Наукові записки

Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка
Серія: Біологія

Scientific Issues
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
Series: Biology

85 (3)
2025

УДК 57(062.552)
Н 34

Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 2025. Т. 85, № 3. 82 с.

Друкується за рішенням вченої ради
Тернопільського національного педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка
від 30.09.2025 р. (протокол № 4)

Коректори: О. С. Вербовецька
Т. І. Белей
Комп'ютерна верстка: О. Б. Мацюк

Адреса редакції:
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2
м. Тернопіль, 46027
E-mail: journal@chem-bio.com.ua
http:// journals.chem-bio.com.ua

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

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

Українські та латинські назви рослин і тварин наведені за авторським текстом

UDC 57(062.552)
H 34

Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University.
Series: Biology. 2025. T. 85, № 3. 82 p.

Published by the decision of the Academic Council
of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
from 30.09.2025 (protocol № 4)

Proofreader: O. S. Verbovetska
T. I. Belei
Computer editing: O. B. Matsiuk

Editorial office address:
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
2 M. Kryvonosa Str. Ternopil,
46027 Ukraine
E-mail: journal@chem-bio.com.ua
http:// journals.chem-bio.com.ua

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

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

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

ЗМІСТ

CONTENTS

БОТАНІКА

УДК 582.091/.093:712.4(477.44-25) doi: 10.25128/2078-2357.25.3.1

О. А. ШЕВЧУК, О. О. ТКАЧУК, С. В. ПОЛИВАНИЙ, О. О. ХОДАНІЦЬКА, О. А. МАТВІЙЧУК

Вінницький державний педагогічний університет імені М. Коцюбинського
вул. Острозького, 32, Вінниця, 21100
e-mail: stepan.polivaniy@ukr.net

ВИДОВЕ РОЗМАЇТТЯ ТА ЖИТТЄВИЙ СТАН ДЕРЕВНИХ ПОРІД І КУЩІВ У НАСАДЖЕННЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАРКУ ім. М. ЛЕОНТОВИЧА У МІСТІ ВІННИЦЯ

У статті висвітлено видове розмаїття та життєвий стан деревних порід та кущів у насадженнях Центрального парку м. Вінниці ім. М. Леонтовича, а також різні фітопатогени та шкідники, що знижують їх стійкість. Дослідження здійснювалися шляхом маршрутних обстежень об'єктів. Центральний міський парк Вінниці імені М. Леонтовича є парком-пам'яткою садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення. Він розташований у центральній частині міста, між вулицями Соборною, Магістратською та Хмельницьким шосе, й слугує традиційним місцем відпочинку мешканців та відвідувачів міста. Моніторинг фітопатологічного стану насаджень здійснювався методом маршрутних обстежень, що проводилися тричі протягом вегетаційного періоду. Для видів досліджуваної дендрофлори проведено систематичний, ботаніко-географічний та біоморфологічний аналізи. Аналіз флористичного складу зелених насаджень Центрального парку імені М. Леонтовича міста Вінниця засвідчив наявність 99 видів і форм деревних та чагарникових рослин, що відносяться до 48 родів і 26 родин. Найбільш чисельною у родинно-видовій структурі представлені *Rosaceae, Pinaceae, Sapindaceae* та *Salicaceae,* тоді як у родово-видовому спектрі переважають *Acer, Spiraea, Picea, Salix, Populus* та *Ulmus*. У процесі озеленення парку використовуються 24 автохтонні види, більшість із яких належать до євразійської флори. Серед 75 алохтонних видів 15 мають гібридне походження, а решта 60 є інтродуцентами з Європи, Північної Америки та Східної Азії. Найвищим рівнем різноманітності вирізняються низькорослі чагарники та широколистяні деревні породи, що становлять близько 50 % усього асортименту. Дослідження життєвого стану насаджень показало, що близько 6,1 % видів дерев знаходяться у категорії сильно пошкоджених та поступово відмирають, тоді як більшість використаних в озелененні видів зберігають задовільний стан. Серед патологій найпоширенішим виявилося ураження борошнистою росою. Найбільш чутливими до цього захворювання є *Sorbus aucuparia* L.*, Tilia cordata* Mill.*, Acer platanoides* L.*, Ulmus pumila* L.*,* а також представники родів *Crataegus* та *Berberis*.

Ключові слова: дендрофлора, біоморфа, інтродуценти, життєвий стан, алохтонні види, родина, систематичний аналіз.

Сучасною проблемою є збереження довкілля та створення сприятливих та здорових умов для життя людини. У вирішенні цього завдання провідна роль відводиться зеленим насадженням, що виростають в умовах міського середовища. Одним із найважливіших факторів оздоровлення клімату будь-якого населеного пункту є раціональне озеленення його території. Необхідно визнати, що на цей час формуванню здорового середовища міст та селищ не приділяється

належної уваги. Вивчення флори міст продовжує залишатися актуальною проблемою сучасних еколого-ботанічних досліджень.

Вивченню дендрофлори різних населених пунктів України присвячено ряд робіт [4, 15]. Так, Т. О. Бойком [1] був досліджений фітосанітарний стан зелених насаджень міста Херсон, а І. Р. Кузиком [9] проаналізовані геоекологічні засади сталого функціонування зеленої зони міста Тернопіль. С. Г. Літвіненко та інші [10] дослідили зелені насадження міста Чернівці, а Р. Б. Дудин із колегами [5, 6] описали стан вуличних насаджень центральної частини міста Хмельницького та проаналізували культивовану дендрофлору міста Ужгород. Дендрологічний склад вуличних насаджень міста Дрогобич висвітлено у праці Я. Я. Павлишака та інших [13].

Проте досі відсутні дані щодо сучасного стану зелених зон у місті Вінниця, а без цих відомостей неможливо ефективно оптимізувати проведення озеленювальних робіт у регіоні.

Парки та сквери становлять важливу складову архітектурно-планувальної організації великих міст, поєднуючи в собі декоративне значення з фітомеліоративними властивостями та слугуючи простором для рекреаційної активності як місцевого населення, так і відвідувачів.

Основним елементом системи озеленення виступають деревні рослини. У складі урбоекосистем дерева та чагарники змушені пристосовуватися до ряду несприятливих факторів та значно страждають від антропогенного пресу. При розробці проєктів садів та парків важливо враховувати ступінь стійкості деревних рослин до своєрідних умов міського середовища та фітопатогенів, динаміку їх зростання, декоративність листя та крони, а також низку інших морфолого-біологічних ознак.

Проведення комплексної оцінки зелених насаджень, що включає флористичний аналіз, оцінку життєвого стану, вивчення мікофлори та шкідників дерев та чагарників, актуальне для міських ландшафтів Вінниці.

Метою нашого дослідження було виявлення видового складу та життєвого стану деревних рослин і кущів у насадженнях Центрального парку ім. М. Леонтовича міста Вінниця, а також різноманітності фітопатогенів та шкідників, що знижують їх стійкість.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження здійснювалися шляхом маршрутних обстежень об’єктів Центрального парку ім. М. Леонтовича міста Вінниця. Для видів досліджуваної дендрофлори проведено систематичний, ботаніко-географічний та біоморфологічний аналізи. Попередня таксономія встановлена у польових умовах, а остаточна була уточнена за виданнями: «Визначник рослин України» [3], «Атлас деревних і чагарникових порід України» [7]. Латинські назви у роботі, а також типи ареалів і походження різних таксонів наведені на основі праці М. А. Кохно та ін. [8].

Класифікацію життєвих форм дендрофлори (за висотою, біологічними особливостями) здійснювали за методикою О. В. Вашека та В. А. Баданіної [2].

Насадження всіх деревних видів були поділені на 5 категорій стану (КС) [13]: КС (I_C = 80–100 %) – здорові; II КС (I_C = 50–79 %) – слабко пошкоджені (помірно ослаблені); III КС (I_C = 20–49 %) – сильно пошкоджені (сильно ослаблені); IV КС ($I_C \leq 20$ %) – всихаючі (відмираючі, повністю зруйновані); V КС (I_C = 0 %) – сухостій.

