trials, this research aims to elucidate the potential benefits of phytotherapeutic interventions in improving sperm quality, enhancing reproductive parameters and addressing the underlying causes of male infertility.

Methodology. We conducted a comprehensive literature search using electronic databases including PubMed, Scopus, Web of Science and Google Scholar. The search was conducted from 1970 to 2024, with no language restrictions. The following keywords and combinations of keywords were used: “phytotherapy”, “male infertility”, “herbal medicine”, “plant extracts”, “natural remedies” and “herbal supplements”. In addition, relevant articles were identified through manual searches of the reference lists of the retrieved trials and review articles. Articles were included if they met the following criteria: (1) original research articles, systematic reviews, meta-analyses and clinical trials investigating the efficacy of phytotherapy in the treatment of male infertility; (2) studies reporting outcomes related to sperm quality, reproductive hormones, semen parameters or fertility outcomes; (3) human studies involving adult men diagnosed with infertility or subfertility; (4) studies published in peer-reviewed journals.

Scientific novelty. While conventional treatments for male infertility often focus on hormonal therapies, surgery or assisted reproductive techniques, this manuscript highlights the potential of phytotherapy as an alternative approach. By exploring natural remedies derived from medicinal plants, this manuscript offers new insights into complementary strategies for the treatment of male infertility. The emphasis on alternative treatments reflects a growing interest in holistic and integrative approaches to reproductive medicine. In addition to discussing the broader concept of phytotherapy, this manuscript examines the efficacy of specific phytochemicals in the treatment of male infertility. By focusing on individual compounds and their pharmacological effects, this manuscript advances our understanding of the bioactive constituents responsible for the therapeutic effects of medicinal plants. This targeted approach allows for a more nuanced evaluation of phytotherapeutic interventions and facilitates the identification of potential drug candidates.

Conclusions. The use of various medicinal plants with benefits for male reproductive health was discussed, including *Tribulus terrestris*, *Apium graveolens*, *Withania somnifera*, *Cornus mas*, *Fumaria parviflora*, *Phoenix dactylifera* and many others, was discussed. The mechanisms by which these herbal remedies may exert their effects on sperm quality, reproductive hormones and overall fertility were also demonstrated. The role of plants as adjunctive therapies to address underlying conditions associated with male infertility, such as oxidative stress, inflammation and hormonal imbalances, was discussed. Although promising, clinical evidence for the efficacy of herbal treatments for male infertility remains limited, highlighting the need for further well-designed clinical trials and studies. Nevertheless, the integration of medicinal plants into comprehensive fertility care protocols offers a promising avenue for improving male reproductive health outcomes and warrants further exploration.

Key words: herbal medicine, male infertility, medicinal plants, phytotherapy, reproductive hormones, sperm quality

АНОТАЦІЯ

Мета: Багатостороння природа чоловічого безпліддя вимагає інноваційних підходів, що спонукає дослідників до вивчення потенціалу фітотерапії для покращення репродуктивного здоров'я. Фітотерапія пропонує багатообіцяючу перспективу для людей, які шукають альтернативні методи лікування чоловічого безпліддя, використовуючи природні терапевтичні властивості рослинних сполук. Метою цієї статті є представлення досліджень ефективності та механізмів дії фітотерапії як перспективного альтернативного лікування чоловічого безпліддя. Завдяки всебічному огляду існуючої літератури та клінічних випробувань це дослідження має на меті з'ясувати потенційні переваги фітотерапевтичних втручань у покращенні якості сперми, репродуктивних параметрів та усуненні основних причин чоловічого безпліддя.

Методологія. Ми провели комплексний пошук літератури за допомогою електронних баз даних, включаючи PubMed, Scopus, Web of Science і Google Scholar. Пошук вівся з 1970 по 2024 рік, без мовних обмежень. Використовувалися наступні ключові слова та їх поєднання: «фітотерапія», «чоловіче безпліддя», «рослинні екстракти», «природні засоби» та «трав'яні добавки». Крім того, відповідні статті були визначені шляхом пошуку в списках посилань на отримані дослідження та оглядові статті. Статті включалися в огляд, якщо вони відповідали таким критеріям: (1) оригінальні дослідницькі статті, систематичні огляди, мета-аналізи та клінічні випробування, що досліджують ефективність фітотерапії в лікуванні чоловічого безпліддя; (2) дослідження, що повідомляють про результати, пов'язані з якістю сперми, репродуктивними гормонами, параметрами сперми або результатами фертильності; (3) дослідження на людях за участю дорослих чоловіків з діагнозом безпліддя або зниження фертильності; (4) дослідження, опубліковані в рецензованих журналах.

Наукова новизна. У той час як звичайні методи лікування чоловічого безпліддя часто зосереджені на гормональній терапії, хірургії або допоміжних репродуктивних методах, ця оглядова стаття підкреслює потенціал фітотерапії як альтернативного підходу. Досліджуючи природні компоненти, отримані з лікарських рослин, ця стаття пропонує нове уявлення про додаткові стратегії лікування чоловічого безпліддя. Акцент на альтернативних методах лікування відображає зростаючий інтерес до цілісних та інтегративних підходів до репродуктивної медицини. Окрім обговорення ширшої концепції фітотерапії, у цій статті розглядається ефективність конкретних видів рослин у лікуванні чоловічого безпліддя. Зосереджуючись на окремих сполуках та їхніх фармакологічних ефектах, ця стаття покращує наше розуміння біоактивних компонентів, відповідальних за терапевтичний ефект лікарських рослин. Такий цілеспрямований підхід дозволяє проводити більш детальну оцінку фітотерапевтичних втручань і полегшує ідентифікацію потенційних препаратів-кандидатів.

Висновки. У цій статті обговорено використання різних лікарських рослин, які проявляють потенціал в лікуванні чоловічого безпліддя, в тому числі *Tribulus terrestris*, *Apium graveolens*, *Withania somnifera*, *Cornus mas*, *Fumaria parviflora*, *Phoenix dactylifera* та багато інших. Було також продемонстровано механізми, за допомогою яких ці рослини можуть впливати на якість сперми, репродуктивні гормони та загальну фертильність. Було обговорено роль рослин як допоміжної терапії для лікування основних захворювань, пов'язаних з чоловічим безпліддям, таких як окиснювальний стрес, запалення та гормональний дисбаланс. Незважаючи на багатообіцяючі, клінічні докази ефективності лікування травами чоловічого безпліддя, підкреслюється необхідність подальших добре спланованих клінічних випробувань і досліджень. Тим не менш, інтеграція лікарських рослин у комплексні протоколи моніторингу за фертильністю пропонує багатообіцяючий підхід для покращення результатів чоловічого репродуктивного здоров'я та вимагає подальших досліджень.

Ключові слова: лікарські рослини, репродуктивні гормони, фітотерапія, чоловіче безпліддя, якість сперми

Introduction

Male infertility is becoming an increasingly serious medical problem, although the mechanism of its onset remains poorly understood. Male reproductive dysfunction affects approximately half of infertile couples worldwide (Assidi, 2022). Male infertility is a multifactorial syndrome involving a wide range of disorders, a symptom of many different pathological conditions affecting both the reproductive and other systems of the body: endocrine, nervous, circulatory and immune. Many factors, including the environment, genetics, age and comorbidities, contribute to impaired sperm function (Kamiński et al., 2020; Baszyński et al., 2022; Szymanski et al., 2024).

Infertility is a medical condition characterised by the inability of a sexually active couple to conceive after one year or more of regular unprotected intercourse (or six months for women over 35) (Thonneau et al., 1991). In the last decade, the role of oxidative stress in sperm quality has received increased attention and is estimated to be a problem in 25-87 % of male infertility cases (Smits et al., 2020). In this article we will look at male infertility as one of the growing problems of the current generation.

Unfavourable demographic indicators, with a stable negative rate of natural population growth in recent decades, have forced specialists in various fields (geneticists, morphologists, immunologists, endocrinologists, gynaecologists)

cologists and urologists) to turn to the analysis of factors affecting fertility, among which infertility occupies an important place. Infertility affects an estimated 15 % of couples worldwide, or 48.5 million couples. Men are found to be solely responsible for 20-30 % of infertility cases and contribute to 50 % of cases overall. However, this figure does not accurately represent all regions of the world (Agarwal et al., 2015). According to statistics, the frequency of infertile marriages ranges from 8 to 29 % in many countries around the world. In Europe, about 10% of married couples suffer from infertility, in the USA 15 % and in Canada 17 % (Sallmén et al., 2006).

Male infertility is a growing concern within the medical community and represents a significant challenge to reproductive health. The prevalence of this condition is increasing, signalling an urgent need for comprehensive research and proactive intervention strategies (Assidi, 2022). Addressing male infertility requires a multifaceted approach that includes both medical treatments and lifestyle changes. As we face this escalating medical problem, collaboration between healthcare professionals, researchers and those affected by infertility is essential to effectively address this pressing public health issue (Kamiński et al., 2020; Baszyński et al., 2022; Szymanski et al., 2024).

The growing body of evidence supporting the efficacy of phytotherapy in improving sperm quality and reproductive parameters highlights its potential as a valuable alternative treatment for male infertility. Given the limitations and side effects associated with conventional treatments, the study of phytotherapy as an alternative approach to male infertility is gaining traction. This paper aims to investigate the efficacy and mechanisms of action of phytotherapy as a promising alternative treatment for male infertility. Through a comprehensive review of existing literature and clinical trials, this research aims to elucidate the potential benefits of phytotherapeutic interventions in improving sperm quality, enhancing reproductive parameters and addressing the underlying causes of male infertility. In addition, this study aims to identify key phytochemicals and botanical extracts with promising therapeutic properties, paving the way for the development of nature-based therapies to complement existing treatments for male infertility.

Materials and methods

We conducted a comprehensive literature search using electronic databases including PubMed, Scopus, Web of Science and Google Scholar. The search was conducted from 1970 to 2024, with no language restrictions. The following keywords and combinations of keywords were used: “phytotherapy”, “male infertility”, “herbal medicine”, “plant extracts”, “natural remedies” and “herbal supplements”. In addition, relevant articles were identified through manual searches of the reference lists of the retrieved trials and review articles.

Articles were included if they met the following criteria: (1) original research articles, systematic reviews, meta-analyses and clinical trials investigating the efficacy of phytotherapy in the treatment of male infertility; (2) studies reporting outcomes related to sperm quality, reproductive hormones, semen parameters or fertility outcomes; (3) human studies involving adult men diagnosed with infertility or subfertility; (4) studies published in peer-reviewed journals.

Analysis of modern research

Causes of infertility and traditional medical approaches to their elimination

The overall incidence of male factor infertility is estimated to be between 2.5 % and 12 %. In North America, the incidence of male factor infertility is 4.5-6 %, in Australia it is 9 % and in Eastern Europe it can be as high as 8-12 % (Agarwal et al., 2015). In the French population, the prevalence of male factor infertility was 20 %. In the French population, 20 % of all infertility cases were exclusively due to male factors (Agarwal et al., 2015), in Western Siberia 6.4 % (Philippov et al., 1998) and in Nigeria 42.4 % (Ikechebelu et al., 2003). The prevalence of infertility varies, with male infertility being less epidemiologically documented in developing countries.

Biologically, male infertility is related to disorders in the male reproductive system that prevent the successful conception of a child. Here are some of the biological aspects of male infertility (Fig. 1):

✓ Sperm quantity and quality: Too few sperm or poor sperm quality (for example, the inability of sperm to move properly or abnormalities in their structure) can cause infertility;

- ✓ Abnormalities of the reproductive system: Structural abnormalities in the organs of the reproductive system, such as birth defects, inflammation or injury, can interfere with the normal process of conception;
- ✓ Hormonal disorders: Disorders in the levels of hormones such as gonadotropins, testosterone and others can affect spermatogenesis and the function of the reproductive organs;

- ✓ Ejaculation problems: Absent or disturbed ejaculation can result in sperm not being released into the female reproductive system;
- ✓ Genetic factors: Some cases of male infertility may be due to genetic abnormalities that affect sperm production or function.



Fig. 1. An overview of the most common causes of male infertility

According to WHO recommendations (2000), 16 main nosologies have been identified, each including up to several dozen specific pathogenetic factors; 4 of the 16 diagnoses are descriptive, without indicating the true cause: idiopathic oligo-, astheno-, terato- and azoospermia. Most of the "idiopathic" forms are genetically determined and associated with mutations and polymorphisms of many genes: sperm development is regulated by more than 2000 genes, only 230 of which are located on the Y chromosome (WHO, 2000; Nuti and Krausz, 2008).

The causes of male infertility fall into three main categories: pre-testicular, testicular and post-testicular. Pre-testicular causes of infertility include extragonadal endocrine disorders such as hypothalamic, pituitary or adrenal disorders that affect spermatogenesis (Wong et al., 1978). Pretesticular causes include hypogonadotropic hypogonadism, erectile dysfunction or coital abnormalities such as retrograde ejaculation, anejaculation, genetic factors and chromosomal abnormalities (Barak and Baker, 2016).

Hypogonadotropic hypogonadism (HH), a less common aetiology compared to other

causes of male infertility, is caused by insufficient secretion of gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and/or folliculotropic hormone (FSH) and luteinising hormone (LH) (Oates, 2012). These deficiencies result in impaired androgen secretion and spermatogenesis. HH can be caused by congenital GnRH deficiency, haemochromatosis, genetic disorders, pituitary and hypothalamic tumours, hormonal disorders or medication. In addition, systemic conditions such as chronic diseases, nutritional deficiencies and obesity have been reported as causes of HH (Swee and Quinton, 2019).

Testicular disorders include tumours, orchiectomy, primitive testicular dysfunction, cryptorchidism and atrophic testes. Varicocele is associated with male infertility, most likely due to impaired testicular thermoregulation as a result of disruption of the thermoregulatory mechanism of the pampiniform venous plexus (Stillman, 1982). Epididymal dysfunction may be caused by in utero fetal exposure to estrogens, various drugs and chemical toxins, epididymal cysts, spermatoceles with or without surgery, epididymitis and may also be

idiopathic (Hikim et al, 2000). Acquired testicular failure may result from trauma, torsion of the testis, orchitis, exogenous factors (e.g. drugs, systemic diseases, varicocele) or surgery that damages the vascular structure of the testis. Varicoceles are present in about 15 % of men in the general population and about 4 0% of men with male infertility (Oates, 2012). Post-testicular failure, often called obstructive azoospermia, is caused by either ejaculatory dysfunction or obstruction of sperm transport. This form of male infertility is less common than non-obstructive azoospermia, but occurs in around 40 % of men with azoospermia. The obstruction can occur in the epididymis, vas deferens or vas deferens and can be either acquired or congenital (Oates, 2012).

It's important to note that male infertility is often multifactorial, with several factors contributing to reduced fertility. A thorough evaluation by a healthcare provider specializing in male reproductive health, such as a urologist or reproductive endocrinologist, is essential to identify the underlying causes of infertility and develop an appropriate treatment plan (Fig. 2).

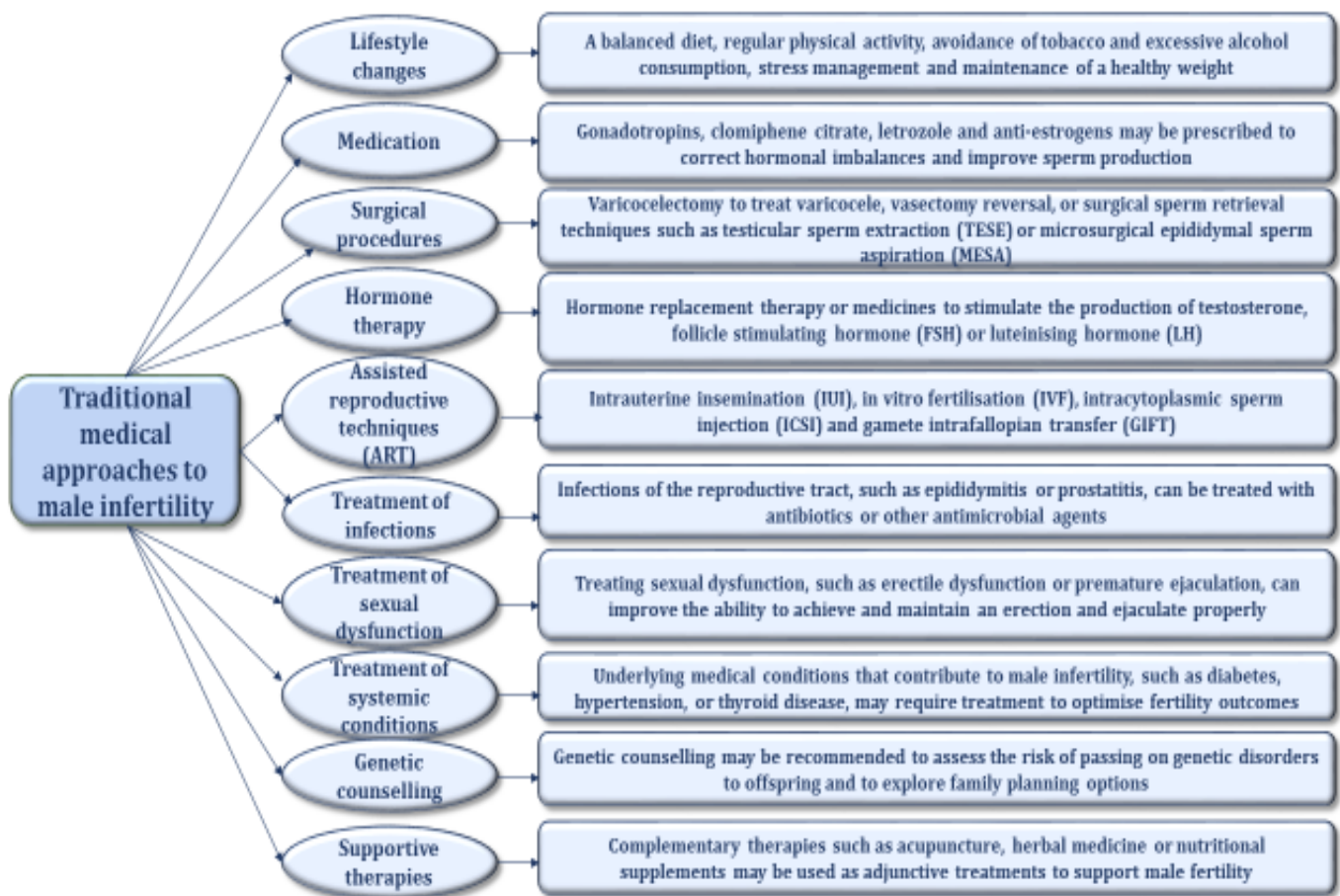


Fig. 2. Traditional medical approaches to male infertility

Prior to surgical sperm retrieval, men with azoospermia are usually prescribed replacement therapy with gonadotropins and antiestrogens, such as selective estrogen receptor modulators (SERMs) and aromatase inhibitors (Corona and Giovanni, 2015). In infertile men with hypogonadotropic hypogonadism (HH) due to lack of hypothalamic secretion (e.g. Kallmann syndrome), gonadotropin-releasing hormone (GnRH) administration replaces the GnRH deficiency. This is done by stimulating the release of FSH and LH from the anterior pituitary. Four months after the start of therapy, GnRH stimulates spermatogenesis very well. In about 85 % of patients, pulsatile GnRH therapy induces spermatogenesis (Blumenfeld et al., 1988). Gonadotropins are used to treat male infertility in men with pituitary insufficiency such as pituitary adenoma and systemic diseases such as haemochromatosis and sarcoidosis. Advances in laboratory technology have made human chorionic gonadotropin (rec-hCG), FSH (rec-hFSH) and LH (rec-hLH) more effective. Most studies show that gonadotropins induce spermatogenesis in about 80 % of men (Miyagawa et al., 2005).