Облік хвороб рослин проводився під час маршрутних обстежень, які здійснювали тричі за період вегетації. Техніка обліку полягала у загальній оцінці стану рослин, у відборі пробних зразків уражених органів рослин для подальшого встановлення патогену.

Результати досліджень та їх обговорення

Центральний міський парк імені М. Леонтовича міста Вінниця є парком-пам’яткою садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення. Він розташований у центральній частині міста, між вулицями Соборною, Магістратською та Хмельницьким шосе, й слугує традиційним місцем відпочинку мешканців та відвідувачів міста. Заснування парку відбулося у 1936 році, його загальна площа становить 40 гектарів.

Виявлено, що до флористичного списку зелених насаджень Центрального парку ім. М. Леонтовича міста Вінниця входить 99 видів та форм дерев і чагарників, що належать до 48 родів та 26 родин (табл. 1).

Таблиця 1

Систематична структура дендрофлори Центрального парку Вінниці ім. М. Леонтовича

Відділ	Кількість родів	% від загальної кількості	Кількість родин	% від загальної кількості	Кількість видів	% від загальної кількості
Angiosperms	42	87,5	24	92,3	84	84,8
Pinophyta	6	12,5	2	7,7	15	15,2
Разом	48	100	26	100	99	100

Під час здійснення аналізу співвідношення великих таксономічних груп було встановлено, що 15 видів (15,2 %) належать до відділу *Pinophyta*. Решта 84 виявлені види належать до відділу *Angiosperms*, що складає (84,8 % від загальної кількості). Пропорції дендрофлори становлять 1:1,8:3,8. Отже, на одну родину в середньому припадає близько 2 роди та 4 види. Провідними родинами дендрофлори парку виступають *Rosaceae* і *Pinaceae*, до найбільших родів відносяться *Acer*, що включає 7 видів та форм, *Spiraea* та *Picea* з 5 видами у складі, *Ulmus, Salix* та *Populus,* що нараховують по 4 види (рис. 1).

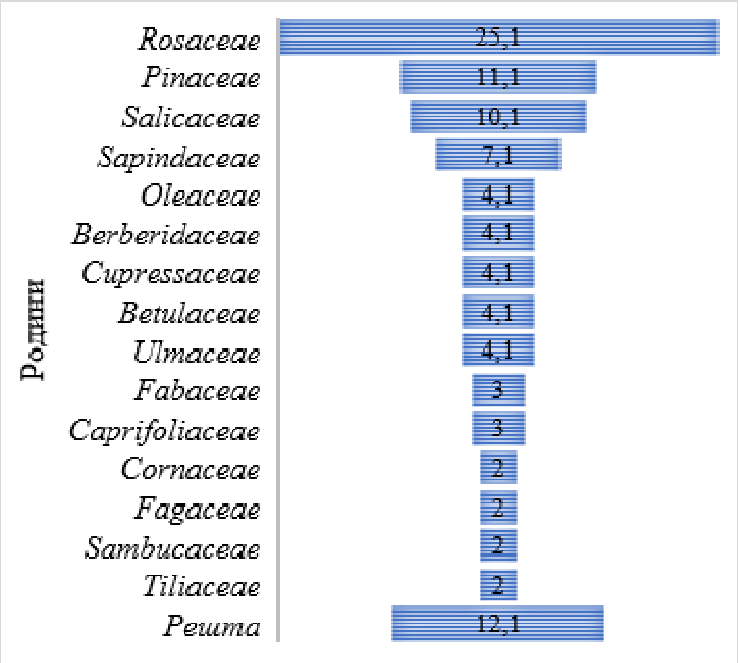


Рис. 1. Частка провідних родин у складі дендрофлори Центрального парку Вінниці ім. М. Леонтовича, %.

Домінування представників родини *Rosaceae* простежується як за видовим, так і за родовим різноманіттям у складі зелених насаджень різних міст України [5, 11].

Функціональні насадження характеризуються відносною простотою у створенні, невибагливістю у догляді та високим рівнем стійкості. Тривалість їх існування визначається не лише біологічною довговічністю окремих видів деревних рослин, а й насамперед їхньою екологічною відповідністю ґрунтово-кліматичним умовам конкретної території [12, 14].

Місцеві види рослин упродовж тисячоліть формували здатність адаптуватися до специфічних ґрунтово-кліматичних умов свого ареалу. У процесі еволюції відбувався добір ознак, що забезпечували найвищий рівень пристосованості до середовища існування. Під впливом зовнішніх факторів у цих рослин сформувалися фізіологічні, морфологічні та анатомічні особливості, які дозволили їм витримати конкуренцію. У результаті вони виробили здатність до спільного існування, утворюючи стійкі біо- та фітоценози, що забезпечували їхнє збереження та розвиток у характерних для регіону умовах.

У складі насаджень тільки ¼ частина виявленого розмаїття дерев і чагарників – аборигенні види. Серед них 83 % поширені в межах Євразії і характеризуються євро-

західноазіатським, євро-південноазіатським, східноєвропейсько-азіатським та євро-азіатським типами ареалів, менша частина видів (17 %) мають порівняно вузьке поширення, їх природний ареал охоплює лише територію Європи. Із 75 алохтонних елементів досліджуваної дендрофлори 15 мають гібридне походження, серед них *Spiraea x cinerea, S. x bumalda, Cotoneaster lucidus x melanocarpus, Forsythia x intermedia* та ін., решта 60 видів – інтродуценти (табл. 2).

Таблиця 2

Систематична структура алохтонних елементів дендрофлори Центрального парку Вінниці ім. М. Леонтовича

Родина	Кількість родів	Частка від загального складу, %	Кількість видів і форм	Частка від загального складу, %
Rosaceae	10	20,8	22	22
Pinaceae	4	8,3	9	9
Sapindaceae	1	2,2	5	5
Cupressaceae	2	4,1	4	4
Berberidaceae	2	4,1	4	4
Oleaceae	3	6,3	4	4
Salicaceae	2	4,1	6	6
Fabaceae	2	4,1	3	3
Caprifoliaceae	2	4,1	2	2
Ulmaceae	1	2,2	2	2
Cornaceae	1	2,2	2	2
Решта	13	27,1	13	13
Всього	43	89,6	75	76

Особливу роль в озелененні займають як чагарникові, так і деревні інтродуценти, які цінуються у культурі за величезне різноманіття форм і розмірів, декоративність квіток і плодів.

В озелененні парку використовуються інтродуценти родом із Центральної та Південної Європи – 23 види (38,3 %), Північної Америки – 18 видів (30 %), Східної Азії – 13 видів (21,7 %), а також Західної та Центрального Сибіру – 5 видів (8,3 %) та гірських районів Євразії – 1 вид (1,7 %).

У ході біоморфологічного аналізу у складі різних типів насаджень парку було виділено 14 життєвих форм (табл. 3). Найбільша видова різноманітність характерна для низьких геоксильних чагарників, аероксильних чагарників, а також широколистяних дерев.

Таблиця 3

Склад життєвих форм дендрофлори Центрального парку Вінниці ім. М. Леонтовича

За висотою	За біологічними особливостями	Загальна кількість видів, шт.	% від загальної кількості
дерева першої та другої величини (> 15 м)	широколистяне високе дерево	16	16,1
	дрібнолисте високе дерево	7	7,1
	темнохвойне дерево високе	5	5,1
	світлохвойне високе дерево	1	1
	літньохвойне високе дерево	2	2,1
дерева третьої величини (< 15 м)	широколистяне низьке дерево	10	10,1
	дрібнолисте низьке дерево	2	2
	вузьколисте низьке дерево	3	3
	темнохвойне низьке дерево	3	3,1
чагарник-деревце	темнохвойне деревце-чагарник з лускатої та голкоподібної хвоями	4	4,1
	чагарник аероксильний-деревце	14	14,1
чагарники високі (> 2 м)	чагарник геоксильний високий	10	10,1
чагарники (1–2 м)	чагарник геоксильний низький	20	20,2
ліани	дерев'яниста ліана	2	2,1
Всього		99	100

Досліджувані популяції дерев та чагарників у різному ступені стійкі до комплексного впливу умов муніципального середовища. Ступінь їх життєвого стану варіює від 15 до 100 %. Аналіз життєвого стану показав, що 54,5 % видів дерев не мають ушкоджень та формують здорові насадження (КС I).