Dopamine agonists are indicated for the treatment of infertility and pituitary tumours. Cabergoline is preferred because of its efficacy in normalizing prolactin levels and reducing tumour size (Webster et al., 1992). Selective estrogen receptor modulators (SERMs) are compounds that act as agonists or antagonists of estrogen receptors. SERMs such as clomiphene citrate (CC), tamoxifen and toremifene have been used in women to treat breast cancer and osteoporosis, but their use in men for hypogonadism and infertility is currently prohibited. A meta-analysis showed that the use of estrogen antagonists is associated with a significant increase in pregnancy rate, sperm concentration and sperm motility percentage (Chua et al., 2013).

Infertility in men with high levels of reactive oxygen species (ROS) in seminal fluid has been linked to sperm dysfunction and DNA damage. Taking antioxidant supplements has been suggested to improve sperm function and DNA integrity, but most studies are not randomized controlled trials. The benefits of antioxidants may be limited to certain patient groups. Pharmaceutical companies produce and sell specific combinations of antioxidants, but trials have not found significant improvements in sperm parameters or pregnancy rates. A systematic review of 17 randomized trials

found that sperm quality or pregnancy rates improved in 82 % of cases after taking antioxidants. However, there are no specific recommendations for the use of antioxidants in the treatment of male infertility and the use of these drugs is purely empirical (Rolf et al., 1999).

It's important to note that the appropriate treatment approach for male infertility depends on the underlying cause, the severity of the condition and individual patient factors. A comprehensive assessment by a healthcare provider specializing in male reproductive health is essential to determine the most appropriate treatment plan for each individual or couple facing infertility. In the search for safer and more accessible treatments, research into phytotherapy offers hope to those struggling with male infertility and highlights the importance of holistic approaches to reproductive health.

The use of plants in the prevention and treatment of male infertility

Traditional and alternative medicine is becoming an increasingly popular way of treating health conditions. This opens up a powerful new potential for traditional and alternative medicine to develop new drug combinations with fewer side effects (Timalsina et al., 2021). Herbal preparations have long been used in the complex treatment of functional sexual disorders. When sexual function is impaired due to neurohumoral disorders, there is a significant decrease in libido with preserved erection and normal ejaculation in some patients and inadequate sexual desire in others. A significant group of sexual disorders is based on mental disorders, often associated with interpersonal relationships between partners and primarily manifested by erectile dysfunction (Miroshnikov, 2005). In the treatment of these conditions, it is necessary to prescribe herbal preparations to suppress anxiety, fear and tension, relieve neurotic reactions and relax the spinal and extraspinal centers of erection and ejaculation. Prescribing these drugs can be useful for increasing the body's defenses, its immune responses, as well as for eliminating the inflammatory process of the prostate gland and stimulating all components of the copulatory cycle: neurohumoral (libido), mental, erectile, ejaculatory (orgasmic) (Miroshnikov, 2005). Many medicinal plants have attracted attention for their potential role in improving male fertility (Fig. 3).

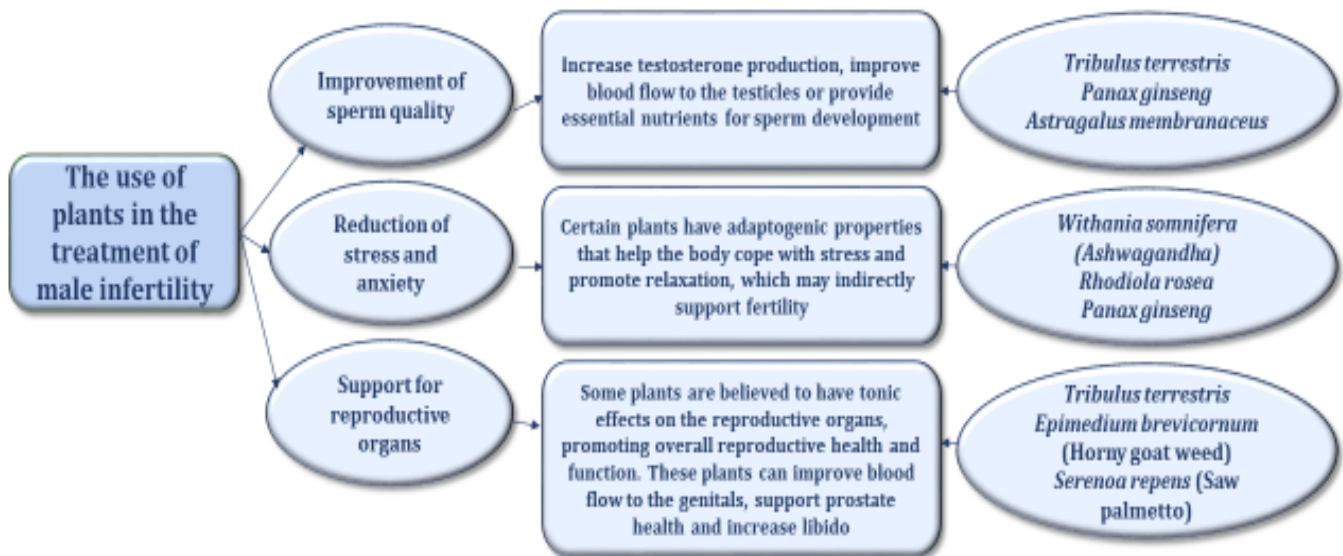


Fig. 3. The use of plants in the treatment of male infertility

It's important to note that while herbs offer potential benefits in the prevention and treatment of male infertility, more research is needed to fully understand their mechanisms of action, efficacy and safety. It's also advisable to consult a healthcare professional before incorporating herbal remedies into a fertility regimen.

Tackweed (Tribulus terrestris L.)

Tribestan, a non-hormonal drug, has been used successfully in clinical practice for 30 years to treat certain forms of male fertility disorders, erectile dysfunction, neurovegetative and neuro-psychic manifestations of menopausal and post-castration syndromes, and hypercholesterolaemia (Protich et al., 1983; Dimitrov et al., 1987; Ismail et al., 2014; Spivak et al., 2018). The active ingredient, which contains furastanol-type steroidal saponins, is extracted

from the aerial part of the ubiquitous perennial plant *Tribulus terrestris* (Fig. 4). *T. terrestris* is rich in steroidal saponins, particularly protodioscin and its derivatives. These saponins are thought to be responsible for many of the plant's pharmacological effects, including its purported benefits for male fertility. Steroidal saponins are used as raw materials in the manufacture of steroid hormones. The two predominant furastanol bigcosides in *T. terrestris*, protodioscin and protogracilin, have been tested as biologically pure substances. Protodioscin is believed to be metabolised in the body to dehydroepiandrosterone, which has beneficial effects on erectile function, immunity, cell membrane integrity and cholesterol metabolism. Other saponins found in *T. terrestris* extract are thought to modulate the effects of protodioscin (Santos et al., 2019; Sanagoo et al., 2019).



Fig. 4. Perennial plant *Tribulus terrestris* L. (<https://podlaskiogrod.pl/>)

The therapeutic effects of the drug include increased libido, improved quality of erections, increased sperm count and motility, increased serum levels of certain hormones and reduced blood cholesterol levels. Clinical studies have investigated the efficacy of Tribestan in the treatment of oligoasthenozoospermia. Ejaculate volume was within normal limits in all patients before treatment. It did not change after treatment with Tribestan. After treatment with this drug, there was an increase in the number of sperm in 1 ml of semen (not statistically significant) and an increase in sperm motility (statistically significant). In patients who had undergone surgery for varicocele, treatment with Tribestan led to an increase in sperm motility, and other sperm parameters improved insignificantly. In the third and fourth groups (patients with chronic prostatitis and chronic epididymitis), the researchers did not observe a statistically significant improvement in sperm parameters during Tribestan therapy (Protich et al., 1983).

Tribestan is currently a topical drug for the treatment of certain fertility disorders and

sexual dysfunction in men. Tribestan has the most noticeable effect on sperm quality, significantly increasing sperm motility and, to a lesser extent, their number and ejaculate volume. Prescription of the drug leads to improved erection quality and increased libido. Tribestan does not interfere with the physiological mechanisms of hormonal regulation. Long-term experience with the drug and the results of clinical studies show that there is no increase in the concentration of hormones in the blood above physiological norms. Tribestan has no contraindications and is a relatively safe drug - no serious side effects have been observed during its prescription. The undoubted above-mentioned advantages of the drug determine the possibility of its further successful use both independently and as a part of complex therapy (Popov, 2011).

Ashwagandha (Withania somnifera (L.) Dunal)

Ashwagandha (*Withania somnifera*, WS) is one of the most widely used herbal remedies for sexual dysfunction and infertility (Fig. 5).



Fig. 5. Ashwagandha (*Withania somnifera* (L.) Dunal) (<https://bananalicious.pl/>)

Dried mature roots of WS are widely used as an anti-stress agent, an aphrodisiac, and for the treatment of impotence and infertility (Kulkarni and Dhir, 2008; Ahmad et al., 2010; Mahdi et al., 2011; Durg et al., 2015, 2018). This plant is known to contain more than 80 types of phytochemicals, including steroidal and non-steroidal alkaloids, steroidal lactones and saponins, isopelleterin, anaferin, anagigrin, hygrin, cuscohygrin, tropin, pseudotropin,

sonanin, ashwagandha, sophaferrines, sonanin, pseudovitanin, somnin, somniferin, somniferin, 3-tropylthigloate, uanin, uazomin, vis uaferrin A and sitoindosides from all these components have been crucial in the treatment of WS (Mishra et al., 2000). The active constituents of WS root extract are steroidal lactones with ergostane, including withanone, withaferin, withanolides, withanolide C, sitoindosides and about 0.2 % alkaloids (Durg et al.,

2015, 2018; Kulkarni and Dhir, 2008, Mirjalili et al., 2009). Extracts of WS fruits, leaves, stems and especially roots improve sperm quality indicators such as motility and quantity in men, and also reduce the effects of chemical toxins on the gonads of men and women. WS can also enhance folliculogenesis and spermatogenesis, improve the balance of LH, FSH and testosterone, and increase gonadal weight in both sexes (Nirupama and Yajurvedi, 2015). In the male reproductive system, WS is thought to promote enzyme activity, alter oxidative stress and prevent cell apoptosis by providing metal ions (Shukla et al., 2011). WS root extracts induce alanine transaminase activity, which increases alanine content in seminal fluid, leading to a decrease in oxidative stress index and improved sperm quality (Gupta et al., 2013).

Experimental studies have shown that an aqueous extract of WS induces testicular development and spermatogenesis in immature Wistar rats and affects seminiferous tubules and folliculogenesis to induce puberty in immature female rats (Al-Qarawi et al., 2000; Abdel-Magied et al., 2001). Oral administration of high concentrations of WS root extract to healthy women has been shown to improve sexual function (Dongre et al., 2015). In addition, WS root extract showed significant activity in the treatment of libido disorders, sexual activity and penile erectile dysfunction in rats (Ilayperuma et al., 2002; Sahin et al., 2016).

Clinical studies of WS root extract have demonstrated its activity against psychogenic erectile dysfunction, improvement of sperm count and hormonal profile, and oxidative stress in infertile men (Ahmad et al., 2010; Mahdi et al., 2011; Shukla et al., 2011; Ambiyeh et al., 2013; Gupta et al., 2013). Bhattarai and colleagues demonstrated that a methanolic extract of WS releases gonadotropin-releasing hormone (GnRH) by acting on gamma-aminobutyric acid (GABA)-A receptors, leading to puberty and fertility in mice (Bhattarai et al., 2010). WS has been shown to improve reproductive function in many ways. WS extract reduced infertility in male subjects by improving semen quality, which was proposed to be due to increased enzymatic activity in seminal plasma and reduced oxidative stress. WS extract also improved LH and FSH balance, leading to folliculogenesis and increased gonadal weight, although some animal studies had concluded that WS had reversible spermicidal and infertiling effects in male subjects (Nasimi Doost Azgomi et al., 2018).

Celeriac (Apium graveolens L.)

Different parts of this plant (Fig. 6) have a wide range of biological, pharmacological and therapeutic effects, including anti-rheumatic, sedative, hypotensive, antifungal, analgesic, anti-inflammatory, detoxifying, antispasmodic, antibacterial, anti-contractile and anti-epileptic (Kooti et al., 2014).



Fig. 6. *Celeriac (Apium graveolens L.)* (<https://www.drogadonatury.pl/>)

One study showed that celery has a protective effect on the testes against sodium valproate (Hamza and Amin, 2007) and di(2-ethylhexyl) phthalate (Madkour, 2014). Studies have shown that celery protects testes from functional and structural damage and

sperm from toxicity induced by atrazine (Abarikwu et al., 2012) and quinine sulphate (Farombi et al., 2012). Kooti and co-workers (2014) investigated the effects of a hydro-alcoholic extract of celery on the histological characteristics of the testes and the number of

sex cells in male rats. There was a significant increase in the number of sperm, Sertoli cells and primary spermatocytes in the groups that received the extract, but no structural changes were observed in the groups. It appears that celery increases spermatogenesis in male rats, but has no destructive effects on testicular tissue (Kooti et al., 2014).

Cornelian cherry (Cornus mas L.)

Cornelian cherry is a fruit-bearing shrub or small tree native to Europe and parts of Asia. It is prized not only for its culinary uses, but also for its potential health benefits. The Cornelian cherry is rich in various antioxidants, including phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins. Some studies suggest that the Cornelian cherry may have anti-inflammatory properties, which could help to alleviate inflammation-related conditions such as arthritis and inflammatory bowel disease (Gastoł et al., 2013; Dinda et al., 2016). In addition, consumption of the Cornelian cherry may have a positive effect on cardiovascular health. The antioxidants found in the fruit may help lower cholesterol levels,

thereby reduce blood pressure and improve blood vessel function, reducing the risk of heart disease (Hosseinpour et al., 2017; Szot et al., 2024). The high fibre content of the Cornelian cherry may promote digestive health by supporting regular bowel movements and preventing constipation. It may also have a prebiotic effect, promoting the growth of beneficial gut bacteria (Hosseinpour-Jaghdani et al., 2017; Haghani et al., 2021). Studies have suggested that Cornelian cherry extract may have protective effects on the liver, potentially reducing liver damage caused by toxins or disease (Sangsefidi et al., 2021). Some research suggests that the bioactive compounds in Cornelian cherry may have anti-cancer properties. These compounds may inhibit the growth of cancer cells and induce apoptosis (programmed cell death) in cancer cells, although more research is needed to confirm these effects (Yousefi et al., 2015; Radbeh et al., 2020). *C. mas* fruit (Fig. 7) is used to treat inflammation, stomach pain and cramps, diarrhoea, various skin infections, intestinal parasites and haemorrhoids (Zarei and Shahrooz, 2019).



Fig. 7. Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) (<https://cornusmas.eu/>)

It was found that *C. mas* fruit extract reduced cellular atrophy by controlling the use of lipid and carbohydrate-based energy substrates via provoking the testicular antioxidant status. Cornelian cherry fruit extract, as an antioxidant compound, could reduce cellular degeneration, reduce inflammation and upregulate testicular antioxidant status. Cornelian cherry fruit extract plays a role in reducing oxidative stress by increasing total antioxidant capacity. It can be concluded that this extract may protect the reproductive organs from the side effects of methotrexate, a folic acid antagonist (Zarei et al., 2014).

Satureja khuzistanica Jamzad

Satureja khuzistanica is a plant endemic to the southern part of Iran (Fig. 8).

Its fame is due to its medicinal use as an analgesic and antiseptic in folk medicine, due to the essential oil it contains. Recent studies have shown significant antioxidant, antidiabetic, antihyperlipidemic and reproductive stimulating effects of oral administration of *S. khuzestanica* to rats (Safarnavadeh and Rastegarpanah, 2011).



Fig. 8. *Satureja khuzistanica* Jamzad. (<https://uhrohmu.com/>)

Treatment of male Wistar and albino rats with essential oil from aerial parts of *S. khuzestanica* (75, 150, 225 mg/kg/day for 45 days and 225 mg/kg/day for 28 days, orally) resulted in significant improvement in potency, fertility, fertility index and litter size and a significant reduction in post-implantation loss. *S. khuzestanica* essential oil protects the reproductive system from cyclophosphamide

toxicity through its antioxidant potential and androgenic activity (Haeri et al., 2006; Rezvanfar et al., 2008).

Fineleaf fumitory, fine-leaved fumitory or Indian fumitory (Fumaria parviflora Lam.)

Fumaria parviflora is a herbaceous plant that grows in many parts of Iran, the Indo-Pakistani subcontinent and Turkey (Fig. 9).