Серед них переважно види-інтродуценти – *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Acer platanoides "Drummondii", Acer negundo* L., *Juglans mandshurica* Maxim., *Picea pungens* Engelm., *Quercus rubra*, *Robinia pseudoacacia* L. та ін.

За нашими даними ослаблені насадження (КС II) виявлено у 39,4 % інтродукованих та аборигенних видів та форм, таких як *Quercus robur* L., *Betula pendula* Roth, *Acer platanoides* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Juniperus virginiana* L., *Pinus sylvestris* L., *Thuja occidentalis* L., *Sorbus aucuparia* L. та ін. Для них відзначено наявність окремих сухих гілок у кроні, ушкодження листя, хвої. Сильно пошкоджені та усихаючі насадження (КС III і IV) характерні для 6,1 % видів деревних рослин, серед яких *Ulmus pumila* L. та ін.

Під час досліджень були виявлені неінфекційні та інфекційні захворювання дерев та чагарників (табл. 4). Найчастіше трапляються такі захворювання, як борошниста роса, іржа та різні плямистості.

Таблиця 4

Ураженість хворобами видів дерев та чагарників Центрального парку Вінниці ім. М. Леонтовича

Вид	Борошниста роса	Іржа	Плямистості
Betula pendula Roth	+	-	-
Tilia cordata Mill.	+	-	+
Sorbus aucuparia	+	+	+
Acer platanoides L.	+	-	+
Populus balsamifera L.	-	+	-
Quercus robur L.	+	-	-
Ulmus pumila L.	+	-	+
Padus avium Moench	+	-	-
Crataegus sp.	+	-	+
Syringa vulgaris L.	+	-	-
Berberis vulgaris L.	+	+	-
Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott	-	-	+

Висновки

Виявлено, що до флористичного списку зелених насаджень Центрального парку Вінниці ім. М. Леонтовича входить 99 видів та форм дерев і чагарників, що належать до 48 родів та 26 родин. У родинно-видовому спектрі найбільш широко представлені *Rosaceae, Pinaceae, Sapindaceae* та *Salicacea*, у родово-видовому спектрі – *Acer, Spiraea, Picea, Salix, Populus* та *Ulmus*.

З місцевої флори успішно використовуються в озелененні парку 24 види, більшість із яких мають євроазіатське поширення. Серед 75 алохтонних видів 15 мають гібридне походження, а 60 – інтродуценти переважно європейського, північноамериканського та східноазіатського походження.

Низькі геоксильні чагарники та широколистяні дерева виокремлюються найбільшою видовою різноманітністю (біля 50 % всіх видів) серед зелених насаджень парку.

Під час здійснення діагностики життєвого стану було з’ясовано, що популяції 6,1 % видів дерев мають категорію сильно пошкоджених і усихають, життєвий стан інших використаних в озелененні видів – задовільний. Найбільш поширеним захворюванням досліджуваних рослин виступає борошниста роса, а найбільш ураженими видами є *Sorbus aucuparia* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L., *Ulmus pumila* L., а також представники родів *Crataegus* та *Berberis*.

1. Бойко Т. О. Фітосанітарний стан зелених насаджень міста Херсон. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2020. Т. 30, № 4. С. 67–72.
2. Вашека О. В., Баданіна В. А. Вибрані розділи дендрології : навчальний посібник. Київ : ПАЛИВОДА А. В., 2024. 140 с.
3. Визначник рослин України. 2-ге вид. / А. І. Барбарич, Є. М. Брадіс, О. Д. Вісюліна та ін. Київ : Урожай, 1965. 880 с.
4. Дворна А. В., Бойко Т. О. Особливості озеленення територій малих міст Херсонської області (на прикладі смт Каланчак). *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку :* ІІ Міжнародна науково-практична конференція (24–25 жовтня 2019 р, м. Херсон, Україна). Херсон, 2019. С. 82–85.
5. Дудин Р. Б., Багацька О. М., Росул Н.-І. І. Культивована дендрофлора міста Ужгород. *Біоресурси і природокористування.* 2020. Т. 12, № 182. С. 56–63.
6. Дудин Р. Б., Левусь Т. М., Фітак М. М. Стан вуличних насаджень центральної частини міста Хмельницького. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 26.1. С. 41–46.
7. Ковбенко О. А., Ковбенко Ю. М. Атлас деревних і чагарникових порід України. 2 томи. Київ, 2003. 200 с.
8. Кохно М. А., Трофіменко Н. М., Пархоменко Л. І. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина ІІ. Довідник. Київ : Фітосоціоцентр, 2005.715 с.
9. Кузик І. Комплексна зелена зона міста Тернопіль: геоекологічні засади сталого функціонування : монографія. Тернопіль : Осадца, 2023. 220 с.
10. Літвіненко С. Г., Виклюк М. І., Бляхарська Л. О. Підсумки інвентаризації зелених насаджень міста Чернівці. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2017. Т. 27, № 1. С. 48–53.
11. Мальцева С. Ю. Дендрофлора міста Генічевськ (Херсонська область, Україна). *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія.* 2016. Вип. 2 (38). С. 106–114.
12. Масальський В. П., Кузнецов С. І. Аборигенна дендрофлора покритонасінних – основа паркобудування в Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 8. С. 14–18.
13. Павлишак Я. Я., Даньків В. Я., Шпек М. П. Дендрологічний склад вуличних насаджень міста Дрогобич. *Екологічні науки.* 2022. № 3(42). С. 175–180.
14. Шищенко П. Г., Гавриленко О. П., Циганок Є. Ю Доступність зелених зон в умовах компактного міста (на прикладі Києва). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. Вип. 55. С. 245–256.
15. Юхновський В. Ю., Зібцева О. В. Порівняльний аналіз класифікацій зелених насаджень населених пунктів України та пострадянських країн. *Наукові праці Лісівничої академії наук України.* 2018. Вип. 16 (16). С. 90–98.

References

1. Boyko T. O. Fitosanitarnyi stan zelenykh nasadzhen mista Kherson. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2020. T. 30, No 4. S. 67–72. [in Ukrainian]
2. Vasheka O. V., Badanina V. A. Vybrani rozdily dendrolohii : navchalnyi posibnyk. Kyiv : PALYVODA A. V., 2024. 140 s. [in Ukrainian]
3. Vyznachnyk roslyn Ukrainy. 2-he vyd. / A. I. Barbarych, Ie. M. Bradis, O. D. Visiulina ta in. Kyiv : Urozhai, 1965. 880 s. [in Ukrainian]
4. Dvorna A. V., Boyko T. O. Osoblyvosti ozelenennia terytorii malykh mist Khersonskoi oblasti (na prykladi smt Kalanchak). *Ekolohichni problemy navkolyshnoho seredovyshcha ta ratsionalnoho pryrodokorystuvannia v konteksti staloho rozvytku* : II Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (24–25 zhovtnia 2019 r, m. Kherson, Ukraina). Kherson, 2019. S. 82–85. [in Ukrainian]
5. Dudyn R. B., Bahatska O. M., Rosul N.-I. I. Kultyvovana dendroflora mista Uzhhorod. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*. 2020. T. 12, No 182. S. 56–63. [in Ukrainian]
6. Dudyn R. B., Levus T. M., Fitak M. M. Stan vulychnykh nasadzhen tsentralnoi chastyny mista Khmelnytskoho. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2016. Vyp. 26.1. S. 41–46. [in Ukrainian]
7. Kovbenko O. A., Kovbenko Yu. M. Atlas derevnykh i chaharnykovykh porid Ukrainy. 2 tomy. Kyiv, 2003. 200 s. [in Ukrainian]
8. Kokhno M. A., Trofimenko N. M., Parkhomenko L. I. Dendroflora Ukrainy. Dykorosli y kultyvovani dereva i kushchi. Pokrytonasinni. Chastyna II. Dovidnyk. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2005.715 s. [in Ukrainian]
9. Kuzyk I. Kompleksna zelena zona mista Ternopil: heoekolohichni zasady staloho funktsionuvannia : monohrafiia. Ternopil : Osadtsa, 2023. 220 s. [in Ukrainian]
10. Litvinenko S. H., Vykliuk M. I., Bliakharska L. O. Pidsumky inventaryzatsii zelenykh nasadzhen mista Chernivtsi. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2017. T. 27, No 1. S. 48–53. [in Ukrainian]