Fig. 9. Indian fumitory (*Fumaria parviflora* Lam.) (<https://www.maltawildplants.com/>)

The aerial parts of *F. parviflora* have been traditionally used in Iranian folk medicine for liver and biliary disorders and dermatological disorders such as scabies, eczema and acne, and as an antiscorbutic, anti-bronchitis, diuretic, expectorant, antipyretic, diaphoretic, appetite stimulant and antineoplastic (Dorostghoal et al., 2014). *F. parviflora* has been shown to have a positive effect on spermatogenesis in male rats (Heydari Nasrabadi et al., 2012). Phytochemical analysis of some plants of the genus *Fumaria* including *F. parviflora* has revealed the presence of isoquinoline alkaloids namely protopine, cryptopine, sinactine, stylophine, bicuculline,

adlumine, parfumine, fumariline, fumarophycine, fumaritine, dihydrofumariline, perfumidine and dihydrosanguirine (Suau et al., 2002). The results of Dorostghoal and co-workers (2014) showed that ethanolic extract of *F. parviflora* leaves has the potential to restore reproductive suppression associated with lead exposure and to prevent lead-induced testicular toxicity in male Wistar rats.

Date palm (Phoenix dactylifera L.)

P. dactylifera pollen (Fig. 10) is used as a traditional herbal remedy for male infertility.



Fig. 10. Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) (<https://www.gardenia.net/>)

In ancient times, this pollen was used in traditional Egyptian medicine to improve and restore male fertility (Fallahi et al., 2015; Abdi et al., 2017). In addition, the use of *P. dactylifera* pollen suspension helps to improve sperm count, motility and morphology and also causes a concomitant increase in testicular and epididymal weight. This is because it contains estradiol and flavonoid components that have a positive effect on sperm quality (Malviya et al., 2011). Research has shown that *P. dactylifera* pollen can stimulate the gonads (Ishurd and Kennedy, 2005). Palm pollen increases spermatogenesis and DNA production by improving sperm motility and morphology (Sanocka and Kurpisz, 2004). Palmitic acid and stearic acid found in date palm pollen inhibit the enzyme 5 α -reductase, so less testosterone is converted to dihydrotestosterone, which subsequently increases blood testosterone levels (Alvarez et al., 1987).

Nigerian Walnut (Plukenetia conophora Müll.Arg.)

P. conophora (Fig. 11) is a rich source of polyphenols, which are naturally occurring antioxidants that have recently attracted considerable attention for the prevention of oxidative stress-related diseases such as cancer, cardiovascular disease, degenerative diseases and infertility. The antioxidant properties, ROS scavenging and modulation of cellular function of flavonoids account for the majority of their pharmacological activity (Olaniyan et al., 2018). In 2018, Olaniyan et al. (2018) evaluated the effects of *Plukenetia conophora* (PC) and 4H-pyran-4-one 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl (DDMP) on Wistar rats with cadmium chloride-induced testicular damage. Significant increases in sperm count, motility and viability were observed in the PC-treated groups. Levels of malondialdehyde (MDA) and nitric oxide were significantly reduced. Significant increases in antioxidant enzymes, proton pump and testosterone were observed in the treated groups.



Fig. 11. Nigerian walnut (*Plukenetia conophora* Müll. Arg.) (<https://pfaf.org/>)

Other plants

The study by Olaniyan and co-workers (2021) aimed to investigate the effect of *Cocos nucifera* L. oil on lead acetate-induced reproductive toxicity in male Wistar rats. *C. nucifera* oil reduced the adverse effects of lead acetate in male Wistar rats, which may be due to its polyphenol content and antioxidant properties. The role of an aqueous extract of *Adansonia digitata* L. against cadmium chloride-induced testicular damage in Wistar rats was evaluated by Dare and co-workers (2021). The group treated with cadmium chloride plus *A. digitata* caused a significant decrease in MDA levels with a significant increase in antioxidant activity and biochemical enzymes. The aqueous extract of *A. digitata* seems to have a curative effect on cadmium chloride-induced testicular damage. This may be due to the presence of a polyphenolic compound (Dare et al., 2021). *Garcinia kola* Heckel and vitamin E show liver protection against oxygen free radicals produced by lead ions by maintaining the tissue integrity of rat testes (Dare et al., 2014). The use of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and cinnamon (*Cinnamomum verum* J. Presl) in diabetic rats significantly improved the deleterious effects of oxidative stress on spermatogenesis and fertility parameters compared to ginger and cinnamon alone. It appears that the antioxidant content of herbs can be dramatically increased when used in combination (Khaki et al., 2014). Yamamoto and co-workers (2017) investigated the effects of tomato juice consumption on seminal plasma lycopene levels and sperm parameters in infertile men and found that regular consumption of tomato juice appeared to improve sperm motility in infertile patients. Also, alcoholic extract of *Nigella sativa* L. seeds, especially at higher doses, could increase fertility potential, luteinising hormone (LH) and testosterone concentrations in male rats (Parandin et al., 2012). *Alpinia officinarum* Hance, a traditional medicine, may be effective in improving sperm morphology and sperm count in idiopathic infertility without causing adverse effects (Kolangi et al., 2019). Sadeghzadeh and co-workers (2020) investigated the antioxidant effects of *Ceratonia siliqua* L. extract on ameliorating cyclophosphamide (CP)-induced toxicity on spermatogenesis and showed that *Ceratonia* extract could significantly prevent the adverse effects of CP on sperm motility, mean

tissue MDA levels, serum total antioxidants and testosterone.

Africa is renowned for its pharmacologically rich herbs. For many centuries, many African tribes have used herbal infusions to treat and prevent disease, and infertility was no exception. Plants from the families: Fabaceae (16.9 %, 29 species), Euphorbiaceae (7.0 %, 12 species), Asteraceae (5.8 %, 10 species), Apocynaceae, Rubiaceae (5.3 %, 9 species each) and Capparaceae (4.7 %, 8 species). In ethnobotanical studies conducted in Ethiopia (Kareru et al., 2006) and South Africa (Mariuki, 2011), species from these botanical families were recognised as having aphrodisiac and fertility potential. Plants such as *Abrus precatorius* L., *Allium sativum* L., *Cola acuminata* (P. Beauv.) Schott & Endl., *Combretum hereroense* Schinz, *Mondia whitei* (Hook.f.) Skeels, *Plumbago zeylanica* L., *Ricinus communis* L. and *Syzygium guineense* (Willd.) DC. are traditionally used to treat infertility and erectile dysfunction in South Africa, Ghana (Kyarimpa et al., 2023), Cameroon, Guinea and Gabon (Muthee, 2011). Some species (*Cadaba glandulosa* Forssk., *Cadaba farinosa* Forssk., *Combretum illairii* Engl., *Hoslundia opposita* Vahl and *Allophylus pervillei* Blume) have been used to treat both female and male infertility, making them good candidates for further study of their biological activities (Table 1).

Clinical studies on the pharmacological properties of these plants have shown the following results (Tungmunnithum et al., 2018). The *Zingiber officinale* plant showed in a randomised, double-blind, placebo-controlled trial that sperm DNA fragmentation in infertile men was reduced by oral administration of 500 mg/powder for three months. In recent studies, *Whitania somnifera* root, *Alpinia officinarum*, *Nigella sativa* seeds, tomato, *Ceratonia siliqua* capsules, Y virilin, Manix capsules and Trada-fertil tablets have shown successful results in the treatment of idiopathic male infertility (Roozbeh et al., 2021). Oral Ashwagandha root has been shown to inhibit lipid peroxidation, improve sperm count and motility, and regulate reproductive hormone levels. However, the molecular mechanisms of these effects have not yet been elucidated (Sengupta et al., 2018). Numerous antioxidants such as vitamin C, vitamin E, glutathione and coenzyme Q10 have also been shown to be effective in treating male infertility (Sinclair, 2000).

Table 1

**Most commonly used plant species for the treatment of infertility
in men and women in the East African Community countries**

Medicinal plants	Parts used	Method of preparation	Route of administration	Treatment group (country)
<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv., is commonly known as the African tulip tree	Bark	Decoction	Oral use	Men (Uganda)
<i>Cadaba glandulosa</i> Forssk.	Roots	Decoction	Oral, half a glass a day for 5 days	Women and men (Kenya)
<i>Cadaba farinosa</i> Forssk.	Roots	Decoction	Oral, half a glass a day for 3 days	Women and men (Kenya)
<i>Combretum illairii</i> Engl.	Root bark	A decoction used with <i>Grewia tenax</i> (Forssk.) Fiori for men	Oral, one glass a day for 7 days	Women and men (Kenya)
<i>Hoslundia opposita</i> Vahl	Leaves	Decoction	Oral, 2-3 times a day for 14 days	Women and men (Kenya)
<i>Allophylus pervillei</i> Blume	Roots	Decoction	Oral, one glass a day for 7 days	Women and men (Kenya)

When considering the use of medicinal plants and bioactive phytochemicals in the treatment of male infertility, it's important to evaluate their potential side effects and toxicity. While natural remedies can offer therapeutic benefits, they can also pose risks, especially when taken in large quantities or without proper supervision. Some plants, such as *Abrus precatorius* L. (roots, leaves and seeds), are known to contain highly toxic compounds (abrin, precatorin and hypaphorin). It can be speculated that formulating products using more than one plant or plant part, or with the addition of excipients, may be a way of masking the toxicity of medicinal plants (Kuate, 2018). WS may cause reversible spermicidal and fertilising effects in males and delayed puberty in both sexes; this may be related to the dose, method of preparation, excipients and duration of use (Ilayperuma et al., 2002). Four plants (*Abrus precatorius*, *Catha edulis* (Vahl) Endl., *Cannabis sativa* L. and *Cryptolepis nigrescens* (Wennberg) L.Joubert & Bruyns) are highly toxic and their use may cause adverse effects (Table 2).

Future research should focus on elucidating the underlying mechanisms of action of phytotherapeutic interventions in male infertility. This includes investigating the

effects of phytochemicals on sperm production, motility, morphology and fertility, as well as their influence on reproductive hormone levels and signaling pathways. Understanding the molecular mechanisms by which medicinal plants exert their effects will provide valuable insights into their potential therapeutic targets and facilitate the development of targeted interventions (Ahmadian et al., 2022). Large-scale, well-designed clinical trials are needed to provide robust evidence on the efficacy and safety of phytotherapy in male infertility. Future studies should use rigorous methods, including randomized controlled trials with adequate sample sizes, placebo controls and long-term follow-up, to evaluate the therapeutic effects of medicinal plants on male reproductive outcomes. In addition, systematic reviews and meta-analyses should be conducted to synthesize existing evidence and inform evidence-based practice in phytotherapeutic interventions for male infertility. Furthermore, the development of personalised treatment approaches is essential to optimize the efficacy of phytotherapy in male infertility. Tailoring herbal remedies to individual patient characteristics, including age, underlying health conditions, genetic predisposition and lifestyle factors, can improve treatment outcomes and

minimize the risk of adverse effects. In addition, integrating phytotherapy with conventional fertility treatments, such as assisted reproductive techniques and lifestyle changes, can provide synergistic benefits and improve overall patient care.

In conclusion, advancing research in phytotherapy for male infertility requires a

multifaceted approach that includes mechanistic studies, standardization efforts, clinical trials, personalized medicine strategies and educational initiatives. By addressing these perspectives, we can harness the full potential of medicinal plants as alternative treatments for male infertility and improve the reproductive health outcomes of affected individuals.

Table 2

Toxicological profile of plants with reported efficacy used in the treatment of infertility

Plants	Toxicity reports	References
<i>Abrus precatorius</i> L., commonly known as jequirity bean or rosary pea	The seeds contain abrin and toxalbumin, the lethal dose for humans being 0.1-1 µg/kg. Poisoning is characterised by severe vomiting and abdominal pain, bloody diarrhoea, convulsions, sensory changes with depression of the central nervous system	(Qian et al., 2022)
Onion (<i>Allium cepa</i> L.)	Oral administration of extracts to mice at doses of 250 and 500 mg/kg/day for 30-90 days produced no visible signs of toxicity. An oral dose of 30 g/kg/day for 30 days caused hypothermia, tachypnea, tachycardia, piloerection and polyuria in treated mice	(Bastaki et al., 2021; Elattar et al., 2024)
Garlic (<i>Allium sativum</i> L.)	Onion extract caused mild changes in mice at a dose of 300 mg/kg, indicating its relative safety	(Rauf et al., 2022)
Hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.)	Cannabidiol (the main non-psychoactive component of this species) in extracts of this species is potentially toxic by inhibiting hepatic drug metabolism, altering cell viability <i>in vitro</i> , reducing fertilisation capacity, and reducing the activity of α-glycoprotein and other drug transporters	(Huestis et al., 2019; Gorelick, 2023)
Khat or qat (<i>Catha edulis</i> (Vahl) Endl.)	Raw khat can damage the liver and kidneys, altering levels of liver enzymes, urea, creatinine and electrolytes needed for liver and kidney function	(Al-Hebshi and Skaug, 2005; Engidawork, 2017)
<i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth., commonly known as sausage tree	Low to moderate toxicity	(Bello et al., 2016)
Sesame, also called benne or gingelly	The ethanolic extract showed low toxicity at a concentration of 500 mg/kg body weight	(Mili et al., 2021)
Ginger (<i>Zingiber officinale</i> Roscoe)	The extract was not toxic at a concentration of 5,000 mg/kg body weight	(Gholami-Ahangaran et al., 2021)

Conclusions

Male infertility is a significant challenge to reproductive health and requires the exploration of alternative therapeutic approaches beyond conventional treatments. This review has provided insights into the potential role of

phytotherapy in the treatment of male infertility.

The available evidence suggests that phytotherapy is a promising natural complementary therapy for male infertility. Studies have reported beneficial effects of some herbal

supplements on sperm quality, reproductive hormone levels, semen parameters and fertility outcomes in men with infertility. In addition, medicinal plants and bioactive phytochemicals have shown potential for improving male reproductive health through various mechanisms of action.

The growing body of research highlights the need for continued investigation of phytotherapy as a complementary approach to the management of male infertility. Future studies should focus on conducting well-designed clinical trials with larger sample sizes, standardized protocols and longer follow-up

periods to determine the efficacy, safety and optimal dosing regimens of phytotherapeutic interventions.

In conclusion, while phytotherapy shows promise as an alternative treatment for male infertility, more rigorous research is needed to validate its clinical utility and elucidate its mechanisms of action. Collaboration between researchers, healthcare providers and traditional practitioners is essential to improve our understanding of phytotherapeutic interventions and optimise their integration into comprehensive fertility care protocols.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Abarikwu, S. O., Pant, A. B., & Farombi, E. O. (2012). The protective effects of quercetin on the cytotoxicity of atrazine on rat Sertoli-germ cell co-culture. *International journal of andrology*, 35(4), 590–600. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.2011.01239.x>.
- Abdel-Magied, E. M., Abdel-Rahman, H. A., & Harraz, F. M. (2001). The effect of aqueous extracts of *Cynomorium coccineum* and *Withania somnifera* on testicular development in immature Wistar rats. *Journal of ethnopharmacology*, 75(1), 1–4. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00348-2](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00348-2).
- Abdi, F., Roozbeh, N., & Mortazavian, A. M. (2017). Effects of date palm pollen on fertility: research proposal for a systematic review. *BMC research notes*, 10(1), 363. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-2697-3>.
- Agarwal, A., Mulgund, A., Hamada, A., & Chyatte, M. R. (2015). A unique view on male infertility around the globe. *Reproductive biology and endocrinology: RB&E*, 13, 37. <https://doi.org/10.1186/s12958-015-0032-1>.
- Ahmad, M. K., Mahdi, A. A., Shukla, K. K., Islam, N., Rajender, S., Madhukar, D., Shankhwar, S. N., & Ahmad, S. (2010). *Withania somnifera* improves semen quality by regulating reproductive hormone levels and oxidative stress in seminal plasma of infertile males. *Fertility and sterility*, 94(3), 989–996. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2009.04.046>.
- Ahmadian, M., Salari, R., Noras, M. R., & Bahrami-Taghanaki, H. R. (2022). Herbal Medicines for Idiopathic Male Infertility: A Systematic Review. *Current drug discovery technologies*, 19(6), e200822207800. <https://doi.org/10.2174/1570163819666220820122101>.
- Al-Hebshi, N. N., & Skaug, N. (2005). Khat (*Catha edulis*) – an updated review. *Addiction biology*, 10(4), 299–307. <https://doi.org/10.1080/13556210500353020>.
- Al-Qarawi, A. A., Abdel-Rahman, H. A., El-Badry, A. A., Harraz, F., Razig, N. A., & Abdel-Magied, E. M. (2000). The effect of extracts of *Cynomorium coccineum* and *Withania somnifera* on gonadotrophins

- and ovarian follicles of immature Wistar rats. *Phytotherapy research: PTR*, 14(4), 288–290. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200006\)14:4<288::aid-ptr603>3.0.co;2-9](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200006)14:4<288::aid-ptr603>3.0.co;2-9).
- Alvarez, J. G., Touchstone, J. C., Blasco, L., & Storey, B. T. (1987). Spontaneous lipid peroxidation and production of hydrogen peroxide and superoxide in human spermatozoa. Superoxide dismutase as major enzyme protectant against oxygen toxicity. *Journal of andrology*, 8(5), 338–348. <https://doi.org/10.1002/j.1939-4640.1987.tb00973.x>.
- Ambiye, V. R., Langade, D., Dongre, S., Aptikar, P., Kulkarni, M., & Dongre, A. (2013). Clinical Evaluation of the Spermatogenic Activity of the Root Extract of Ashwagandha (*Withania somnifera*) in Oligospermic Males: A Pilot Study. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2013, 571420. <https://doi.org/10.1155/2013/571420>.
- Assidi M. (2022). Infertility in Men: Advances towards a Comprehensive and Integrative Strategy for Precision Theranostics. *Cells*, 11(10), 1711. <https://doi.org/10.3390/cells11101711>.
- Barak, S., & Baker, H. W. G. (2016). Clinical Management of Male Infertility. In K. R. Feingold (Eds.) et al., Endotext. MDText.com, Inc.
- Bastaki, S. M. A., Ojha, S., Kalasz, H., & Adeghate, E. (2021). Chemical constituents and medicinal properties of *Allium* species. *Molecular and cellular biochemistry*, 476(12), 4301–4321. <https://doi.org/10.1007/s11010-021-04213-2>.
- Baszyński, J., Kamiński, P., Bogdzińska, M., Mroczkowski, S., Szymański, M., Wasilow, K., Stanek, E., Hołderna-Bona, K., Brodzka, S., Bilski, R., Tkachenko, H., Kurhaluk, N., Stuczyński, T., Lorek, M., & Woźniak, A. (2022). Enzymatic Antioxidant Defense and Polymorphic Changes in Male Infertility. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 11(5), 817. <https://doi.org/10.3390/antiox11050817>.
- Bello, I., Shehu, M. W., Musa, M., Zaini Asmawi, M., & Mahmud, R. (2016). *Kigelia africana* (Lam.) Benth. (Sausage tree): Phytochemistry and pharmacological review of a quintessential African traditional medicinal plant. *Journal of ethnopharmacology*, 189, 253–276. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.05.049>.
- Bhattarai, J. P., Ah Park, S., & Han, S. K. (2010). The methanolic extract of *Withania somnifera* ACTS on GABAA receptors in gonadotropin releasing hormone (GnRH) neurons in mice. *Phytotherapy research: PTR*, 24(8), 1147–1150. <https://doi.org/10.1002/ptr.3088>.
- Blumenfeld, Z., Makler, A., Frisch, L., & Brandes, J. M. (1988). Induction of spermatogenesis and fertility in hypogonadotropic azoospermic men by intravenous pulsatile gonadotropin-releasing hormone (GnRH). *Gynecological endocrinology: the official journal of the International Society of Gynecological Endocrinology*, 2(2), 151–164. <https://doi.org/10.3109/09513598809023623>.
- Chua, M. E., Escusa, K. G., Luna, S., Tapia, L. C., Dofitas, B., & Morales, M. (2013). Revisiting oestrogen antagonists (clomiphene or tamoxifen) as medical empiric therapy for idiopathic male infertility: a meta-analysis. *Andrology*, 1(5), 749–757. <https://doi.org/10.1111/j.2047-2927.2013.00107.x>.
- Corona, G., Rastrelli, G., & Maggi, M. (2015). The pharmacotherapy of male hypogonadism besides androgens. *Expert opinion on pharmacotherapy*, 16(3), 369–387. <https://doi.org/10.1517/14656566.2015.993607>.
- Dare, B. J., Olaniyan, O. T., Oyeniyi, O. I., Okotie, G. E., Lawal, I. A., & Eweoya, O. (2021). Aqueous extract of *Adansonia digitata* prevents Cadmium Chloride-induced testicular damage in Wistar Rats. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*, 33(3), 347–353. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2020-0222>.