11. Maltseva S. Yu. Dendroflora mista Henichevsk (Khersonska oblast, Ukraina). *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia Biolohiia*. 2016. Vyp. 2 (38). S. 106–114. [in Ukrainian]
12. Masalskyi V. P., Kuznetsov S. I. Aboryhenna dendroflora pokrytonasinnykh – osnova parkobuduvannia v Lisostepu Ukrainy. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2018. T. 28, No 8. S. 14–18. [in Ukrainian]
13. Pavlyshak Ya. Ya., Dankiv V. Ya., Shpek M. P. Dendrolohichnyi sklad vulychnykh nasadzhen mista Drohobych. *Ekolohichni nauky*. 2022. No 3(42). S. 175–180. [in Ukrainian]
14. Shyshchenko P. H., Havrylenko O. P., Tsyhanok Ie. Yu Dostupnist zelenykh zon v umovakh kompaktnoho mista (na prykladi Kyieva). *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina, seriia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»*. 2021. Vyp. 55. S. 245–256. [in Ukrainian]
15. Yukhnovskyi V. Yu., Zibtseva O. V. Porivnialnyi analiz klasyfikatsii zelenykh nasadzhen naselenykh punktiv Ukrainy ta postradianskykh krain. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy*. 2018. Vyp. 16 (16). S. 90–98. [in Ukrainian]

O. A. Shevchuk, O. O. Tkachuk, S. V. Polyvanyi, O. O. Khodanitska, O. A. Matviichuk
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Ukraine

SPECIES DIVERSITY AND VITALITY OF TREES AND SHRUBS IN THE PLANTINGS OF VINNYTSIA M. LEONTOVYCH CENTRAL PARK

The article under consideration highlights the species diversity and vitality of tree and shrub species in the plantings of Vinnytsia M. Leontovych Central Park. In addition, it examines various phytopathogens and pests that have the potential to reduce their resilience. The research was conducted through route surveys of the sites.

The park known as Vinnytsia Central Park, which derives its name from M. Leontovych, is a park-monument of landscape architecture of national importance. The site is located in the central part of the city, between Soborna Street, Mahistratska Street, and Khmelnytske Highway, and functions as a conventional recreational area for residents and visitors alike. The phytopathological condition of the plantings was monitored by conducting route surveys, which were carried out on three occasions during the growing season. A comprehensive array of analytical techniques was employed, encompassing systematic, botanical-geographical, and biomorphological approaches, to comprehensively examine the species comprising the studied dendroflora. An analysis of the floristic composition of the green spaces in Vinnytsia Central Park revealed the presence of 99 species and forms of tree and shrub plants, belonging to 48 genera and 26 families. The most numerous family-species structures are those of *Rosaceae, Pinaceae, Sapindaceae and Salicaceae*, while the genus-species spectrum is dominated by *Acer, Spiraea, Picea, Salix, Populus and Ulmus.*

In the process of landscaping the park, 24 native species are employed, the majority of which belong to the Eurasian flora. Among the 75 species that have been introduced, 15 are of hybrid origin, and the remaining 60 are introductions from Europe, North America, and East Asia. The highest level of diversity is found among low-growing shrubs and broad-leaved tree species, which make up approximately 50% of the total assortment. A study of the vitality of the plantings showed that about 6.1 % of tree species are in the category of severely damaged and are gradually dying off, while the majority of the species used in landscaping maintain a satisfactory condition. Among the pathologies, powdery mildew was found to be the most widespread. The most susceptible to this disease are *Sorbus aucuparia* L., *Tilia cordata*, *Acer platanoides* L., *Ulmus pumila* L., as well as representatives of the genera *Crataegus* and *Berberis*.

Key words: dendroflora, biomorph, introduced species, vitality, allochthonous species, family, systematic analysis.

Надійшла 02.09.2025.

БІОХІМІЯ

УДК 597.2/.5-11.044:577.112.825:546.73 doi: 10.25128/2078-2357.25.3.2

В. С. МАРКІВ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: viktor.markiv@tnpu.edu.ua

БІОМАРКЕРИ ОКИСНОГО СТРЕСУ У КАРАСЯ ТА ЩУКИ ЗА ДІЇ ІОНІВ КОБАЛЬТУ

У роботі проаналізовано показники окисного стресу у зябрах, печінці та м'язах карася сріблястого (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)) і щуки звичайної (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) за впливу іонів кобальту у концентраціях 0,1 мг/дм³ та 0,25 мг/дм³ протягом 14 діб. Встановлено, що токсична дія кобальту має спільний механізм, але призводить до різних фізіологічних наслідків у риб. Карась продемонстрував вищий поріг оксидативного виснаження, зберігаючи антиоксидантну цілісність у досліджуваних умовах. Щука реагує як чутливий біоіндикатор токсичного впливу іонів кобальту. При цьому має місце виснаження загальної системи захисту та індуковане пероксидне окиснення ліпідів у тканинах, що призводить безпосередньо до пошкодження структури мембран. Отримані дані є важливими для розуміння впливу іонів кобальту на водні екосистеми та можуть бути використані для розробки екологічних нормативів і контролю щодо забруднення цим металом водойм.

Ключові слова: гідробіонти, біомаркери, екотоксикологія, оксидативний стрес, антиоксиданти, пероксидне окиснення ліпідів, кумулятивний ефект, метали, кобальт.

Протягом останніх десятиліть процеси урбанізації та індустріалізації призвели до значного перевищення концентрацій важких металів у водних екосистемах, попри внесок природних геохімічних процесів. Іони металів є одними з найбільш руйнівних забруднювачів водних екосистем завдяки їх біоакумуляції, біомагніфікації, стійкості та здатності взаємодіяти з численними біологічними компонентами [22]. Риби постійно зазнають впливу важких металів у водному середовищі, що обумовлює їх широке використання як модельних організмів у екотоксикологічних дослідженнях [17].

Іони важких металів можуть надмірно індукувати утворення активних форм кисню (АФК) [3]. Організми реагують на збільшення продукування АФК шляхом посилення регулювання своєї антиоксидантної системи захисту за допомогою неферментативних (загальний глутатіон, вітамін С, поліфеноли) та ферментативних компонентів (супероксиддисмутаза, глутатіон-S-трансфераза, каталаза) [9]. Як комплексний показник цього процесу вимірюється загальна антиоксидантна активність, яка кількісно відображає сумарну дію всіх антиоксидантів у клітинах організму, спрямовану на боротьбу з вільними радикалами. Це забезпечує більш повну оцінку загальної стійкості організму до окислювального пошкодження [14].

Надмірне продукування АФК, що супроводжується модуляцією антиоксидантної системи захисту може спричинити оксидативний стрес та високий рівень пероксидного окислення ліпідів в організмі риб [3]. Інтенсивність пероксидного окислення ліпідів оцінюється шляхом вимірювання концентрацій його первинних або кінцевих ТБК-активних речовин. Продукти

ПОЛ, що вивільняються в неполярній середній частині біологічних мембран, змінюють їх стабільність шляхом пошкодження їх цілісності, впливаючи на ліпід-ліпідні, ліпід-білкові взаємодії та функції мембранних протеїнів [6]. Використання інтегрованих біомаркерів є ефективним інструментом для моніторингу стану навколишнього водного середовища та може надавати важливу інформацію щодо токсикологічного впливу на гідробіонтів [18].

Кобальт є важливим мікроелементом, який знаходить широке застосування в різних галузях промисловості та сільського господарства, зокрема як складова магнітних матеріалів, акумуляторних батарей і високотемпературних сплавів у реактивних двигунах [1]. Попри важливість цього елементу, який входить до складу вітаміну B_{12} та є кофактором низки ферментів (дегідрогенази, гідратази, мутази, трансферази), для нормальної життєдіяльності потрібні лише слідові кількості кобальту. Зростання вмісту цього металу, як у воді, так і в організмі гідробіонтів, може призводити до токсичних ефектів для водної біоти [4]. Кобальт належить до перехідних металів, які, як відомо, генерують АФК, зокрема супероксидні аніони та гідроксильні радикали через реакції Фентона [5].

Таким чином, метою цього дослідження було вивчення впливу підвищених концентрацій іонів кобальту у воді на неферментативні та ферментативні біомаркери оксидативного пошкодження у тканинах зябер, печінки та м'язів прісноводних риб (карася та щуки), а також використання отриманих даних з метою біомоніторингу гідроекосистем.

Матеріали та методи досліджень

Експериментальні дослідження проведено на дворічках карася сріблястого (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)) та щуки звичайної (*Esox lucius* L., 1758) середньою масою 200–220 г та 150–170 г відповідно. Вивчення зазнав вплив двох підвищених концентрацій іонів кобальту: 0,1 та 0,25 мг/дм^3, що відповідали 2 та 5 гранично допустимим концентраціям. Метал вносили у воду 200-літрових акваріумів, де знаходилися дослідні групи риб (по п'ять особин у кожному), у вигляді $CoCl_2 \cdot 6H_2O$. З метою зниження впливу на риб їх власних екзометаболітів воду в акваріумах змінювали щодводобово. Для досягнення стану розвитку і максимального прояву функціонування компенсаторно-адаптивних реакцій до металу аклімацію риб здійснювали протягом 14 діб. Цей період, за даними авторів [19], є достатнім для формування адаптивних реакцій в організмі екзотермних тварин.

Для аналізу відбирали тканини зябер, передньої долі печінки та білих м'язів спини риб. Тканини гомогенізували у 50 мМ К-фосфатному буферному розчині (pH 7,4) (1:10 маса:об'єм) та центрифугували при 6000 g протягом 10 хв. У супернатантах визначали загальний вміст протеїнів за методом Лоурі та співавторів [16].

Загальну антиоксидантну активність визначали на основі швидкості поглинання радикала 2,2′-азинобіс (3-етилбензотіазолін-6-сульфонат) при 734 нм [10]. Розчини тролоксу використовували як стандарти для калібрування. Еквівалентну антиоксидантну активність тролоксу представляли у вигляді ммоль еквівалент тролоксу/мг протеїнів.

Для кількісного визначення загального глутатіону у гомогенаті тканин було використано метод, який ґрунтується на здатності глутатіону окиснюватися 5,5'-дитіобіс-2-нітробензойною кислотою до окисненої форми з утворенням 5-тіо-2-нітробензойної кислоти [2]. Активність глутатіон-S-трансферази визначали спектрофотометрично за утворенням адуктів 1-хлоро-2,4-динітробензолу з глутатіоном [12]. Утворення адукту S-2,4-динітрофеніл глутатіону реєстрували через 20 хв за збільшенням інтенсивності світлопоглинання при 340 нм. Активність ферменту обраховували за коефіцієнтом екстинції комплексу (9,6 ммоль/см) і виражали в мкмоль/мг протеїну.

Активність каталази визначали у фракції розчинного протеїну гомогенату тканини печінки з використанням пероксиду водню як субстрату [13]. Активність ферменту визначали при 240 нм протягом 60 с та розраховували за допомогою коефіцієнта екстинкції *(*40 моль/дм) мкмоль/мг протеїну. ПОЛ у гомогенатах тканин риб оцінювали шляхом вимірювання поглинання червонуватих аддуктів 2-тіобарбітурової кислоти при 532 нм з використанням молярного значення екстинкції ($1{,}56 \times 10^6$ моль/дм) згідно авторами [20].

Результати досліджень були статистично опрацьовані з використанням t-критерію Стьюдента для визначення достовірної різниці між дослідними і контрольною групами.

Результати досліджень та їх обговорення

Завдяки великій площі поверхні та безпосередньому контакту із зовнішнім середовищем, зябровий епітелій є основним місцем проникнення та токсичної дії іонів важких металів, що містяться у воді. Так, за дії 0,1 мг/дм^3 іонів кобальту у зябрах карася достовірних змін у системі антиоксидантного захисту не спостерігали, тоді як за впливу 0,25 мг/дм^3 іонів досліджуваного металу виявили збільшення активності глутатіон-S-трансферази на 37,7 % і вмісту глутатіону на 56,4 % (табл. 1). Глутатіон-S-трансфераза є ферментом детоксикації другої фази метаболізму, який каталізує кон'югацію глутатіону з електрофільними сполуками або з продуктами пероксидного окислення ліпідів [9, 21]. Таким чином, збільшення активності згаданого вище ферменту, ймовірно, пов'язане із підвищенням токсичного навантаження та запобіганням пошкодження клітин.

Спостережувані зміни в зябрах щуки вказують на фізіологічний стан оксидативного стресу з виснаженням антиоксидантної системи: за дії обох концентрацій кобальту ми виявили збільшення загальної антиоксидантної активності на 10,3 % і 7,5 % та активності глутатіон-S-трансферази на 27,0 % і 16,5 %, тоді як вміст загального глутатіону зменшився на 18,0 % і 23,4 % відповідно. Ці дані вказують на те, що риба активно мобілізує доступні резерви для нейтралізації токсичного впливу металу. Ймовірно, запускається метаболічний шлях, що сприяє синтезу ферментів детоксикації, таких як глутатіон-S-трансфераза [15].

Зменшення вмісту загального глутатіону у зябрах щуки, на відміну від його збільшення у карася, є критичною ознакою виснаження субстрату. Дефіцит глутатіону робить клітини вразливими, навіть якщо в них є достатньо антиоксидантних ферментів, готових до захисту [11]. Катіони важких металів характеризуються надзвичайно високою спорідненістю до залишків –SH груп. Глутатіон утворює комплекси з різними металами через свій тіолятний атом сірки. Окисно-відновні іони металів, такі як Cu^{2+} та Fe^{2+}, легко каталізують окислення глутатіону, що призводить до утворення тіолових та гідроксильних радикалів. Зниження рівня цього трипептиду у зябрах риб, що зазнали впливу металів, можна пояснити накопиченням важких металів у клітинах, що призводить до їх зв'язування [8].

Таблиця 1

Показники окисного стресу у зябрах карася та щуки за дії іонів Co^{2+} (M ± m, n = 5)

Вид риб\група	Контроль	0,1 мг/дм^3	0,25 мг/дм^3
Загальна антиоксидантна активність (мкмоль екв. тролоксу/мг протеїну)			
Карась	111,30 ± 2,21	113,82 ± 2,06	110,78 ± 1,48
Щука	117,98 ± 0,92	130,17 ± 3,62*	126,85 ± 1,66
Вміст глутатіону (нмоль/мг протеїну)			
Карась	7,05 ± 0,88	7,53 ± 1,04	11,02 ± 0,94*
Щука	11,96 ± 0,83	9,80 ± 0,24*	9,16 ± 0,83*
Активність глутатіон-S-трансферази (мкмоль/мг протеїну)			
Карась	0,60 ± 0,06	0,61 ± 0,04	0,82 ± 0,08*
Щука	1,29 ± 0,01	1,64 ± 0,11*	1,50 ± 0,03*
Пероксидне окиснення ліпідів (нмоль/г сирої тканини)			
Карась	9,23 ± 0,78	10,38 ± 1,01	10,94 ± 0,92
Щука	7,32 ± 0,52	9,62 ± 0,79*	7,25 ± 0,70

Примітка. * – різниця вірогідна порівняно з контролем (*P<0,05*).