- Dare, B.J., Oyeniyi, F., Olaniyan, O. (2014). Role of antioxidant in testicular integrity. *Annual Research & Review in Biology*, 4, 998–1023. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/4453>.
- Dimitrov, M., Georgiev, P., & Vitanov, S. (1987). Prilozhenie na tribestan pri kochove sŭs smushteniia v polovata deĭnost [Use of tribestan on rams with sexual disorders]. *Veterinarno-meditsinski nauki*, 24(5), 102–110.
- Dinda, B., Kyriakopoulos, A. M., Dinda, S., Zoumpourlis, V., Thomaidis, N. S., Velegraki, A., Markopoulos, C., & Dinda, M. (2016). *Cornus mas* L. (cornelian cherry), an important European and Asian traditional food and medicine: Ethnomedicine, phytochemistry and pharmacology for its commercial utilization in drug industry. *Journal of ethnopharmacology*, 193, 670–690. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.042>.
- Dongre, S., Langade, D., & Bhattacharyya, S. (2015). Efficacy and Safety of Ashwagandha (*Withania somnifera*) Root Extract in Improving Sexual Function in Women: A Pilot Study. *BioMed research international*, 2015, 284154. <https://doi.org/10.1155/2015/284154>.
- Dorostghoal, M., Seyyednejad, S. M., & Jabari, A. (2014). Protective effects of *Fumaria parviflora* L. on lead-induced testicular toxicity in male rats. *Andrologia*, 46(4), 437–446. <https://doi.org/10.1111/and.12100>.
- Durg, S., Dhadde, S. B., Vandal, R., Shivakumar, B. S., & Charan, C. S. (2015). *Withania somnifera* (Ashwagandha) in neurobehavioural disorders induced by brain oxidative stress in rodents: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of pharmacy and pharmacology*, 67(7), 879–899. <https://doi.org/10.1111/jphp.12398>.
- Durg, S., Shivaram, S. B., & Bavage, S. (2018). *Withania somnifera* (Indian ginseng) in male infertility: An evidence-based systematic review and meta-analysis. *Phytomedicine: international journal of phytotherapy and phytopharmacology*, 50, 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2017.11.011>.
- Elattar, M. M., Darwish, R. S., Hammada, H. M., & Dawood, H. M. (2024). An ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological overview of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of ethnopharmacology*, 324, 117779. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.117779>.
- Engidawork E. (2017). Pharmacological and Toxicological Effects of *Catha edulis* F. (Khat). *Phytotherapy research: PTR*, 31(7), 1019–1028. <https://doi.org/10.1002/ptr.5832>.
- Fallahi, S., Rajaei, M., Malekzadeh, K., & Kalantar, S. M. (2015). Would *Phoenix Dactyflera* Pollen (palm seed) be considered as a treatment agent against Males' infertility? A systematic review. *Electronic physician*, 7(8), 1590–1596. <https://doi.org/10.19082/1590>.
- Farombi, E. O., Ekor, M., Adedara, I. A., Tonwe, K. E., Ojugh, T. O., & Oyeyemi, M. O. (2012). Quercetin protects against testicular toxicity induced by chronic administration of therapeutic dose of quinine sulfate in rats. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*, 23(1), 39–44. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2011-0029>.
- Gąstoł, M., Krośniak, M., Derwisz, M., & Dobrowolska-Iwanek, J. (2013). Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) juice as a potential source of biological compounds. *Journal of medicinal food*, 16(8), 728–732. <https://doi.org/10.1089/jmf.2012.0248>.
- Gholami-Ahangaran, M., Karimi-Dehkordi, M., Akbari Javar, A., Haj Salehi, M., & Ostadpoor, M. (2021). A systematic review on the effect of Ginger (*Zingiber officinale*) on improvement of biological and

- fertility indices of sperm in laboratory animals, poultry and humans. *Veterinary medicine and science*, 7(5), 1959–1969. <https://doi.org/10.1002/vms3.538>.
- Gorelick D. A. (2023). Cannabis-Related Disorders and Toxic Effects. *The New England journal of medicine*, 389(24), 2267–2275. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2212152>.
- Gupta, A., Mahdi, A. A., Shukla, K. K., Ahmad, M. K., Bansal, N., Sankhwar, P., & Sankhwar, S. N. (2013). Efficacy of *Withania somnifera* on seminal plasma metabolites of infertile males: a proton NMR study at 800 MHz. *Journal of ethnopharmacology*, 149(1), 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.06.024>.
- Haeri, S., Minaie, B., Amin, G., Nikfar, S., Khorasani, R., Esmaily, H., Salehnia, A., & Abdollahi, M. (2006). Effect of *Satureja khuzestanica* essential oil on male rat fertility. *Fitoterapia*, 77(7-8), 495–499. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.05.025>.
- Haghani, S., Hadidi, M., Pouramin, S., Adinepour, F., Hasiri, Z., Moreno, A., Munekata, P. E. S., & Lorenzo, J. M. (2021). Application of Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) Peel in Probiotic Ice Cream: Functionality and Viability during Storage. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 10(11), 1777. <https://doi.org/10.3390/antiox10111777>.
- Hamza, A. A., & Amin, A. (2007). *Apium graveolens* modulates sodium valproate-induced reproductive toxicity in rats. *Journal of experimental zoology. Part A, Ecological genetics and physiology*, 307(4), 199–206. <https://doi.org/10.1002/jez.357>.
- Heydari Nasrabadi, M., Aboutalebi, H., Naseri, M. (2012). Effect of *Fumaria parviflora* alcoholic extract on male rat reproductive system. *Journal of Medicinal Plants Research*, 10, 2004–2010. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1732>.
- Hikim, A. P., Lue, Y. H., Wang, C., Reutrakul, V., Sangsuwan, R., & Swerdloff, R. S. (2000). Posttesticular antifertility action of triptolide in the male rat: evidence for severe impairment of cauda epididymal sperm ultrastructure. *Journal of andrology*, 21(3), 431–437.
- Hosseinpour, F., Shomali, T., & Rafieian-Kopaei, M. (2017). Hypocholesterolemic activity of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits. *Journal of complementary & integrative medicine*, 14(4), /j/jcim.2017.14.issue-4/jcim-2017-0007/jcim-2017-0007.xml. <https://doi.org/10.1515/jcim-2017-0007>.
- Hosseinpour-Jaghdani, F., Shomali, T., Gholipour-Shahraki, S., Rahimi-Madiseh, M., & Rafieian-Kopaei, M. (2017). *Cornus mas*: a review on traditional uses and pharmacological properties. *Journal of complementary & integrative medicine*, 14(3), /j/jcim.2017.14.issue-3/jcim-2016-0137/jcim-2016-0137.xml. <https://doi.org/10.1515/jcim-2016-0137>.
- Huestis, M. A., Solimini, R., Pichini, S., Pacifici, R., Carlier, J., & Busardò, F. P. (2019). Cannabidiol Adverse Effects and Toxicity. *Current neuropharmacology*, 17(10), 974–989. <https://doi.org/10.2174/1570159X17666190603171901>.
- Ikechebelu, J. I., Adinma, J. I., Orié, E. F., & Ikegwuonu, S. O. (2003). High prevalence of male infertility in southeastern Nigeria. *Journal of obstetrics and gynaecology: the journal of the Institute of Obstetrics and Gynaecology*, 23(6), 657–659. <https://doi.org/10.1080/01443610310001604475>.
- Ilayperuma, I., Ratnasooriya, W. D., & Weerasooriya, T. R. (2002). Effect of *Withania somnifera* root extract on the sexual behaviour of male rats. *Asian journal of andrology*, 4(4), 295–298.
- Ishurd, O., & Kennedy, J.F. (2005). The anti-cancer activity of polysaccharide prepared from Libyan dates (*Phoenix dactylifera* L.) *Carbohydrate Polymers*, 59(4), 531–535. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.11.004>.

- Ismail, S. B., Bakar, M. B., Nik Hussain, N. H., Norhayati, M. N., Sulaiman, S. A., Jaafar, H., Draman, S., Ramli, R., & Wan Yusoff, W. Z. (2014). Comparison on the Effects and Safety of Tualang Honey and Tribestan in Sperm Parameters, Erectile Function, and Hormonal Profiles among Oligospermic Males. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2014, 126138. <https://doi.org/10.1155/2014/126138>.
- Kamiński, P., Baszyński, J., Jerzak, I., Kavanagh, B. P., Nowacka-Chiari, E., Polanin, M., Szymański, M., Woźniak, A., & Kozera, W. (2020). External and Genetic Conditions Determining Male Infertility. *International journal of molecular sciences*, 21(15), 5274. <https://doi.org/10.3390/ijms21155274>.
- Kareru, P. G., Kenji, G. M., Gachanja, A. N., Keriko, J. M., & Mungai, G. (2006). Traditional medicines among the Embu and Mbeere peoples of Kenya. *African journal of traditional, complementary, and alternative medicines: AJTCAM*, 4(1), 75–86. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v4i1.31193>.
- Khaki, A., Khaki, A. A., Hajhosseini, L., Golzar, F. S., & Ainehchi, N. (2014). The anti-oxidant effects of ginger and cinnamon on spermatogenesis dysfunction of diabetes rats. *African journal of traditional, complementary, and alternative medicines: AJTCAM*, 11(4), 1–8. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v11i4.1>.
- Kolangi, F., Shafi, H., Memariani, Z., Kamalinejad, M., Bioos, S., Jorsaraei, S. G. A., Bijani, A., Shirafkan, H., & Mozaffarpur, S. A. (2019). Effect of *Alpinia officinarum* Hance rhizome extract on spermatogram factors in men with idiopathic infertility: A prospective double-blinded randomised clinical trial. *Andrologia*, 51(1), e13172. <https://doi.org/10.1111/and.13172>.
- Kooti, W., Mansouri, E., Ghasemiboroon, M., Harizi, M., Ashtary-Larky, D., & Afrisham, R. (2014). The Effects of Hydroalcoholic Extract of *Apium graveolens* Leaf on the Number of Sexual Cells and Testicular Structure in Rat. *Jundishapur journal of natural pharmaceutical products*, 9(4), e17532. <https://doi.org/10.17795/jjnpp-17532>.
- Kuete V. (2014). Physical, hematological, and histopathological signs of toxicity induced by African medicinal plants. In book: Toxicological Survey of African Medicinal Plants. Editors: Kuete V., Edition: 1, Chapter: 22, Publisher: Elsevier, London, pp. 635-658. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800018-2.00022-4>.
- Kulkarni, S. K., & Dhir, A. (2008). *Withania somnifera*: an Indian ginseng. *Progress in neuro-psychopharmacology & biological psychiatry*, 32(5), 1093–1105. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2007.09.011>.
- Kyarimpa, C., Nagawa, C. B., Omara, T., Odongo, S., Ssebugere, P., Lugasi, S. O., & Gumula, I. (2023). Medicinal Plants Used in the Management of Sexual Dysfunction, Infertility and Improving Virility in the East African Community: A Systematic Review. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2023, 6878852. <https://doi.org/10.1155/2023/6878852>.
- Madkour N. K. (2014). Beneficial role of celery oil in lowering the di(2-ethylhexyl) phthalate-induced testicular damage. *Toxicology and industrial health*, 30(9), 861–872. <https://doi.org/10.1177/0748233712464808>.
- Mahdi, A. A., Shukla, K. K., Ahmad, M. K., Rajender, S., Shankhwar, S. N., Singh, V., & Dalela, D. (2009). *Withania somnifera* Improves Semen Quality in Stress-Related Male Fertility. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, Advance online publication. <https://doi.org/10.1093/ecam/nep138>.

- Malviya, N., Jain, S., Gupta, V. B., & Vyas, S. (2011). Recent studies on aphrodisiac herbs for the management of male sexual dysfunction – a review. *Acta poloniae pharmaceutica*, 68(1), 3–8.
- Mili, A., Das, S., Nandakumar, K., & Lobo, R. (2021). A comprehensive review on *Sesamum indicum* L.: Botanical, ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological aspects. *Journal of ethnopharmacology*, 281, 114503. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114503>.
- Mirjalili, M. H., Moyano, E., Bonfill, M., Cusido, R. M., & Palazón, J. (2009). Steroidal lactones from *Withania somnifera*, an ancient plant for novel medicine. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 14(7), 2373–2393. <https://doi.org/10.3390/molecules14072373>.
- Miroshnikov V.M. (2005). Medicinal plants and herbal preparations in urology. Moscow, MEDpress-inform. (in Russian)
- Mishra, L. C., Singh, B. B., & Dagenais, S. (2000). Scientific basis for the therapeutic use of *Withania somnifera* (ashwagandha): a review. *Alternative medicine review: a journal of clinical therapeutic*, 5(4), 334–346.
- Miyagawa, Y., Tsujimura, A., Matsumiya, K., Takao, T., Tohda, A., Koga, M., Takeyama, M., Fujioka, H., Takada, S., Koide, T., & Okuyama, A. (2005). Outcome of gonadotropin therapy for male hypogonadotropic hypogonadism at university affiliated male infertility centers: a 30-year retrospective study. *The Journal of urology*, 173(6), 2072–2075. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0000158133.09197.f4>.
- Muriuki, J. (2011). Medicinal trees in smallholder agroforestry systems: assessing some factors influencing cultivation by farmers East of Mt Kenya, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Dissertation, Vienna, 2011.
- Muthee, J. K., Gakuya, D. W., Mbaria, J. M., Kareru, P. G., Mulei, C. M., & Njonge, F. K. (2011). Ethnobotanical study of anthelmintic and other medicinal plants traditionally used in Loitokitok district of Kenya. *Journal of ethnopharmacology*, 135(1), 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.02.005>.
- Nasimi Doost Azgomi, R., Zomorodi, A., Nazemyieh, H., Fazljou, S. M. B., Sadeghi Bazargani, H., Nejatbakhsh, F., Moini Jazani, A., & Ahmadi AsrBadr, Y. (2018). Effects of *Withania somnifera* on Reproductive System: A Systematic Review of the Available Evidence. *BioMed research international*, 2018, 4076430. <https://doi.org/10.1155/2018/4076430>.
- Nirupama, M. & Yajurvedi, H. (2015). Efficacy of Ashwagandha (*Withania somnifera* L.) root extracts in preventing stress induced testicular damage in rat. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 2(7), 413–424.
- Nuti, F., & Krausz, C. (2008). Gene polymorphisms/mutations relevant to abnormal spermatogenesis. *Reproductive biomedicine online*, 16(4), 504–513. [https://doi.org/10.1016/s1472-6483\(10\)60457-9](https://doi.org/10.1016/s1472-6483(10)60457-9).
- Oates R. (2012). Evaluation of the azoospermic male. *Asian journal of andrology*, 14(1), 82–87. <https://doi.org/10.1038/aja.2011.60>.
- Olaniyan, O. T., Kunle-Alabi, O. T., & Raji, Y. (2018). Protective effects of methanol extract of *Plukenetia conophora* seeds and 4H-Pyran-4-One 2,3-Dihydro-3,5-Dihydroxy-6-Methyl on the reproductive function of male Wistar rats treated with cadmium chloride. *JBRA assisted reproduction*, 22(4), 289–300. <https://doi.org/10.5935/1518-0557.20180048>.
- Olaniyan, O. T., Ojewale, O. A., Dare, A., Adebayo, O., Enyojo, J. E., Okotie, G. E., Adetunji, C. O., Mada, B. S., Okoli, B. J., & Eweoya, O. O. (2021). *Cocos nucifera* L. oil alleviates lead acetate-induced