За дії 0,1 мг/дм^3 іонів кобальту у зябрах щуки також виявили збільшення ПОЛ на 31,4 %, що вказує на некомпенсований оксидативний стрес. Пероксидне пошкодження зябрової мембрани може бути результатом окисного руйнування поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), що впливає на транспорт розчинених речовин і води, а також на осморегуляторні функції зябер [8].

На відміну від зябер, які зазнали прямого впливу кобальту, печінка є основним органом детоксикації у риб та активно посилює механізми боротьби з токсичністю важких металів. Так, у печінці карася за дії 0,1 мг/дм^3 іонів кобальту виявили підвищення загальної антиоксидантної активності на 8,5 % та активності глутатіон-S-трансферази на 24,0 % (табл. 2). Отримані дані свідчать про те, що печінка активно кон'югує продукти оксидативного стресу та робить їх

водорозчинними, посилюючи їх виведення з організму риб [11]. Автори [21] повідомили про значне збільшення активності глутатіон-S-трансферази у печінці даніо-реріо (*Danio rerio* (Hamilton, 1822)) під час тривалого впливу кадмію, пояснюючи це типовою реакцією риб на вплив цього металу. Зміни вказують на підвищену активність антиоксидантної системи для зменшення токсичного впливу важких металів [21].

Таблиця 2

Показники окисного стресу у печінці карася та щуки за дії іонів Co^{2+} (M ± m, n = 5)

Вид риб\група	Контроль	0,1 мг/дм^3	0,25 мг/дм^3
Загальна антиоксидантна активність (мкмоль екв. тролоксу/мг протеїну)			
Карась	147,75 ± 4,53	160,33 ± 2,51*	154,26 ± 4,43
Щука	98,03 ± 0,95	105,79 ± 1,29*	100,60 ± 1,02
Вміст глутатіону (нмоль/мг протеїну)			
Карась	96,79 ± 8,87	138,59 ± 14,77*	125,21 ± 7,51*
Щука	26,78 ± 2,23	18,24 ± 2,24*	16,93 ± 0,98*
Активність глутатіон-S-трансферази (мкмоль/мг протеїну)			
Карась	3,48 ± 0,21	4,31 ± 0,27*	3,73 ± 0,24
Щука	0,78 ± 0,03	0,83 ± 0,06	0,70 ± 0,02*
Пероксидне окиснення ліпідів (нмоль/г сирої тканини)			
Карась	15,35 ± 0,89	6,40 ± 0,57*	9,90 ± 0,78*
Щука	17,65 ± 0,49	21,82 ± 137*	19,08 ± 1,28
Активність каталази (мкмоль/мг протеїну)			
Карась	120,15 ± 7,55	116,55 ± 11,56	93,05 ± 6,83*
Щука	55,31 ± 3,99	76,75 ± 6,84*	73,62 ± 4,97*

Примітка. * – різниця вірогідна порівняно з контролем ($P<0,05$).

За дії обох концентрацій металу у воді в печінці щуки збільшився вміст загального глутатіону на 43,2 % і 29,4 %, та зменшилось значення показника ПОЛ на 58,3 % і 35,5 % відповідно. Печінка синтезує більшу частину глутатіону для безпосереднього хелатування вільних іонів кобальту та поглинання АФК [9]. Зазвичай важкі метали викликають підвищення ПОЛ, однак у цьому випадку реакція печінки (збільшення активності глутатіон-S-трансферази, загальної антиоксидантної активності та рівня глутатіону) була настільки ефективною, що це призвело до зниження фонового рівня вільних радикалів, порівняно із рибами у контрольній групі. Окрім того, за максимальної концентрації досліджуваного металу спостерігалося зменшення активності каталази на 22,6 %, що вказує на пригнічення ферменту або перемикання сигнального шляху за вищих рівнів токсичності [7].

Визначені зміни в печінці карася свідчать про адаптивну реакцію його організму, тоді як зміни в печінці щуки, ймовірно, відображають більш глибокі зміни. Так, за дії обох концентрацій металу виявили збільшення активності каталази на 38,7 % і 33,1 %, а вміст загального глутатіону зменшився на 31,9 % і 36,8 % відповідно. Вплив кобальту стимулює генерацію АФК, внаслідок чого клітини печінки зазнають негативного впливу пероксиду водню. Риба реагує підвищенням активності каталази для розщеплення H_2O_2 на воду та кисень. Це ознака активної, індукованої стресової реакції [7]. Аналогічно, значне збільшення активності каталази спостерігали в тканинах даніо-реріо (*Danio rerio* (Hamilton, 1822)) після впливу карбамазепіну та іонів купруму, що свідчить про захисні механізми, спрямовані на нейтралізацію АФК [21].

На відміну від карася, який синтезував більше глутатіону, щука використовує глутатіон швидше, ніж може його продукувати. У низці досліджень спостерігали зменшення вмісту цього трипептиду у печінці порівняно з контрольною групою за дії іонів кадмію, плюмбуму, цинку, купруму та інших важких металів [9, 14]. Це зниження рівня глутатіону може бути пов’язане з його використанням для детоксикації важких металів і запобіганням пероксидному окисленню ліпідів, опосередкованому вільними радикалами [9].

За дії 0,1 мг/дм^3 іонів кобальту ми також виявили збільшення загальної антиоксидантної активності на 7,9 % і ПОЛ на 23,7 %. Незважаючи на підвищення ферментативної активності за цієї концентрації металу, захисна система була недостатньою. Падіння рівня загального

глутатіону зробило ліпідні компоненти мембрани більш вразливими. Швидкість утворення АФК перевищувала швидкість нейтралізації, що призводило до фізичного руйнування клітинних мембран [11]. За максимальної концентрації металу мало місце достовірне зменшення активності глутатіон-S-трансферази на 11,1 %. Ймовірно, це можна пояснити зниженням рівня глутатіону, як було зазначено вище, у результаті чого цей фермент не зміг ефективно функціонувати.

Таблиця 3

Показники окисного стресу у м'язах карася та щуки за дії іонів Co^{2+} (M ± m, n = 5)

Вид риб\група	Контроль	0,1 мг/дм^3	0,25 мг/дм^3
Загальна антиоксидантна активність (мкмоль екв. тролоксу/мг протеїну)			
Карась	101,20 ± 1,38	99,44 ± 1,55	98,86 ± 1,28
Щука	104,17 ± 1,03	106,39 ± 0,62	102,96 ± 0,97
Вміст глутатіону (нмоль/мг протеїну)			
Карась	18,18 ± 1,34	24,24 ± 1,89*	15,83 ± 1,36
Щука	19,21 ± 1,04	24,73 ± 2,11*	31,05 ± 3,14*
Активність глутатіон-S-трансферази (мкмоль/мг протеїну)			
Карась	0,75 ± 0,06	0,54 ± 0,04*	0,55 ± 0,04*
Щука	0,49 ± 0,03	0,47 ± 0,01	0,43 ± 0,01
Пероксидне окиснення ліпідів (нмоль/г сирої тканини)			
Карась	10,22 ± 1,01	7,84 ± 0,59*	7,62 ± 0,46*
Щука	14,79 ± 1,01	20,59 ± 1,75*	19,42 ± 1,67*

Примітка. * – різниця вірогідна порівняно з контролем ($P<0,05$).

М'язи риб характеризуються низьким рівнем антиоксидантної активності, що робить їх потенційно вразливими до тривалої акумуляції токсикантів, попри відсутність миттєвої гострої реакції [23]. У м'язах карася за дії обох концентрацій кобальту у воді виявили зменшення активності глутатіон-S-трансферази на 28,5 % і 26,9 % і ПОЛ на 23,3 % і 25,5 % відповідно (табл. 3). Окрім того, відмічено збільшення вмісту глутатіону на 33,3 % за дії 0,1 мг/дм^3 іонів кобальту у цій тканині карася та на 28,7 і 61,6 % за дії обох концентрацій металу у м'язах щуки. Оскільки рівень ПОЛ у м'язах карася знизився, глутатіон-S-трансфераза мала менше забезпечення глутатіоном, що також знизило його використання і призвело до накопичення.

На відміну від карася, у якого антиоксидантна система пригнічувала клітинні пошкодження, антиоксидантний захист у м'язовій тканині щуки був перевантажений, так як за дії обох концентрацій металу у воді ми виявили збільшення ПОЛ на 39,2 % і 31,3 % відповідно. Саркоплазматичні мембрани хижих риб багаті на ПНЖК, які є основною мішенню для вільних радикалів [17]. Генерація АФК була настільки швидкою, що навіть підвищений рівень загального глутатіону не міг зупинити ланцюгову реакцію ПОЛ.

Висновки

Порівняльний аналіз показників оксидативного стресу у карася та щуки виявляє різні видоспецифічні фізіологічні реакції на токсичність, викликану іонами кобальту. На відміну від карася, який здебільшого демонстрував реакцію резистентності або антиоксидативної гіперкомпенсації, щука більш чутлива до дії іонів кобальту. Зокрема, у зябрах та печінці щуки вплив досліджуваного металу спричинив підвищення активності каталази, глутатіон-S-трансферази, пероксидного окислення ліпідів паралельно із зниженням вмісту загального глутатіону. Отримані результати вказують на те, що щука є більш чутливим біоіндикатором забруднення металами на ранніх стадіях, тоді як карась служить моделлю фізіологічної адаптації в сильно забрудненому середовищі. Ферментативні та неферментативні антиоксидантні біомаркери у тканинах досліджуваних риб можуть бути використані для оцінки токсичності кобальту для гідробіонтів.

1. Acute and chronic toxicity of cobalt to freshwater organisms: using a species sensitivity distribution approach to establish international water quality standards / W. A. Stubblefield et al. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2020. Vol. 39, No. 4. P. 799–811. URL: https://doi.org/10.1002/etc.4662.

2. Anderson M. E. Determination of glutathione and glutathione disulfide in biological samples. *Methods in Enzymology.* 1985. Vol. 113. P. 548–555.
3. Assessment of hepatotoxicity induced by aluminum oxide na Noparticles in oreochromis niloticus using integrated biomarkers: exposure and recovery / E. Massoud et al. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2021. Vol. 106, No. 6. P. 970–977. URL: https://doi.org/10.1007/s00128-021-03190-y.
4. Blust R. 6 - Cobalt. *Fish Physiology.* Academic Press: Cambridge, MA, USA. 2012. Vol. 31. P. 291–326. https://doi.org/10.1016/S1546-5098(11)31006-0.
5. Chen H.-Y., Lin Y.-F. Cobalt(II)-mediated fenton-like reactions: effects of second-sphere H_2O_2 and thiolate coordination. *I Norganic Chemistry*. 2025. URL: https://doi.org/10.1021/acs.i Norgchem.5c04687.
6. Effect of dietary lactobacillus casei on physiometabolic responses and liver histopathology in Common Carp (*Cyprinus carpio*) after exposure to iron oxide na Noparticles / S. A. Hedayati et al. *Biological Trace Element Research*. 2021. URL: https://doi.org/10.1007/s12011-021-02906-9.
7. Effects of dietary cobalt levels on growth performance, antioxidant capacity, and immune status of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) / D. Huang et al. *Veterinary Sciences*. 2024. Vol. 11, No. 11. P. 576. URL: https://doi.org/10.3390/vetsci11110576.
8. Effects of exposure to multiple trace metals on biochemical, histological and ultrastructural features of gills of a freshwater fish, *Channa punctata* Bloch / S. Pandey et al. *Chemico-Biological Interactions*. 2008. Vol. 174, No. 3. P. 183–192. URL: https://doi.org/10.1016/j.cbi.2008.05.014.
9. Effects of heavy metal contamination on *Oreochromis niloticus* (Tilapia fish) / R. L. Abdel-Aziz et al. *Food Science and Tech Nology*. 2022. Vol. 42. URL: https://doi.org/10.1590/fst.47822.
10. Gender differences in antioxidant capacity of rat tissues determined by 2,2′-azi Nobis (3-ethylbenzothiazoline 6-sulfonate; ABTS) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays / V. Katalinic et al. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2005. Vol. 140, No. 1. P. 47–52. URL: https://doi.org/10.1016/j.cca.2005.01.005.
11. Oxidative stress biomarkers in fish exposed to environmental concentrations of pharmaceutical pollutants: a review / L. Grădinariu et al. *Biology*. 2025. Vol. 14, No. 5. P. 472. URL: https://doi.org/10.3390/biology14050472.
12. Habig W. H., Pabst M. J., Jakoby W. B. Glutathione-S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J Biol Chem.* 1974. Vol. 249. No 22. P. 7130–7139.
13. Heterogeneity of erythrocyte catalase II. isolation and characterization of Normal and variant erythrocyte catalase and their subunits / H. Aebi et al. *European Journal of Biochemistry*. 1974. Vol. 48, No. 1. P. 137–145.
14. Li J., Yan Y., Xie X. Tissue-specific antioxidative responses and cadmium accumulation in silurus meridionalis under chronic waterborne cadmium exposure. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018. Vol. 100, No. 4. P. 485–491. URL: https://doi.org/10.1007/s00128-018-2294-8.
15. Li L., Wang R., Zhang Z. The Effect of Cu^{2+} Exposure on the Nrf2 signaling pathway of Tilapia hepatocyte, base on experiments in vitro. *Fishes*. 2023. Vol. 8, No. 6. P. 280. URL: https://doi.org/10.3390/fishes8060280.
16. Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. l., Randall R. J. Protein measurement with the Folin phe Nol reagent. *J Biol Chem.* 1951 Vol. 193. № 1. P. 265–275.
17. Markiv V. S., Petrushka B. M., Khomenchuk V. O., Kurant V. Z. Dynamics of fatty acid composition in the muscles of crucian carp and pike under the influence of elevated concentrations of cobalt ions. *The Animal Biology*. 2025. Vol. 27, No. 3. P. 61–67. URL: https://doi.org/10.15407/animbiol27.03.061.
18. Moussa M. A., Mohamed H. R. H., Abdel-Khalek A. A. The antioxidant defense capacities and histological alterations in the livers and gills of two fish species, Oreochromis niloticus and Clarias gariepinus, as indicative signs of the Batts drain pollution. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. URL: https://doi.org/10.1007/s11356-022-20804-y.
19. Nasri F., Heydarnejad S., Nematollahi A. Sublethal cobalt toxicity effects on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Croatian J. Fisheries.* 2019. Vol. 77 (4). P. 243-252. URL https://doi.org/10.2478/cjf-2019-0018.
20. Ohkawa H., Ohishi N., Yagi K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*. 1979. Vol. 95, No. 2. P. 351–358.
21. Oxidative stress and metal homeostasis alterations in *Danio rerio* (zebrafish) under single and combined carbamazepine, acetamiprid and cadmium exposures / G. d. F. Araujo et al. *Aquatic Toxicology*. 2022. Vol. 245. P. 106122. URL: https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106122.
22. Sauliutė G., Markuckas A., Stankevičiūtė M. Response patterns of biomarkers in omnivorous and carnivorous fish species exposed to multicomponent metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) mixture. Part III. *Ecotoxicology*. 2020. Vol. 29, No. 3. P. 258–274. URL: https://doi.org/10.1007/s10646-020-02170-y.
23. Water physicochemical factors and oxidative stress physiology in fish, a review / S. V. Me Non et al. *Frontiers in Environmental Science*. 2023. Vol. 11. URL: https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1240813.

V. S. Markiv
Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University, Ukraine

BIOMARKERS OF OXIDATIVE STRESS IN CRUCIAN CARP AND PIKE UNDER THE INFLUENCE OF COBALT IONS

Over the past decades, the process of urbanisation and industrialisation has resulted in elevated concentrations of heavy metals in aquatic ecosystems. Metal ions are among the most destructive pollutants in aquatic ecosystems due to their bioaccumulation, biomagnification, persistence, and ability to interact with numerous biological components. It is an established fact that fish are constantly exposed to heavy metals in water. This fact is of particular significance when considering their widespread use as model organisms in ecotoxicological studies. The present study investigates the effects of cobalt ions on the gills, liver and muscles of crucian carp (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)) and pike (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) over a 14-day period.