- reproductive toxicity in sexually-matured male Wistar rats. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*, 33(3), 297–303. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2020-0281>.
- Parandin, R., Yousofvand, N., & Ghorbani, R. (2012). The enhancing effects of alcoholic extract of *Nigella sativa* seed on fertility potential, plasma gonadotropins and testosterone in male rats. *Iranian journal of reproductive medicine*, 10(4), 355–362.
- Philippov, O. S., Radionchenko, A. A., Bolotova, V. P., Voronovskaya, N. I., & Potemkina, T. V. (1998). Estimation of the prevalence and causes of infertility in western Siberia. *Bulletin of the World Health Organization*, 76(2), 183–187.
- Popov S.V. (2011). The use of Tribestan in the treatment of andrological diseases. *Russian Medical Journal*, 16, 1013.
- Protich, M., Tsvetkov, D., Nalbanski, B., Stanislavov, R., & Katsarova, M. (1983). Klinichno izpitvane na preparata tribestan pri infertilni mužhe [Clinical trial of a tribestan preparation in infertile men]. *Akusherstvo i ginekologija*, 22(4), 326–329.
- Qian, H., Wang, L., Li, Y., Wang, B., Li, C., Fang, L., & Tang, L. (2022). The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Abrus precatorius* L.: A comprehensive review. *Journal of ethnopharmacology*, 296, 115463. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115463>.
- Radbeh, Z., Asefi, N., Hamishehkar, H., Roufegarinejad, L., & Pezeshki, A. (2020). Novel carriers ensuring enhanced anti-cancer activity of *Cornus mas* (cornelian cherry) bioactive compounds. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 125, 109906. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.109906>.
- Rauf, A., Abu-Izneid, T., Thiruvengadam, M., Imran, M., Olatunde, A., Shariati, M. A., Bawazeer, S., Naz, S., Shirooie, S., Sanches-Silva, A., Farooq, U., & Kazhybayeva, G. (2022). Garlic (*Allium sativum* L.): Its Chemistry, Nutritional Composition, Toxicity, and Anticancer Properties. *Current topics in medicinal chemistry*, 22(11), 957–972. <https://doi.org/10.2174/1568026621666211105094939>.
- Rezvanfar, M., Sadrkhanlou, R., Ahmadi, A., Shojaei-Sadee, H., Rezvanfar, M., Mohammadirad, A., Salehnia, A., & Abdollahi, M. (2008). Protection of cyclophosphamide-induced toxicity in reproductive tract histology, sperm characteristics, and DNA damage by an herbal source; evidence for role of free-radical toxic stress. *Human & experimental toxicology*, 27(12), 901–910. <https://doi.org/10.1177/0960327108102046>.
- Rolf, C., Cooper, T. G., Yeung, C. H., & Nieschlag, E. (1999). Antioxidant treatment of patients with asthenozoospermia or moderate oligoasthenozoospermia with high-dose vitamin C and vitamin E: a randomized, placebo-controlled, double-blind study. *Human reproduction (Oxford, England)*, 14(4), 1028–1033. <https://doi.org/10.1093/humrep/14.4.1028>.
- Roosbeh, N., Amirian, A., Abdi, F., & Haghdoost, S. (2021). A Systematic Review on Use of Medicinal Plants for Male Infertility Treatment. *Journal of family & reproductive health*, 15(2), 74–81. <https://doi.org/10.18502/jfrh.v15i2.6447>.
- Sadeghzadeh, F., Sadeghzadeh, A., Changizi-Ashtiyani, S., Bakhshi, S., Mashayekhi, F. J., Mashayekhi, M., Poorcheraghi, H., Zarei, A., & Jafari, M. (2020). The effect of hydro-alcoholic extract of *Ceratonia Siliqua* L. on spermatogenesis index in rats treated with cyclophosphamide: An experimental study. *International journal of reproductive biomedicine*, 18(4), 295–306. <https://doi.org/10.18502/ijrm.v13i4.6892>.

- Safarnavadeh, T., & Rastegarpanah, M. (2011). Antioxidants and infertility treatment, the role of *Satureja Khuzestanica*: A mini-systematic review. *Iranian journal of reproductive medicine*, 9(2), 61–70.
- Sahin, K., Orhan, C., Akdemir, F., Tuzcu, M., Gencoglu, H., Sahin, N., Turk, G., Yilmaz, I., Ozercan, I. H., & Juturu, V. (2016). Comparative evaluation of the sexual functions and NF- κ B and Nrf2 pathways of some aphrodisiac herbal extracts in male rats. *BMC complementary and alternative medicine*, 16(1), 318. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1303-x>.
- Sallmén, M., Sandler, D. P., Hoppin, J. A., Blair, A., & Baird, D. D. (2006). Reduced fertility among overweight and obese men. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 17(5), 520–523. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000229953.76862.e5>.
- Sanagoo, S., Sadeghzadeh Oskouei, B., Gassab Abdollahi, N., Salehi-Pourmehr, H., Hazhir, N., & Farshbaf-Khalili, A. (2019). Effect of *Tribulus terrestris* L. on sperm parameters in men with idiopathic infertility: A systematic review. *Complementary therapies in medicine*, 42, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2018.09.015>.
- Sangsefidi, Z. S., Yarhosseini, F., Hosseinzadeh, M., Ranjbar, A., Akhondi-Meybodi, M., Fallahzadeh, H., & Mozaffari-Khosravi, H. (2021). The effect of (*Cornus mas* L.) fruit extract on liver function among patients with nonalcoholic fatty liver: A double-blind randomized clinical trial. *Phytotherapy research: PTR*, 35(9), 5259–5268. <https://doi.org/10.1002/ptr.7199>.
- Sanocka, D., & Kurpisz, M. (2004). Reactive oxygen species and sperm cells. *Reproductive biology and endocrinology: RB&E*, 2, 12. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-2-12>.
- Santos, H. O., Howell, S., & Teixeira, F. J. (2019). Beyond tribulus (*Tribulus terrestris* L.): The effects of phytotherapies on testosterone, sperm and prostate parameters. *Journal of ethnopharmacology*, 235, 392–405. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.02.033>.
- Sengupta, P., Agarwal, A., Pogrebetskaya, M., Roychoudhury, S., Durairajanayagam, D., & Henkel, R. (2018). Role of *Withania somnifera* (Ashwagandha) in the management of male infertility. *Reproductive biomedicine online*, 36(3), 311–326. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2017.11.007>.
- Shukla, K. K., Mahdi, A. A., Mishra, V., Rajender, S., Sankhwar, S. N., Patel, D., & Das, M. (2011). *Withania somnifera* improves semen quality by combating oxidative stress and cell death and improving essential metal concentrations. *Reproductive biomedicine online*, 22(5), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2011.01.010>.
- Sinclair S. (2000). Male infertility: nutritional and environmental considerations. *Alternative medicine review: a journal of clinical therapeutic*, 5(1), 28–38.
- Smits, R., D'Hauwers, K., IntHout, J., Braat, D., & Fleischer, K. (2020). Impact of a nutritional supplement (Impryl) on male fertility: study protocol of a multicentre, randomised, double-blind, placebo-controlled clinical trial (SUPpleMent Male fERTility, SUMMER trial). *BMJ open*, 10(7), e035069. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-035069>.
- Spivak, L. G., Platonova, D. V., Enikeev, D. V., Rapoport, L. M., Vinarov, A. Z., & Demidko, Y. L. (2018). [Results of a comparative multi-center randomized clinical study of efficacy and safety of EFFEX Tribulus and Tribestan in patients with erectile dysfunction]. *Urologiia (Moscow, Russia: 1999)*, (2), 54–61.
- Stillman R. J. (1982). *In utero* exposure to diethylstilbestrol: adverse effects on the reproductive tract and reproductive performance and male and female offspring. *American journal of obstetrics and gynecology*, 142(7), 905–921. [https://doi.org/10.1016/s0002-9378\(16\)32540-6](https://doi.org/10.1016/s0002-9378(16)32540-6).

- Suau, R., Cabezudo, B., Rico, R., Nájera, F., & López-Romero, J. M. (2002). Direct determination of alkaloid contents in *Fumaria* species by GC-MS. *Phytochemical analysis: PCA*, 13(6), 363–367. <https://doi.org/10.1002/pca.669>.
- Swee, D. S., & Quinton, R. (2019). Managing congenital hypogonadotropic hypogonadism: a contemporary approach directed at optimizing fertility and long-term outcomes in males. *Therapeutic advances in endocrinology and metabolism*, 10, 2042018819826889. <https://doi.org/10.1177/2042018819826889>.
- Szot, I., Łysiak, G. P., Sosnowska, B., & Chojdak-Łukasiewicz, J. (2024). Health-Promoting Properties of Anthocyanins from Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) Fruits. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 29(2), 449. <https://doi.org/10.3390/molecules29020449>.
- Szymanski, M., Janicki, R., Kaminski, P., Wasilow, K., Soltysiak, J., Szyca, R., Szymanska, A., & Arabik, M. (2024). Clinical use of redox biomarkers for diagnosis of male infertility. *Ginekologia polska*, 10.5603/gpl.98046. Advance online publication. <https://doi.org/10.5603/gpl.98046>.
- Thonneau, P., Marchand, S., Tallec, A., Ferial, M. L., Ducot, B., Lansac, J., Lopes, P., Tabaste, J. M., & Spira, A. (1991). Incidence and main causes of infertility in a resident population (1,850,000) of three French regions (1988-1989). *Human reproduction (Oxford, England)*, 6(6), 811–816. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.humrep.a137433>.
- Timalsina, D., Devkota, H. P., Bhusal, D., & Sharma, K. R. (2021). *Catunaregam spinosa* (Thunb.) Tirveng: A Review of Traditional Uses, Phytochemistry, Pharmacological Activities, and Toxicological Aspects. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2021, 3257732. <https://doi.org/10.1155/2021/3257732>.
- Tungmunnithum, D., Thongboonyou, A., Pholboon, A., & Yangsabai, A. (2018). Flavonoids and Other Phenolic Compounds from Medicinal Plants for Pharmaceutical and Medical Aspects: An Overview. *Medicines (Basel, Switzerland)*, 5(3), 93. <https://doi.org/10.3390/medicines5030093>.
- Webster, J., Piscitelli, G., Polli, A., D'Alborton, A., Falsetti, L., Ferrari, C., Fioretti, P., Giordano, G., L'Hermite, M., & Ciccarelli, E. (1992). Dose-dependent suppression of serum prolactin by cabergoline in hyperprolactinaemia: a placebo controlled, double blind, multicentre study. European Multicentre Cabergoline Dose-finding Study Group. *Clinical endocrinology*, 37(6), 534–541. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2265.1992.tb01485.x>.
- WHO Manual for the Standardized Investigation, Diagnosis and Management of the Infertile Male. (2000). Cambridge University Press, No 91.
- Wong, T. W., Straus, F. H., Jones, T. M., & Warner, N. E. (1978). Pathological aspects of the infertile testis. *The Urologic clinics of North America*, 5(3), 503–530.
- Yamamoto, Y., Aizawa, K., Mieno, M., Karamatsu, M., Hirano, Y., Furui, K., Miyashita, T., Yamazaki, K., Inakuma, T., Sato, I., Suganuma, H., & Iwamoto, T. (2017). The effects of tomato juice on male infertility. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 26(1), 65–71. <https://doi.org/10.6133/apjcn.102015.17>.
- Yousefi, B., Abasi, M., Abbasi, M. M., & Jahanban-Esfahlan, R. (2015). Anti-Proliferative Properties of *Cornus mass* Fruit in Different Human Cancer Cells. *Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP*, 16(14), 5727–5731. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2015.16.14.5727>.
- Zarei, L., & Shahrooz, R. (2019). Protective effects of *Cornus mas* fruit extract on methotrexate-induced alterations in mice testicular tissue: Evidences for histochemical and histomorphometrical

changes in an animal model study. *Veterinary research forum: an international quarterly journal*, 10(4), 307–313. <https://doi.org/10.30466/vrf.2019.69516.1955>.

Zarei, L., Sadrkhanlou, R., Shahrooz, R., Malekinejad, H., Eilkhani-zadeh, B., & Ahmadi, A. (2014). Protective effects of vitamin E and *Cornus mas* fruit extract on methotrexate-induced cytotoxicity in sperms of adult mice. *Veterinary research forum: an international quarterly journal*, 5(1), 21–27.

Received: 25.05.2024. Accepted: 28.07.2024. Published: 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Kadirova E., Tkaczenko H., Kamiński P., Lukash O., Kurhaluk N. Harnessing phytotherapy: exploring alternative treatments for male infertility. *Biota. Human. Technology*. 2024. №2. P. 100-124.

Cite this article in APA style as:

Kadirova, E., Tkaczenko, H., Kamiński, P., Lukash, O., & Kurhaluk, N. (2024). Harnessing phytotherapy: exploring alternative treatments for male infertility. *Biota. Human. Technology*, 2, 100-124.

Information about the authors:

Kadirova E. [*in Ukrainian: Кадирова Є.*]¹, Student, e-mail: k.elizavetamail@gmail.com
ORCID: 0009-0008-2185-4327

Department of Developmental, Neural, and Behavioral Biology, Georg-August-Universität Göttingen, 1 Wilhelmsplatz (Aula), Göttingen, 37073, Germany

Tkaczenko H. [*in Ukrainian: Ткаченко Г.*]², Dr. of Biol. Sc., Prof., email: halina.tkaczenko@upsl.edu.pl

ORCID: 0000-0003-3951-9005 Scopus-Author ID: 16032082200

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

Kamiński P. [*in Ukrainian: Камінський П.*]³, Dr. of Biol. Sc., Prof., email: piotr.kaminski@cm.umk.pl; p.kaminski@wnb.uz.zgora.pl
ORCID: 0000-0003-1978-6018

Division of Ecology and Environmental Protection, Department of Biology and Medical Biochemistry, Faculty of Medicine, Collegium Medicum in Bydgoszcz, Nicolaus Copernicus University in Toruń

M. Skłodowska-Curie St. 9, PL 85-094 Bydgoszcz, Poland

Department of Biotechnology, Institute of Biological Sciences, Faculty of Biological Sciences, University of Zielona Góra
1 Prof. Szafran Street, Zielona Góra, PL 65-516, Poland

Lukash O. [*in Ukrainian: Лукаш О.*]⁴, Dr. of Biol. Sc., Prof., email: lukash2011@ukr.net

ORCID: 0000-0003-2702-6430 Scopus-Author ID: 57202369398

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

Kurhaluk N. [*in Ukrainian: Кургалюк Н.*]⁵, Dr. of Biol. Sc., Prof., email: natalia.kurhaluk@upsl.edu.pl

ORCID: 0000-0002-4669-1092 Scopus-Author ID: 55520986600

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

¹ Data collection, manuscript preparation.

² Study design, data collection, manuscript preparation.

³ Data collection.

⁴ Manuscript preparation.

⁵ Study design.

UDC 616.15:578.834.1COVID-19

Юлія Іваницька

**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ГЕМАТОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ХВОРИХ НА COVID-19**

Yuliia Ivanytska

**COMPLEX ANALYSIS OF HEMATOLOGICAL INDICATORS
OF PATIENTS WITH COVID-19**

DOI: 10.58407/bht.2.24.10

ABSTRACT

Метою роботи було виявити значення гематологічних параметрів, які вказують на «типову» та «атипову» імунні відповіді організму людини на дію вірусу SARS-CoV-2.

Методологія. В основу дослідження покладені результати лабораторної діагностики, проведеної на основі використання автоматичного гематологічного аналізатора BC-6000 MINDRAY на базі Комунального Підприємства «Олександрівська клінічна лікарня міста Києва» для контрольної та досліджуваної групи – хворих, для яких клінічно встановлено діагноз «Covid-19, середній ступінь тяжкості».

Наукова новизна. Подальшого розвитку набуло обґрунтування біохімічних процесів, які відображають імунні відповіді організму людини на дію вірусу SARS-CoV-2, який спричиняє коронавірусну хворобу Covid-19.

Висновки. Серед біологічних маркерів «типової імунної відповіді» організму хворих на Covid-19 обрано: збільшення порівняно з референтними значеннями рівня лейкоцитів WBC (лейкоцитоз), гранулоцитів GRA, зменшення рівня лімфоцитів LYM (лімфопенія), що супроводжується нейтрофіліозом. На основі одержаних результатів серед членів досліджуваної групи виявлено умовну «групу ризику», для яких клінічно лікарями встановлений діагноз «Covid-19, середній ступінь тяжкості», мають «атипову імунну відповідь» організму на дію вірусу SARS-CoV-2: рівні лейкоцитів WBC, лімфоцитів LYM, гранулоцитів GRA знаходилися переважно в межах референтних значень або наближені до нижньої межі референтних значень. Визначено додаткові біологічні маркери, які вказують на «атипову імунну відповідь» організму на коронавірусну інфекцію Covid-19: однаковий рівень концентрації лімфоцитів (LYM) та нейтрофілів на лейкоцитарній гістограмі WBC; зменшення порівняно з референтними значеннями середнього об'єму еритроцитів (MCV) та середнього вмісту гемоглобіну в еритроциті (MCH), що обумовлює виникнення мікроцитозу, є підставою для появи анемії; розширення еритроцитарної кривої на гістограмі RBC, існування двох піків вказують на неоднорідність розмірів еритроцитів, що спричиняє зміни в гомеостазі заліза та порушення еритропоезу; зменшення рівня тромбокрити (PCT) вказує на високу ймовірність тромбоцитопенії; наявність на тромбоцитарній гістограмі PLT, яка не закінчується на базисній лінії, дрібних «зубчастих вершин» свідчить про можливу агрегацію тромбоцитів та їх здатність утворювати кров'яні згустки.

Ключові слова: Covid-19, гематологічні показники, BC-6000 MINDRAY

АНОТАЦІЯ

Purpose of the work. To reveal the values of hematological parameters that indicate “typical” and “atypical” immune responses of the human body to the effect of the SARS-CoV-2 virus.

Methodology. The research is based on the results of laboratory diagnostics conducted on the basis of the automatic hematology analyzer VS-6000 MINDRAY on the basis of the Municipal Enterprise “Olexandriv Clinical Hospital of the City of Kyiv” for the control group and the research group - patients for whom clinically established the diagnosis “Covid-19, medium degree of severity”.

Scientific novelty. The substantiation of biochemical processes that reflect the immune response of the human body to the action of the SARS-CoV-2 virus, which causes the coronavirus disease Covid-19, has gained further development.

Conclusions. Among the biological markers of the “typical immune response” of the body of patients with Covid-19, the following were selected: an increase compared to the reference values in the level of WBC leukocytes (leukocytosis), GRA granulocytes, a decrease in the level of LYM lymphocytes (lymphopenia), accompanied by neutrophilia. Based on the obtained results, a conditional “risk group” was identified among the members of the research

group, for whom doctors clinically diagnosed “Covid-19, medium degree of severity”, have an “atypical immune response” of the body to the effect of the SARS-CoV-2 virus: the levels of WBC leukocytes, LYM lymphocytes, and GRA granulocytes were mainly within the reference values or close to the lower limit of the reference values. Additional biological markers were identified that indicate the body’s “atypical immune response” to the Covid-19 coronavirus infection: the same level of concentration of lymphocytes (LYM) and neutrophils on the WBC leukocyte histogram; a decrease compared to the reference values of the average volume of erythrocytes (MCV) and the average content of hemoglobin in an erythrocyte (MCH), which causes the occurrence of microcytosis, is the basis for the appearance of anemia; expansion of the erythrocyte curve on the RBC histogram, the existence of two peaks indicate heterogeneity of erythrocyte sizes, which causes changes in iron homeostasis and disruption of erythropoiesis; a decrease in the level of thrombocrit (PCT) indicates a high probability of thrombocytopenia; the presence of small “jagged peaks” on the PLT platelet histogram, which does not end at the baseline, indicates the possible aggregation of platelets and their ability to form blood clots.

Key words: Covid-19, hematological parameters, BC-6000 MINDRAY

Постановка проблеми

Сучасні дослідження у галузі біології та медицини продовжують вивчати проблематику впливу коронавірусної інфекції Covid-19 на організм людини, незважаючи на те, що минув значний час після спалаху пандемії (2019 рік). Така зацікавленість науковців обумовлена рядом причин, серед яких: щосезонний прояв захворювання на Covid-19 серед населення, виникнення у хворих неврологічних ускладнень, порушення когнітивних функцій на етапі одужання (Al-Aly & Rosen, 2024); легкий перебіг захворювання у дітей (немовлят) порівняно із дорослими, а також можливість вертикальної передачі інфекції (Melnyk et al., 2021); прояв після захворювання ураження серця, нирок з розвитком гострої ниркової недостатності, поява вторинної інфекції (Jiang et al., 2020) тощо. Оскільки ефективність лікування коронавірусної інфекції безпосередньо пов’язана із лабораторною діагностикою – загальним аналізом крові (ЗАК), то використання сучасних автоматичних гематологічних аналізаторів надає можливість не лише порівняти одержані результати з референтними значеннями, а й спрогнозувати перебіг захворювання та його можливі наслідки. Тому постає *проблема*: які гематологічні показники хворих на Covid-19 відображають імунну відповідь організму людини на коронавірусну інфекцію. Зазначена проблема пов’язана з обґрунтуванням відповідних біохімічних процесів, які відбуваються в організмі людини під впливом вірусу SARS-CoV-2. Відповідно *мета роботи* полягає у виявленні значення гематологічних параметрів, які вказують на «типову» та «атипову» імунні відповіді організму людини на дію вірусу SARS-CoV-2.

Матеріали та методи досліджень

Об’єктом дослідження обрано параметри крові людини, після впливу на організм коронавірусної інфекції Covid-19, серед яких рівень: лейкоцитів (WBC), лімфоцитів (LYM), моноцитів (MON), гранулоцитів (GRA), еритроцитів (RBC), гемоглобіну (HGB), гематокриту (HCT), середнього об’єму еритроцитів (MCV), середнього вмісту гемоглобіну в еритроциті (MCH), середнього вмісту гемоглобіну в еритроцитарній масі (MCHC), неоднорідності червоних клітин (RDW), середнього об’єму тромбоцитів (MPV); анізоцитозу тромбоцитів (PDV); тромбокрити (PCT); абсолютного вмісту тромбоцитів (PLT) тощо. Для вивчення вказаних параметрів обрано комплексний метод аналізу гістограм, одержаних на основі використання автоматичного гематологічного аналізатора BC-6000 MINDRAY. Лабораторна діагностика проведена на базі Комунального Підприємства (КП) «Олександрівська клінічна лікарня міста Києва». Для вибору кількості осіб, яких треба обстежити, щоб з імовірністю $p = 0,95$ можна було стверджувати, що похибки результатів дослідження не перевищують 5 % ($p = 0,05$),

обчислювали $n = \frac{t^2 pq}{\varepsilon^2}$, де $p = q = 0,05$; $t = 0,95$,

$n = \frac{0,86^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{0,05^2} = 74$. Згідно з вибіркою

сформовано 2 групи чоловіків віком від 17 до 24 років: 37 осіб контрольної групи (КГ) та 37 осіб досліджуваної групи (ДГ). Жінок до складу КГ та ДГ не обирали, враховуючи вікові гормональні зміни. Члени КГ та ДГ не мали хронічних захворювань серцево-судинної системи, шкідливих звичок, попередніх щеплень вакциною проти Covid-19. До складу КГ було обрано студентів Національного медичного університету імені О.О. Богомольця (м. Київ), які не

хворіли на Covid-19 та не мали скарг на стан здоров'я. До складу ДГ входили пацієнти, які перебували на стаціонарному лікуванні пневмонії у пульмонологічному відділенні КП «Олександрівська клінічна лікарня міста Києва», для яких було клінічно встановлено діагноз «Covid-19, середній ступінь тяжкості», та які не мали супутніх захворювань. Дослідження проводилось у відповідності до Конвенції Ради Європи «Про захист прав людини і людської гідності в зв'язку з застосуванням досягнень біології та медицини: Конвенція про права людини та біомедицину (ETS № 164)» від 04.04.1997 р., і Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (2008 р.).

Для перевірки достовірності та подання кінцевих результатів $x_n = \bar{x}_n \pm \sigma_n$ розподіл ознак аналізувався за законом Гауса з урахуванням середнього арифметичного для набору значень \bar{x}_n та стандартного відхилення σ_n . Оцінка статистичної значущості та

перевірка наявності різниці між КГ та ДГ проводилась за U-критерієм Манна-Уїтні (КГ $n_1 = 37$; ДГ $n_2 = 28$ (перша підгрупа) або $n_2 = 9$ (друга підгрупа)):

$$U_{emp} = (n_1 \cdot n_2) + \frac{n_x \cdot (n_x + 1)}{2} - T_x \quad (1)$$

де n_x – кількість осіб у групі з більшою сумою рангів, T_x – більша з двох рангових сум.

Відповідно сформульовано такі гіпотези: H_0 – рівень ознаки у виборці 1 не відрізняється від рівня ознаки у виборці 2; H_1 – рівень ознаки у виборці 1 відмінний від рівня ознаки у виборці 2.

Результати дослідження

Для членів ДГ було встановлено, що гематологічні гістограми на початку захворювання мають два види: рівень нейтрофілів переважає рівень лімфоцитів (рис. 1); рівень лімфоцитів та нейтрофілів однаковий (рис. 2).

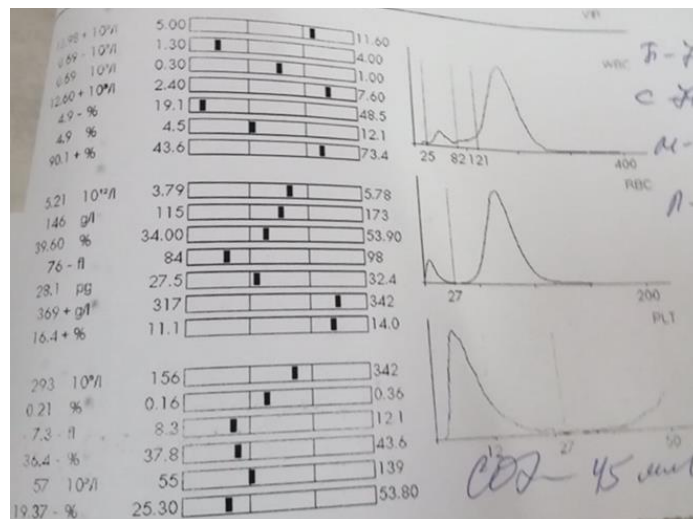


Рис.1. Гематологічні показники хворого №1 (члена ДГ) на початку захворювання, одержані на основі автоматичного аналізатора BC-6000 MINDRAY

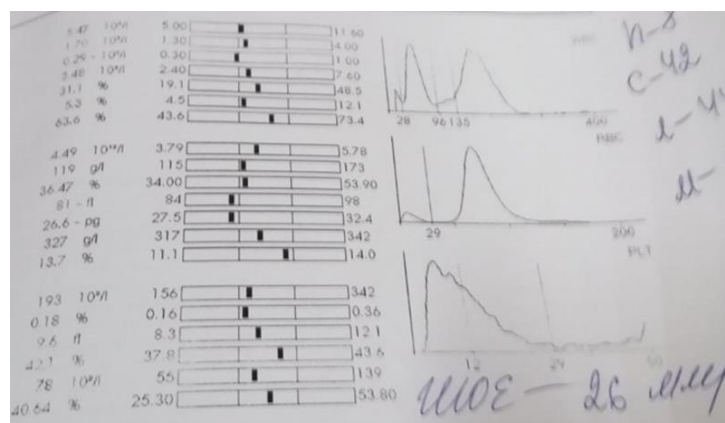


Рис.2. Гематологічні показники хворого №2 (члена ДГ) на початку захворювання, одержані на основі автоматичного аналізатора BC-6000 MINDRAY

Відповідно було сформовано серед членів ДГ (37 осіб) дві підгрупи: перша – 28 осіб, для яких характерний перший вид гематологічних гістограм (рис. 1); друга – 9 осіб, для яких характерний другий вид гематологічних гістограм (рис. 2). Аналіз одержаних результатів для членів КГ та ДГ потребує врахування основних етапів кровотворення, відповідних біохімічних процесів, які при цьому відбуваються, та їх порівняння із відповідними гістограмами. Автоматичний аналізатор BC-6000 MINDRAY роздруковує поруч із одержаними значеннями гематологічних показників хворого лейкоцитарну WBC, еритроцитарну RBC,

тромбоцитарну PLT гістограми, а також схематичні діаграми, на яких відображено діапазони референтних значень (середня частина діаграми), та відповідні схематичні позначення одержаних результатів: WBC, LYM, MON, GRA тощо. За підсумками лабораторної діагностики для КГ та ДГ одержано середні значення (СЗ) для лейкоцитарних (табл. 1), еритроцитарних (табл. 2), тромбоцитарних (табл. 3) показників.

Порядок їх розміщення та одиниці вимірювання (ОВ) відповідають порядку показників, зазначеному на бланку результатів.

Таблиця 1

**Лейкоцитарні показники стану крові
членів КГ та ДГ ($p \leq 0,05$)**

Показник стану крові / ОВ	СЗ для КГ (37 осіб)	СЗ для першої підгрупи ДГ (28 осіб)	СЗ для другої підгрупи ДГ (9 осіб)	Діапазон референтних значень
WBC ($10^9/\text{л}$)	9,02±0,72	13,02±0,78	5,15±0,41	(5,00-11,60)
LYM ($10^9/\text{л}$)	3,21±0,29	0,98±0,06	1,74±0,14	(1,30-4,00)
MON ($10^9/\text{л}$)	0,62±0,04	1,52±0,01	0,51±0,04	(0,30-1,00)
GRA ($10^9/\text{л}$)	6,23±0,34	12,56±1,01	3,07±0,28	(2,40-7,60)
LYM (%)	26,31±2,37	8,35±0,67	31,10±1,86	(19,10-48,50)
MON (%)	8,35±0,67	5,45±0,38	5,30±0,42	(4,50-12,10)
GRA (%)	61,24±5,51	86,70±6,07	63,60±5,09	(43,60-73,40)
PCT (%)	0,24±0,01	0,22±0,01	0,10±0,01	(0,16-0,36)
MPV (фл)	9,32±0,02	8,05±0,58	9,18±0,73	(8,30-12,10)
P-LCR (%)	38,10±3,43	36,20±3,26	40,63±2,84	(37,80-43,60)
P-LCC ($10^9/\text{л}$)	72,14±5,77	58,12±4,65	32,18±2,25	(55,00-139,00)
PDW (%)	27,34±1,91	21,28±1,70	36,34±3,27	(25,30-53,80)

Таблиця 2

**Еритроцитарні показники стану крові
членів КГ та ДГ ($p \leq 0,05$)**

Показник стану крові / ОВ	СЗ для КГ (37 осіб)	СЗ для першої підгрупи ДГ (28 осіб)	СЗ для другої підгрупи ДГ (9 осіб)	Діапазон референтних значень
RBC ($10^{12}/\text{л}$)	4,21±0,21	5,12±0,35	4,18±0,39	(3,79-5,78)
HGB (г/л)	128,01±11,52	147,10±11,77	119,50±8,36	(115,00-173,00)
HCT (%)	36,23±2,89	39,71±3,57	38,29±2,68	(34,00-53,90)
MCV (фл)	86,12±6,03	76,24±6,86	78,75±5,51	(84,00-98,00)
MCH (пг)	28,31±1,98	28,12±1,96	27,23±2,18	(27,50-32,40)
MCHC (г/л)	324,02±29,16	368,21±29,46	346,75±17,34	(317,00-342,00)
RDW (%)	12,21±0,73	16,21±0,81	15,13±1,21	(11,10-14,00)

Тромбоцитарні показники стану крові членів КГ та ДГ ($p \leq 0,05$)

Показник стану крові / ОВ	СЗ для КГ (37 осіб)	СЗ для першої підгрупи ДГ (28 осіб)	СЗ для другої підгрупи ДГ (9 осіб)	Діапазон референтних значень
PLT ($10^9/\text{л}$)	164,23±14,78	292,18±26,29	131,25±10,50	(156,00-342,00)
PCT (%)	0,24±0,01	0,22±0,01	0,10±0,01	(0,16-0,36)
MPV (фл)	9,32±0,02	8,05±0,58	9,18±0,73	(8,30-12,10)
P-LCR (%)	38,10±3,43	36,20±3,36	40,63±2,84	(37,80-43,60)
P-LCC ($10^9/\text{л}$)	72,14±5,77	58,12±4,65	32,18±2,25	(55,00-139,00)
PDW (%)	27,34±1,91	21,28±1,70	36,34±3,27	(25,30-53,80)

Для обраної вибірки $U_{\text{кр}} = 393$ для $p \leq 0,05$ або $U_{\text{кр}} = 341$ для $p \leq 0,01$. Аналогічно обчислено за формулою (1) для КГ $n_1 = 37$ та другої підгрупи ДГ $n_2 = 9$ значення $U_{\text{емп}}$ за умови, що $U_{\text{емп}} = 106$ для $p \leq 0,05$ або $U_{\text{емп}} = 81$ для $p \leq 0,01$. Оскільки обчислені значення $U_{\text{емп}}$ окремо для кожного із вимірних показників стану крові (WBC, LYM, MON тощо) зазначених вибірок задовольняють нерівність $U_{\text{емп}} \leq U_{\text{кр}}$, то H_0 відхиляється і приймається H_1 . Таким чином, статистична обробка одержаних даних дозволяє стверджувати, що значення для першої та другої підгруп ДГ відрізняються від КГ.

Проаналізуємо результати, одержані для першої підгрупи ДГ. Основним призначенням лімфоцитів є розпізнавання чужорідних антигенів та формування адаптивного імунітету. Етапами імунної відповіді є розпізнавання та переробка антигену, селекція відповідних Т-клітин та В-клітин, що супроводжується міжклітинними взаємодіями, цитокінами, Т- і В-лімфоцитами (Sikulina, n.d.). Оскільки під час дії на організм людини вірусу SARS-CoV-2 найбільш поширеною імунною відповіддю («типова імунна відповідь») є зменшення рівня лімфоцитів (LYM) порівняно з референтними значеннями (для першої підгрупи ДГ становить $(0,98 \pm 0,06) \times 10^9 / \text{л}$), то лікарі-лаборанти обирають його як один з біологічних маркерів коронавірусної інфекції Covid-19 (рис. 1). Згідно з дослідженнями (Niu et al., 2022) зниження кількості лімфоцитів іноді спостерігається у поєднанні із тромбоцитопенією. Серед механізмів, які спричиняють лімфопенію під час дії на організм людини коронавірусної інфекції Covid-19, науковці (Mahmoodpoor et al., 2022) вказують на ураження лімфатичних органів,

кісткового мозку, цитокиновий шторм тощо. Згідно з дослідженнями (Wenping Zhang et al., 2020) лімфоцити відіграють вирішальну роль у підтримці системного імунного балансу: вірус SARS-CoV-2 атакує і вбиває лімфоцити; на ранній стадії інфекції В-лімфоцити виробляють антитіла, які зв'язуються з вірусом і вбивають його, а Т-лімфоцити поглинають уражені вірусом клітини, тобто зменшення рівня лімфоцитів може бути пов'язано з активною імунною відповіддю організму; вірус впливає на функціонування лімфатичних органів, що призводить до різкого зниження кількості лімфоцитів; інтерлейкін 6 (IL-6) та інші прозапальні цитокіни індукують апоптоз лімфоцитів, що спричиняє різке зменшення їх кількості; постійне підвищення рівня молочної кислоти в крові пригнічує проліферацію лімфоцитів. Вищезазначені механізми можуть спільно спричинити лімфопенію, ознаки якої демонструє лейкоцитарна гістограма WBC (рис. 1): зменшення вершини (піку) лімфоцитів, що відповідає області від 25 фл до 82 фл, порівняно з нормальним розподілом лейкоцитів. Наступним типовим біологічним маркером імунної відповіді організму на вірусну інфекцію SARS-CoV-2 є збільшення рівня гранулоцитів (GRA) порівняно з референтними значеннями: $(12,56 \pm 1,01) \times 10^9 / \text{л}$. Оскільки дозрівання нейтрофілів відбувається в кістковому мозку, де є попередники нейтрофілів (проліферативний пул), під впливом запальних цитокинів збільшується їх резерв, що не тільки відображає складність перебігу процесу, а й створює додаткове навантаження на роботу кісткового мозку. Нейтрофіли є найбільшою групою лейкоцитів: становлять 50-75 % від їх загальної кількості. Лейкоцитарна гісто-

грама WBC (рис.1) підтверджує значне збільшення рівня нейтрофілів (нейтрофільоз). Провідним біологічним маркером, який вказує на «типову імунну відповідь» організму людини на вірусну інфекцію SARS-CoV-2 (рис. 1) є збільшення рівня лейкоцитів (WBC) $(13,02 \pm 0,78) \times 10^9$ /л (лейкоцитоз). Результати для членів першої підгрупи ДГ лабораторно підтвердили «типову імунну відповідь» організму на дію коронавірусної інфекції Covid-19 на основі вказаних біологічних маркерів.

Однак, згідно проведеного нами дослідження виявлено, що така імунна відповідь не є однаковою для всіх хворих на Covid-19. Для членів другої підгрупи ДГ, яким клінічно лікарями було встановлено діагноз «Коронавірусна інфекція Covid-19 середнього ступеня тяжкості», на початку лікування середні значення рівнів лейкоцитів WBC, лімфоцитів LYM, гранулоцитів GRA відрізнялися від зазначених вище типових біологічних маркерів (рис. 2). Оскільки, згідно наукових досліджень (Delshad M. et al., 2021), вивчення показників ЗАК надає можливості лікарям-лаборантам не лише підтвердити клінічно встановлений діагноз Covid-19, а й спрогнозувати динаміку захворювання, то поява серед хворих таких, що мають «атипову імунну відповідь» організму на дію коронавірусної інфекції Covid-19, тобто умовної «групи ризику», потребує, на нашу думку, виявлення додаткових біомаркерів, які дозволять не лише виявити «приховану» дію вірусу SARS-CoV-2 на ранніх стадіях або «приховану» хворобу Covid-19, а й здійснити моніторинг перебігу захворювання. Згідно досліджень науковців (Panchenko O. & Zavarzina A., 2020), захворювання на Covid-19 передбачає такі етапи: зараження, інкубаційний період (3-5 день), поява симптомів (5-7 день), розвиток захворювання (7-12 день), пік захворювання (12-18 день), спад захворювання (18-30 день), одужання та формування імунної пам'яті (більше 30 днів). Відповідно аналіз гематологічних показників на основі ЗАК з урахуванням основних та додаткових біомаркерів, які визначають дію вірусу SARS-CoV-2 є актуальним на всіх етапах захворювання. Проаналізуємо для членів другої підгрупи ДГ можливі біохімічні процеси та відповідні лейкоцитарні гематологічні показники: рівень лейкоцитів WBC

становить $(5,15 \pm 0,41) \times 10^9$ /л – нижня межа (далі – Н/М) референтних значень; рівень лімфоцитів LYM – $(1,74 \pm 0,14) \times 10^9$ /л у нормі (далі – Н); рівень моноцитів MON – $(0,51 \pm 0,04) \times 10^9$ /л (Н); рівень гранулоцитів GRA – $(3,07 \pm 0,28) \times 10^9$ /л (Н); частка лімфоцитів серед інших лейкоцитів LYM (%) – $(31,10 \pm 1,86)$ % (Н); частка моноцитів серед інших лейкоцитів MON (%) – $(5,30 \pm 0,42)$ % (Н); частка гранулоцитів серед інших лейкоцитів GRA (%) – $(63,60 \pm 5,09)$ % (Н). Для комплексного аналізу одержаних показників (табл. 1) та пояснення можливих причин «атипової імунної відповіді» у членів другої підгрупи ДГ використаємо метод лейкоцитарних гістограм (WBC): згідно одержаного розподілу, концентрація лімфоцитів (LYM), яким відповідає область від 35 до 90 фл, та концентрація нейтрофілів, яким відповідає область від 120 до 250 фл, приблизно однакові, оскільки їх максимуми розподілу знаходяться приблизно на одному рівні. Серед функцій лімфоцитів – пригнічення дії чужорідних клітин та білків, вірусів та інфекцій, виділення у кров антитіл, блокування антигенів. Враховуючи, що переважна кількість лейкоцитарних показників у членів другої підгрупи ДГ знаходиться у межах референтних значень, то для «атипової імунної відповіді» характерна відсутність активної протидії або блокування вірусу SARS-CoV-2. Оскільки концентрація нейтрофілів, які виконують захисну функцію в організмі, приблизно однакова із концентрацією лімфоцитів, то антиблокування вірусу надає йому «подвійний вільний доступ» до системи кровотворення.

Для доповнення ознак та можливих причин «атипової імунної відповіді» проаналізуємо еритроцитарну гістограму та відповідні гематологічні показники (рис. 2) для членів другої підгрупи ДГ: рівень еритроцитів (RBC) $(4,18 \pm 0,39) \times 10^{12}$ /л (Н), гемоглобіну (HGB) $(119,50 \pm 8,36)$ г/л (Н/М), гематокриту (HCT) $(38,29 \pm 2,68)$ % (Н/М), середнього вмісту гемоглобіну в еритроцитарній масі (MCHC) $(346,75 \pm 17,34)$ г/л (вище норми), неоднорідності червоних клітин (RDW) $(15,13 \pm 1,21)$ % (вище норми). Середній об'єм еритроцитів (MCV) $(78,75 \pm 5,51)$ фл, середній вміст гемоглобіну в еритроциті (MCH) $(27,23 \pm 2,18)$ пг менші за референтні значення. Зменшення середнього об'єму еритроцитів (MCV), дископодібних кров'яних

тілець, здатних стискатися та згинатися під впливом певних факторів по найтонших капілярах, спричиняє зменшення постачання кисню до тканин. Спостерігається анізоцитоз – переважають еритроцити, менші за розмірами від референтних значень. Зменшення рівня МСН вказує на зменшення щільності заповнення гемоглобіном еритроцитів. При відсутності корекції середнього об'єму еритроцитів (MCV) розвивається анемія різних видів, що підтверджують сучасні дослідження ускладнень у хворих на COVID-19 (Trichlib, 2020).

Згідно з проведеними нами попередніми дослідженнями (Ivanyska, 2024) на гістограмі розширення еритроцитарної кривої RBC (рис. 2) та поява двох вершин вказують на неоднорідність розмірів еритроцитів. Зазначимо, що рівні гемоглобіну (HGB) та гематокриту (HCT), які наближаються до Н/М референтних значень, мають важливе діагностувальне значення COVID-19. Згідно з сучасними дослідженнями (Lippia & Mattiuzzib, 2020) зниження рівня значення гемоглобіну (HGB), який бере участь у транспорті кисню та вуглекислоти, метаболізмі монооксиду азоту, а також виконує буферні функції, вказує на прогресування COVID-19. Зменшення рівня HGB науковці пояснюють тим фактом, що вірус SARS-CoV-2 прилипає до поверхні гемопоетичних клітин і проникає в кровотворну систему (Wenping Zhang et al., 2020). Речовини, що вивільняються вірусом, спільно змінюють імунну регуляцію та призводять до аномального гемопоетичного мікрооточення; тим самим пригнічується кровотворна функція кісткового мозку, що впливає на компенсаторну продукцію гемоглобіну (HGB), постійне його зниження, спричиняє анемію. Згідно з сучасними дослідженнями COVID-19 викликає значні зміни розміру еритроцитів, зниження рівня гематокриту (HCT) та збільшення амплітуди еритроцитів RDW (Russo et al., 2022). Аномалії еритроцитів можуть мати кілька причин: зміни в гомеостазі заліза, які спричиняють порушення еритропоезу та прискорене вивільнення циркулюючих еритроцитів; фрагментація білків, аномалії метаболізму ліпідів; окислювальний стрес, який сприяє зміні морфології еритроцитів.

Проаналізуємо гематологічні показники для членів другої підгрупи ДГ з урахуванням

тромбоцитарної гістограми PLT (рис.2): кількість тромбоцитів (PLT) $(131,25 \pm 10,50) \times 10^9 / \text{л}$ (менше норми); рівень тромбокриту (PCT) $(0,10 \pm 0,01) \%$ (менше норми); середній об'єм тромбоцитів (MPV) $(9,18 \pm 0,73)$ фл (Н); відсоток великих тромбоцитів (P-LCR) $(40,63 \pm 2,84) \%$ (Н); абсолютний вміст великих тромбоцитів (P-LCC) $(32,18 \pm 2,25) \times 10^9 / \text{л}$ (менше норми); ширина розподілу тромбоцитів за об'ємом (PDW) $(36,34 \pm 3,27) \%$ (Н). Оскільки рівень тромбокриту (PCT) відображає вміст тромбоцитів в об'ємі крові, то при його зменшенні може виникати тромбоцитопенія або порушення функціонування кісткового мозку. Згідно з проведеними нами попередніми дослідженнями (Ivanyska & Gaidai, 2024) аналіз тромбоцитарних індексів потребує врахування особливостей інтерпретації тромбоцитарних гістограм. Оскільки тромбоцитарна гістограма PLT (рис. 2) не закінчується на базисній лінії, як і у випадку «типової імунної відповіді» організму на COVID-19 (рис.1), то це свідчить про можливу агрегацію тромбоцитів. Існування значної кількості дрібних «зубчастих вершин» на тромбоцитарній гістограмі підтверджує здатність тромбоцитів утворювати мікротромби. Оскільки лейкоцитарна гістограма WBC не починається на базисній лінії, то серед причин відхилення від нормального у розподілу може бути наявність згустків тромбоцитів PLT.

Для статистичної перевірки одержаних результатів та підтвердження того, що гематологічні показники для членів першої підгрупи ДГ відмінні від відповідних показників другої підгрупи ДГ використано U-критерій Манна-Уїтні. За формулою (1) для вибірки $n_1 = 28$ та $n_2 = 9$ обчислено значення $U_{kr} = 79$ для $p \leq 0,05$ або $U_{kr} = 59$ для $p \leq 0,01$. Оскільки обчислені значення U_{emp} окремо для кожного із вимірних показників стану крові (WBC, LYM, MON тощо) зазначених вибірок задовольняють нерівність $U_{emp} \leq U_{kr}$, то H_0 відхиляється і приймається H_1 . Таким чином, статистична обробка одержаних даних дозволяє стверджувати: значення для першої та другої підгруп ДГ відрізняються між собою; для членів першої підгрупи ДГ характерна «типова імунна відповідь» на дію вірусу SARS-CoV-2, для членів другої підгрупи ДГ (умовної «групи ризику») – «атипова імунна відповідь».

Висновки

Комплексний аналіз гематологічних показників хворих на COVID-19 дозволив виявити «типову імунну відповідь» та «атипову імунну відповідь» організму на дію вірусу SARS-CoV-2. Серед біологічних маркерів «типової імунної відповіді» обрано: збільшення рівня лейкоцитів WBC, гранулоцитів GRA, зменшення рівня лімфоцитів LYM, що супроводжується нейтрофіліозом. На основі одержаних результатів виявлено умовну «групу ризику», для членів якої клінічно встановлено діагноз «Covid-19, середній ступінь тяжкості», але проявляють «атипову імунну відповідь» організму на дію вірусу SARS-CoV-2, визначену нами на основі додаткових біологічних маркерів: рівні лейкоцитів WBC, лімфоцитів LYM, гранулоцитів GRA знаходилися переважно в межах референтних значень або наближені до Н/М; однакові рівні концентрації лімфоцитів (LYM) та нейтрофілів на лейкоцитарній

гістограмі WBC; зменшення порівняно з референтними значеннями середнього об'єму еритроцитів (MCV) та середнього вмісту гемоглобіну в еритроциті (MCH), що обумовлює виникнення мікроцитозу та є підставою для появи анемії; розширення еритроцитарної кривої на гістограмі RBC, існування двох піків – неоднорідність розмірів еритроцитів, що спричиняє зміни в гомеостазі заліза та порушення еритропоезу; зменшення рівня тромбокриту (PCT), що обумовлює високу ймовірність виникнення тромбоцитопенії; наявність на тромбоцитарній гістограмі PLT, яка не закінчується на базисній лінії, дрібних «зубчастих вершин» – можлива агрегація тромбоцитів, їх здатність утворювати кров'яні згустки. Визначені нами додаткові біологічні маркери для «атипової імунної відповіді» є важливими, оскільки дозволяють виявити «приховану» хворобу Covid-19.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комітетом з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка (№ протоколу: 4, 15 травня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium" (Protocol Number: 4, 15 May 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Інформована згода була отримана від усіх учасників дослідження / Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

References

- Al-Aly, Z., & Rosen, C.J. (2024). Long Covid and Impaired Cognition – More Evidence and More Work to Do. *The new England journal of medicine*, 390(9), 858-860.
- Delshad, M., Tavakolinia, N., Pourbagheri-Sigaroodi, A., Safaroghli-Azar, A., Bagheri, N., & Bashash, D. (2021). The contributory role of lymphocyte subsets, pathophysiology of lymphopenia and its implication as prognostic and therapeutic opportunity in COVID-19. *International Immunopharmacology*, 95, 107586.
- Ivanytska, Yu. (2024). Peculiarities of using the erythrocyte histogram method for the analysis of indicators of the state of human blood. *Youth and modern trends of scientific thought: A collection of abstracts of reports of the All-Ukrainian multidisciplinary scientific and practical internet conference* (March 1, 2024, Nizhyn, Ukraine) (pp. 26–30). (in Ukrainian).

Іваницька Ю. Особливості використання методу еритроцитарних гістограм для аналізу показників стану крові людини. *Молодь і сучасні тренди наукової думки* : зб. тез доп. Всеукр. мультидисциплінар. науково-практ. інтернет-конф., м. Ніжин, 1 берез. 2024 р. Ніжин, 2024. С. 26–30.

Ivanytska, Yu., & Gaidai D. (2024). The method of platelet histograms in blood analysis of persons who have contracted COVID-19. *Actual issues of biological science: Proceedings of International extramural scientific and practical conference* (pp. 102–107). (in Ukrainian)

Іваницька Ю., Гайдай Д. Метод тромбоцитарних гістограм в аналізі крові осіб, які перехворіли на COVID-19. Міжнародна заочна науково-практична конференція «Актуальні питання біологічної науки». 2024. С. 102–107

Jiang, F. et al. (2020). Review of the clinical characteristics of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Journal of General Internal Medicine*, (35), 10223.

Lippia, G., & Mattiuzzib, C. (2020). Hemoglobin value may be decreased in patients with severe coronavirus disease 2019. *Hematology, Transfusion and Cell Therapy*, 42(2), 116–117.

Mahmoodpoor, A., Sanaie, S., Roudbari, F., Sabzevari, T., Sohrabifar, N., & Kazeminasab, S. (2022). Understanding the role of telomere attrition and epigenetic signatures in COVID-19 severity. *Gene*, 811, 146069

Melnyk, O., & Lyashenko, Yu. (2022). The issue of vertical transmission of coronavirus infection in infants. *Grail of Science*, (11), 520-523 (in Ukrainian) <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.097>

Мельник О., Ляшенко Ю. Питання вертикальної передачі коронавірусної інфекції у немовлят. *Грааль науки*. 2022. (11). С. 520-523. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.097>

Niu, J., Sareli, C., Mayer, D., Visbal, A., & Sareli, A. (2022). Lymphopenia as a predictor for adverse clinical outcomes in hospitalized patients with COVID-19: A Single Center Retrospective Study of 4485 Cases. *Journal of Clinical Medicine*, 11(3), 700.

Panchenko, O., & Zavarzina A. (2020). Diagnosis of coronavirus infection as an actual problem at the state level. *Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports*, 5(27), 278–284. <http://surl.li/twhvm> (in Ukrainian)

Панченко О. А, Заварзіна А. Р. Діагностика коронавірусної інфекції як актуальна проблема державного рівня. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2020. Т. 5, № 5 (27). С. 278–284. <http://surl.li/twhvm>

Russo, A., Tellone, E., Barreca, D., Ficarra, S., & Laganà, G. (2022). Implication of COVID-19 on Erythrocytes Functionality: Red Blood Cell Biochemical Implications and Morpho-Functional Aspects. *International Journal of Molecular Science*, (23), 2171. <http://surl.li/hoixws>

Sikulina, A. (n.d.). Hemopoiesis. Changes in the number and morphology of leukocyte blood cells in pathology. Deciphering histograms of 3 DIFF hematological analyzers. <http://surl.li/urpwl> (in Ukrainian)

Сікуліна А. Гемопоез. Зміни кількості та морфології клітин крові лейкоцитарного ряду при патології. Розшифровка гістограм 3 DIFF гематологічного аналізатора. <http://surl.li/urpwl>

Trichlib, V. (2020). Complications in patients with COVID-19. *Infectious diseases*, 1(99), 37-46 (in Ukrainian)

Трихліб В. Ускладнення у хворих на COVID-19. *Інфекційні хвороби*. 2020. Вип. 1(99). С. 37-46

Wenping, Z., Zhongming, Z., Yi, Y., Yanting, L., Shiyao, P., Huan, Qi, Zhiyong, Yu, & Jiuxin, Qu. (2020). Lymphocyte percentage and hemoglobin as a joint parameter for the prediction of severe and nonsevere COVID-19: a preliminary study. *Annals of Translational Medicine*, 8(19). <http://surl.li/hmwhay>

Received: 29.07.2024. **Accepted:** 23.08.2024. **Published:** 18.09.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Іваницька Ю. Комплексний аналіз гематологічних показників хворих на Covid-19. *Biota. Human. Technology.* 2024. №2. С. 125-134.

Cite this article in APA style as:

Ivanytska, Yu. (2024). Complex analysis of hematological indicators of patients with Covid-19. *Biota. Human. Technology*, 2, 125-134. (in Ukrainian)

Information about the author:

Ivanytska Yu. [*in Ukrainian: Іваницька Ю.*], Ph.D. Student, email: ivanytska98@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8860-1254

Educational and scientific institute of natural and mathematical, medical and biological sciences and information technologies, Nizhyn Mykola Gogol State University

2 Graftska Street, Nizhyn, Chernihivska Oblast, 16600, Ukraine



INSTRUCTIONS FOR AUTHORS
КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ



INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

The article is presented in the original language (Ukrainian, Polish, English). The deadline for submitting articles is determined by the person responsible for the issue.

The article must necessarily contain the following elements: statement of the problem in general form and its connection with important scientific or practical tasks; analysis of the main researches and publications on the raised problem; formulation of the purpose of the article; coverage of the theoretical-methodological and/or experimental research procedure with an indication of research methods; presentation of the main research material with justification of the obtained scientific results; research conclusions and prospects for further scientific research.

The text of the article must be carefully checked and edited by the author. An article that is not designed according to the requirements, with semantic, grammatical or stylistic errors, will not be accepted for publication.

WARNING! It is not allowed to use data that was presented in protected dissertation studies, as well as previously published articles.

The approximate length of the article is 10–16 pages of A4 format.

Technical requirements for the preparation of the manuscript of the article:

The manuscript should be submitted in *.doc or *.rtf (MSWord) format: font – Times New Roman, keel – 14, line spacing – 1.5 intervals of the computer standard. Margins: top and bottom – 2 cm, right – 1.5 cm, left – 3 cm. Paragraph – 1.0 cm. Pages are not numbered, text is typed without hyphens.

Structure of the article:

1. UDC index, with a paragraph indent, in the upper left corner of the first page.
2. The next line is the name and surname of the author(s) in English.
3. The next line is the title of the article in English, Ukrainian and Polish (if the article is written in Polish) or in English and Ukrainian (if the article is written in Ukrainian), in capital letters, without paragraph indent, centered. The title should be short (no more than 8 words) and reflect the content of the article.
4. The next line is the abstract in English, Polish (if the article is written in Polish) and Ukrainian (with the word «**ABSTRACT**» in the appropriate language, in the center; the text of the abstract is paragraph indented, aligned with the width of the text, single line spacing). The length is **at least 1,800 characters with spaces**. The abstract should contain the following structural elements highlighted in bold text: **purpose of the work, methodology, scientific novelty, conclusions**.
5. The next line is keywords (the phrase «Key words» in bold, paragraph indented, aligned to the width of the text, single line spacing). No more than five keywords.
6. Through the line – the main text of the article according to the structural elements: **statement of the problem, research results, conclusions**.
7. The text of the article should include references to all references.
References are given in round brackets with the name(s) of the author(s) in chronological order, for example:
one author – Lukash, 2019;
two authors – Tkachuk & Zelena, 2020;
three authors and more – Kurmakova et al., 2021.
Publications without authors are cited in accordance with [APA style](#).

8. Tables, diagrams, figures, diagrams must be author's, not copied from other publications and numbered. They are placed without a paragraph in the center of the page directly after a link to them in the text of the article or on the next page. The word «Table» and its number are written on top aligned to the right, and the name of the table is aligned in the center on the line below. Illustrations (figures, block diagrams, graphs) must be made in one of the graphic editors. Figures can be submitted in color. Flow charts and figures (must be grouped) are additionally provided as separate files in electronic form. Illustrations are signed from the bottom aligned with the center.
9. Formulas and letter designations of quantities are typed in the MathType-Equation editor and presented in text or a separate line without paragraph indent, aligned with the center, numbered with Arabic numerals in round brackets on the right side of the page.
10. After the main text of the article, a list of references is provided. It should contain only those sources to which reference is made in the text. The word «References» is written aligned. References are presented in alphabetical order using the Latin alphabet. References that are originally written in languages using the Latin script are presented in the original language, formatted according to [APA style](#) indicating the language of publication in round brackets. References, which are written in the original language with Cyrillic writing, are presented in two paragraphs as follows: first, the translation into English (not transliteration!), formatted according to [APA style](#), and in the second paragraph – in the original language according to [DSTU 8302:2015. Bibliographic reference. General provisions and rules of compilation](#).

For example:

Tkachuk, N. V., & Zelena, L. B. (2022). Biosafety in the formation of professional competences of bachelors from the courses «Microbiology and virology with the basics of immunology» and «Genetics». *Environmental sciences*, 2(41), 41-145. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24> (in Ukrainian)

Ткачук Н.В., Зелена Л.Б. Біобезпека при формуванні фахових компетенцій бакалаврів з курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика». *Екологічні науки*. 2022. №2(41). С.141-145. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24>

11. The following signs are used in the text of the article: quotation marks (« »), apostrophe (’), a dash (–) instead of a hyphen (-). A colon (:) is placed without a space.
12. Words, phrases and sentences in the Latin language in the article are highlighted in italics, regardless of the language of the article.

Examples:

... the plant extract was carried out *in vitro* by the Kirby-Bauer disc...

... are important *in vivo* biomarkers for biomonitoring...

Taxa (all) and syntaxa of vegetation are given only in Latin and highlighted in italics. The author(s) of the taxon or syntaxon should be indicated in normal font at the first mention in each structural part of the article (title, abstracts and keywords in any language, the actual text (body) of the article), as well as captions to tables and figures.

If species belonging to one genus are mentioned in the article, and between these mentions there are no mentions of species of other genera, then after the first writing of the full species name, the name of the species should be given further in the text, shortening the name of the genus to the first letter with a dot. This rule applies within any structural part of the article, as well as captions to tables and figures.

An example of writing the Latin names of taxa and syn taxa in one article:

PLATANUS L. GENUS IN TRANSCARPATHIA

ПІД *PLATANUS* L. НА ЗАКАРПАТТІ

ABSTRACT

... the coexistence of other *Platanus* L. species... *Picea abies* (L.) Karst.
 ... the study of the genus *Platanus* in the ... as *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. is a...
 ... the genus *Platanus* in Transcarpathia will.... *Picea abies*...

The spruce forest communities of the Dnieper part of Eastern Polesie belong to the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 and *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 associations of the *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 alliance of the *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 order of the *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 class.

The natural spruce forest of the *Quercu-Piceetum* association...

Key words: introduced plants, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L., Transcarpathia

АНОТАЦІЯ

... міжвидових гібридів роду *Platanus* L. ...is *Picea abies* (L.) Karst.
 ... гібриди роду *Platanus* ... *Picea abies*...
 ... належить до виду *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. і має статусу...

Угрупування ялинових лісів придніпровської частини Східного Полісся належать до асоціацій *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 та *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 з союзу *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 порядку *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939.

Природний ялиник асоціації *Quercu-Piceetum*...

Ключові слова: Закарпаття, рослини-інтродуценти, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L.

Formulation of the problem

In ... two primary progenitors: *Platanus orientalis* L. and *P. occidentalis* L. Additionally, there are several natural hybrid species, including the *P. acerifolia* (Aiton) Willd., *P. cuneata* Willd., *P. digitata* Gord., *P. hispanica* Münchh. and others.

Results and discussion

P. occidentalis also known simply as «sycamore», ..., *Ficus sycómorus* L., which is ... and even the *Acer pseudoplatanus* L....

...*Platanus orientalis* along with...

Fig. 1: *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd (photo by Ivan Dzurenko)

...*P. occidentalis* is notably affected by the fungus *Gloeosporium nervisequum* (Fuckel) Sacc....

... *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association...

Table. Structure of the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association

...*Eu-Piceetum* is formed in an ecotone area ...

... both *Platanus occidentalis* and *P. acerifolia* grew...

... phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 and *Robinietae* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 classes are formed...

Conclusions

... Among these species is *P. acerifolia*.

..., phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* class is...

13. After References, information about each author is provided **in English**:

- First line – **Surname, Name [in Ukrainian: Прізвище Ім'я]** ¹[\[i\]](#), position, scientific degree and academic title (if available), e-mail.
- The next line is the mandatory ORCID of the author (the profile must be filled and open for public viewing).
- The next line is the author's ResearcherID (if available), the author's Scopus-AuthorID (if available).
- The next line is an indication of the organization in which the author works.
- The next line is a mandatory indication of the full address of the organization where the author works, indicating the index and country.

14. At the end of the page, the date it was sent to the editorial office of the magazine is indicated.

The article is accompanied by a list of 2-3 potential reviewers (PhD and/or Doctors of Sciences who carry out research in a specialty that corresponds to the topic of the material submitted for publication, and are authors (co-authors) of a total of at least three publications in scientific publications included in category «A» and/or category «B» of the List of scientific specialized publications of Ukraine, and /or in foreign publications indexed in the Web of Science Core Collection and/or Scopus databases for the relevant specialty, published within the last five years) with an indication of their place of work, scientific interests, ORCID and Google Scholar, e-mail.

Submission, publication and access to published articles are free.

The text of the article and additional materials should be sent by e-mail to the address lukash2011@ukr.net or [bht.journal.nuchc@gmail](mailto:bht.journal.nuchc@gmail.com) (indicate the author's last name in the letter).

EDITORS OF THE JOURNAL ARE NOT RESPONSIBLE FOR THE CONTENT OF THE ARTICLES AND MAY NOT SHARE THE OPINION OF THE AUTHOR!

[\[i\]](#)¹ Indicate the contribution of the corresponding (1 – first, 2 – second, etc.) author to the publication choosing from the list: 1) study design, 2) data collection, 3) statistical analysis, 4) manuscript preparation, 5) funds collection.

Ⓞ КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ Ⓞ

Стаття подається мовою оригіналу (українською, польською, англійською). Терміни подачі статей визначається відповідальним за випуск.

Стаття обов'язково повинна містити такі елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями; аналіз основних досліджень і публікацій з порушеної проблеми; формулювання мети статті; висвітлення процедури теоретико-методологічного та/або експериментального дослідження із зазначенням методів дослідження; виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з дослідження і перспективи подальших наукових розвідок.

Текст статті має бути ретельно перевірений і відредагований автором. Стаття, не оформлена згідно з вимогами, зі смисловими, граматичними чи стилістичними помилками, до друку не приймається.

УВАГА! Не допускається використання даних, які було представлено у захищених дисертаційних дослідженнях, а також опублікованих раніше статтях.

Орієнтовний обсяг статті – 10–16 сторінок формату А4.

Технічні вимоги до оформлення рукопису статті:

Рукопис подавати у форматі *.doc чи *.rtf (MSWord): шрифт – Times New Roman, кегель – 14, відстань між рядками – 1,5 інтервалу комп'ютерного стандарту. Поля: верхнє і нижнє – 2 см, праве – 1,5 см, ліве – 3 см. Абзац – 1,0 см. Сторінки не нумеруються, текст набирається без переносів.

Структура статті:

1. Індекс УДК, з абзацним відступом, у верхньому лівому куті першої сторінки.
2. Наступний рядок – ім'я та прізвище автора (авторів) англійською мовою.
3. Наступний рядок – назва статті англійською, українською та польською (якщо стаття написана польською мовою) або англійською та українською (якщо стаття написана українською мовою), великими буквами, без абзацного відступу, вирівняно центром. Назва має бути короткою (не більше 8 слів) і відображати зміст статті.
4. Наступний рядок – анотація англійською, польською (якщо стаття написана польською) та українською мовами (із зазначенням слова «**АНОТАЦІЯ**» відповідною мовою, по центру; текст анотації з абзацним відступом, вирівняно шириною тексту, інтервал між рядками одинарний). Обсяг – не менше **1800 символів з пробілами**. Анотація повинна містити виділені жирним текстом наступні структурні елементи: **мета роботи, методологія, наукова новизна, висновки**.
5. Наступний рядок – ключові слова (словосполучення «Ключові слова» напівжирним шрифтом, абзацний відступ, вирівняно шириною тексту, інтервал між рядками одинарний). Не більше п'яти ключових слів.
6. Через рядок – основний текст статті відповідно до структурних елементів: **постановка проблеми, результати дослідження, висновки**.
7. У тексті статті мають бути посилання на всі джерела у списку літератури. Посилання на літературні джерела подаються у круглих дужках з вказанням прізвищ(а) автора(ів) у хронологічному порядку, наприклад:
один автор – Lukash, 2019;
два автори – Tkachuk & Zelena, 2020;
три автори та більше – Kurmakova et al., 2021.
Посилання на видання без авторів здійснюється відповідно до правил [APA стилю](#).

8. Таблиці, схеми, рисунки, діаграми повинні бути авторськими, а не скопійованими з інших видань та пронумеровані. Розміщуються без абзацу в центрі сторінки безпосередньо після посилання на них у тексті статті або на наступній сторінці. Слово «Таблиця» та її номер пишуться зверху вирівняно справа, а рядком нижче вирівняно центром – назва таблиці. Ілюстрації (рисунки, блок-схеми, графіки) повинні бути виконані в одному з графічних редакторів. Рисунки можна подавати кольоровими. Блок-схеми та рисунки (повинні бути згруповані) додатково подаються окремими файлами в електронному вигляді. Ілюстрації підписуються знизу вирівняно центром.

9. Формули та буквені позначення величин набираються у редакторі MathType-Equation і подаються в тексті або окремому рядку без абзацного відступу вирівняно центром, нумеруються арабськими цифрами в круглих дужках з правого боку сторінки.

10. Після основного тексту статті подається список літератури. У ньому мають бути лише ті джерела, на які зроблено посилання у тексті. Слово «References» пишеться вирівняно. Список посилань на джерела інформації подається у алфавітній послідовності за латиницею. Джерела, які в оригіналі написані мовами, де використовується латинський шрифт, подаються мовою оригіналу, оформленому за [АРА стилем](#). Джерела, які написані у оригіналу мовою з кириличним написанням, подаються двома абзацами таким чином: спочатку переклад англійською мовою (не транслітерація!), оформлений за [АРА стилем](#) із зазначенням мови видання у круглих дужках, а у другому абзаці – мовою оригіналу за [ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання](#)

Наприклад:

Ткачук, N. V., & Zelena, L. B. (2022). Biosafety in the formation of professional competences of bachelors from the courses «Microbiology and virology with the basics of immunology» and «Genetics». *Environmental sciences*, 2(41), 41-145. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24> (in Ukrainian)

Ткачук Н. В., Зелена Л. Б. Біобезпека при формуванні фахових компетенцій бакалаврів з курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика». *Екологічні науки*. 2022. №2(41). С. 141-145. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24>

11. У тексті статті вживаються такі знаки: лапки – (« »), апостроф – (’), через пробіл тире (–), а не дефіс (-). Двокрапка (:) ставиться без пробілу.
12. Слова, словосполучення та речення латинською мовою у статті виділяють курсивом, незалежно від мови написання статті.

Приклади:

... the plant extract was carried out *in vitro* by the Kirby-Bauer disc...

... є важливими біомаркерами *in vivo* для біомоніторингу...

Таксони (усі) та синтаксони рослинності наводять лише латинською мовою і виділяють курсивом. Звичайним шрифтом слід наводити автора(-ів) таксону чи синтаксону за першого згадування у кожній структурній частині статті (назві, анотаціях та ключових словах будь-якою мовою, власне тексті (тілі) статті), а також підписах до таблиць та рисунків.

Якщо у статті згадуються види, які належать до одного роду, і між цими згадуваннями немає згадувань видів інших родів, то після першого написання повної видової назви далі у тексті назву виду слід подавати, скорочуючи назву роду до першої літери з крапкою. Це правило застосовується у межах будь-якої структурної частини статті, а також підписів до таблиць та рисунків.

Приклад написання латинських назв таксонів і син таксонів у одній статті:

PLATANUS L. GENUS IN TRANSCARPATHIA
ПІД PLATANUS L. НА ЗАКАРПАТТІ

ABSTRACT

... the coexistence of other *Platanus* L. species... *Picea abies* (L.) Karst.

... the study of the genus *Platanus* in the ... as *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. is a...

... the genus *Platanus* in Transcarpathia will.... *Picea abies*...

The spruce forest communities of the Dnieper part of Eastern Polesie belong to the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 and *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 associations of the *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 alliance of the *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 order of the *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 class.

The natural spruce forest of the *Quercu-Piceetum* association...

Key words: introduced plants, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L., Transcarpathia

АНОТАЦІЯ

... міжвидових гібридів роду *Platanus* L. ...is *Picea abies* (L.) Karst.

... гібриди роду *Platanus* ... *Picea abies*...

... належить до виду *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. і має статусу...

Угруповання ялинових лісів придніпровської частини Східного Полісся належать до асоціацій *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 та *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 з союзу *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 порядку *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939.

Природний ялиник асоціації *Quercu-Piceetum*...

Ключові слова: Закарпаття, рослини-інтродуценти, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L.

Formulation of the problem

In ... two primary progenitors: *Platanus orientalis* L. and *P. occidentalis* L. Additionally, there are several natural hybrid species, including the *P. acerifolia* (Aiton) Willd., *P. cuneata* Willd., *P. digitata* Gord., *P. hispanica* Münchh. and others.

Results and discussion

P. occidentalis also known simply as «sycamore», ..., *Ficus sycómorus* L., which is ... and even the *Acer pseudoplatanus* L....

...*Platanus orientalis* along with...

Fig. 1: *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd (photo by Ivan Dzurenko)

...*P. occidentalis* is notably affected by the fungus *Gloeosporium nervisequum* (Fuckel) Sacc....

... *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association...

Table. Structure of the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association

...*Eu-Piceetum* is formed in an ecotone area ...

... both *Platanus occidentalis* and *P. acerifolia* grew...

... phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 and *Robinietea* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 classes are formed...

Conclusions

... Among these species is *P. acerifolia*.

..., phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* class is...

13. Після списку літературних джерел надається інформація про кожного автора **англійською мовою**:

- Перший рядок – **Surname, Name [in Ukrainian: Прізвище Ім'я]** ¹[i], посада, науковий ступень та вчене звання (за наявності), e-mail.
- Наступний рядок – обов'язкове зазначення *ORCID* автора (профіль повинен бути заповнений та відкритий для перегляду громадськості).
- Наступний рядок – зазначення *ResearcherID* автора (за наявності), зазначення *Scopus- AuthorID* автора (за наявності).
- Наступний рядок – зазначення організації, в якій працює автор.
- Наступний рядок – обов'язкове зазначення повної адреси організації, у якій працює автор, з указанням індексу та країни.

14. У кінці сторінки вказується дата її надсилання у редакцію журналу.

До статті додається список 2-3 потенційних рецензентів (кандидатів наук та/або докторів наук, які здійснюють дослідження за спеціальністю, що відповідає тематиці поданого для публікації матеріалу, і є авторами (співавторами) загальною кількістю не менше трьох публікацій у наукових виданнях, включених до категорії «А» та/або категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України, та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus за відповідною спеціальністю, оприлюднених упродовж останніх п'яти років) із зазначенням їх місця роботи, наукових інтересів, ORCID та Google Scholar, e-mail.

Подання матеріалів, публікація та доступ до опублікованих статей безкоштовно.

Текст статті і додаткові матеріали надсилати електронною поштою на адресу lukash2011@ukr.net або [bht.journal.nuchc@gmail](mailto:bht.journal.nuchc@gmail.com) (у листі вказати прізвище автора).

РЕДАКЦІЯ ЖУРНАЛУ НЕ НЕСЕ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ЗМІСТ СТАТЕЙ ТА МОЖЕ НЕ ПОДІЛЯТИ ДУМКУ АВТОРА!

[i] ¹ Вказати внесок відповідного (1 – першого, 2 – другого тощо) автора у публікацію, обравши з переліку: 1) study design, 2) data collection, 3) statistical analysis, 4) manuscript preparation, 5) funds collection.

SCIENTIFIC EDITION

BHT 

Biota. Human. Technology

International Scientific Journal

BHT : Biota. Human. Technology / Національний університет
«Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка; гол. ред.
О.В. Лукаш. 2024. №2. 144 с.

Designer – N. Tkachuk

Photos of the title page – N. Tkachuk

Editing – O. Lukash, I. Kurmakova, O. Syza, H. Tkaczenko, N. Tkachuk, O. Klimova

Administrator of site – N. Tkachuk

Designer cover – N. Tkachuk

Passed for printing
30.08.2024 Format A4

Editorial and Publishing Department of T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», 53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013,
Ukraine

Phone: +38(046)265-1799

nuchk.tipograf@gmail.com