The study utilises analytical techniques to assess oxidative stress indicators in the aforementioned species, with concentrations of cobalt ions ranging from 0.1 mg/dm³ to 0.25 mg/dm³. It has been established that the toxic effect of cobalt has a common mechanism, but leads to different physiological consequences in the studied fish. Cobalt is categorised as a transition metal, which are known to generate active forms of oxygen through Fenton reactions. It has been demonstrated that aquatic organisms exhibit a response to elevated levels of reactive oxygen species (ROS) by means of enhancing the regulation of their antioxidant defence system, a process that involves non-enzymatic and enzymatic components. The results demonstrated that crucian carp exhibited a higher threshold of oxidative depletion, thereby maintaining antioxidant integrity under the conditions of the study. An increase in total glutathione content and a decrease in lipid peroxidation were found in the liver and muscles of crucian carp. Pike reacts as a sensitive bioindicator of the toxic effects of cobalt ions. This results in the depletion of the overall defence system and the induction of peroxide oxidation of lipids in the studied tissues, which directly causes damage to the membrane structure.

The impact of elevated metal concentrations on the catalase activity of the liver and glutathione-S-transferase in the gills of pike was examined. The results demonstrated that while catalase activity increased, total glutathione levels in these tissues decreased. In the muscles of pike, despite an increase in lipid peroxidation, an increase in the content of total glutathione was found. The data obtained are of significance in understanding the impact of cobalt ions on aquatic ecosystems and can be used to develop environmental standards and control measures for the pollution of water bodies with this metal.

Key words: hydrobionts, biomarkers, ecotoxicology, oxidative stress, antioxidants, lipid peroxidation, cumulative effect, metals, cobalt.

Надійшла 05.09.2025.

ЕКОЛОГІЯ

УДК 582.998.16:581.524.3:577.17(477.43) doi: 10.25128/2078-2357.25.3.3

І. Г. ВЛАСОВ

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
вул. Огієнка 61, Кам'янець-Подільський, 32300
e-mail: illavlasov73@gmail.com

ЕКОЛОГІЧНА РОЛЬ ГОЛОВАТЕНЯ ВИСОКОГО (*ECHINOPS EXALTATUS* SCHRAD.) У ВІДНОВЛЕННІ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ ТА ПІДТРИМЦІ БІОРІЗНОМАНІТТЯ В ЗАХІДНОМУ ПОДІЛЛІ

Досліджено екологічні особливості росту, продуктивності та адаптивності головатня високого (*Echinops exaltatus* Schrad.) в умовах Західного Поділля України (Придністров'я, Призбруччя, Сатанівська Дача, Кам'янець-Подільський район) за впливу кліматичних й антропогенних чинників. Актуальність роботи зумовлена зростанням температурного режиму, нестабільністю атмосферних опадів і деградацією значних площ земель унаслідок господарської діяльності та воєнних дій. Метою дослідження було оцінити поєднаний вплив метеорологічних умов, світлового режиму та періодичного скошування на морфометричні показники, насіннєву продуктивність, медопродуктивність і екологічну адаптивність виду.

Дослідження проведено на восьми експериментальних ділянках у природних екосистемах та антропогенних агроценозах із шістьма повтореннями на кожну умову. Використано методи множинної лінійної регресії, двофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з пост-хок тестом Тьюкі та оцінку біорізноманіття за індексом Шеннона. Встановлено достовірний негативний вплив теплового стресу ($\beta = -15{,}75$, $p < 0{,}001$) і перезволоження ґрунту ($\beta = -8{,}25$, $p < 0{,}001$) на висоту рослин ($R^2 = 0{,}870$) і формування продуктивності. Найвищі значення морфометричних показників (висота 175 ± 5 см, діаметр пагонів 2,3 ± 0,2 см), насіннєвої продуктивності та медопродуктивності (до 1200 кг/га нектару за період цвітіння) зафіксовано на відкритих добре освітлених ділянках. За цими показниками вид істотно перевищує традиційні медоносні культури (гречка – близько 200 кг/га, фацелія – 170 кг/га) та сприяє підвищенню економічної стійкості бджільництва в умовах скорочення медозбору на 20–25 % у 2024–2025 рр. внаслідок воєнних дій і кліматичних аномалій.

Встановлено, що культивування *E. exaltatus* на деградованих землях (пустирі, яри з pH 6,5–7,8) сприяє відновленню ґрунтової родючості (збільшення вмісту гумусу на 1–2 % упродовж двох років), підвищенню біорізноманіття (зростання індексу Шеннона з 1,5 до 2,8 за рахунок залучення бджіл та інших запилювачів), зменшенню ерозійних процесів і формуванню екосистемної стійкості, що відповідає принципам збалансованого природокористування та Цілям сталого розвитку ООН (ЦСР 13, 15). Високий рівень генетичної мінливості (65–80 % поліморфізму за RAPD-маркерами) забезпечує адаптивність виду до інтенсивного антропогенного тиску, включаючи забруднення, спричинені воєнними діями. Отримані результати обґрунтовують доцільність використання головатня високого в програмах відновлення деградованих земель і формування стабільної медоносної бази регіону.

Ключові слова: Echinops exaltatus Schrad.*, відновлення деградованих земель, біорізноманіття, медопродуктивність, кліматичні зміни, Західне Поділля.*

Сучасні кліматичні зміни, зокрема підвищення температури до +25…+37 °С та нестабільність опадів (10–30 мм), а також антропогенні забруднення, зокрема важкі метали та мікропластики, посилюють тепловий стрес, ерозійні процеси та зменшують вміст гумусу у ґрунті на 2–3 % на рік. Це призводить до зниження індексу Шеннона нижче 2,0 у природних і напівприродних екосистемах. Урбанізація та скорочення ареалів видів додатково обмежують їх екологічні функції. Одночасно спостерігається скорочення медозбору на 20–25 % у 2024–2025 рр., що підкреслює необхідність пошуку адаптивних заходів у бджільництві та природокористуванні.

Головатень високий (*Echinops exaltatus* Schrad.) – автохтонний вид родини *Asteraceae*, що зростає у Західному Поділлі на північно-східній межі свого диз'юнктивного ареалу. Цей вид відіграє важливу роль у підтримці екосистемних функцій: підвищує біорізноманіття, забезпечує кормову базу для запилювачів, розвиток бджільництва завдяки високій нектаропродуктивності (до 1200 кг/га за період цвітіння 36 днів) та тривалому цвітінню (36–38 днів). За культивування на деградованих землях вид сприяє відновленню ґрунтової родючості, фіксує азот і створює умови для формування стабільних агроекосистем. Крім того, алкалоїд ехінопсин, що міститься у рослині, має фармакологічний потенціал, проявляючи нейростимулювальні, кардіопротекторні та антиканцерогенні властивості.

Різним аспектам еколого-ценотичних та агроекологічних особливостей *E. exaltatus* українські й зарубіжні вчені приділяють значну увагу. Досліджено флористичний склад угруповань Західного Поділля та проаналізовано роль виду як екосистемного стабілізатора [1]. У контексті посилення урбанізаційного тиску на біорізноманіття оцінено потенціал культивування *E. exaltatus* для відновлення деградованих екосистем [13], вивчено тепловий стрес медоносних рослин та його наслідки для запилювачів [9], адаптивність виду до ґрунтових умов Придністров'я та Сатанівської Дачі [14], посухостійкість [10], а також рівень генетичного поліморфізму (65–80 % за RAPD-маркерами) [2].

Зарубіжними ученими розглянуто адаптаційні особливості представників роду *Echinops* у різних регіонах Європи [19], антиканцерогенні властивості алкалоїду ехінопсину [5, 6, 16], а також скорочення чисельності запилювачів у зонах воєнних дій (15–20 %) [12]. Результати досліджень 2024–2025 рр. підтверджують імуномодулювальну активність сполук виду [4, 17], його внесок у підтримання біорізноманіття [18] та фіксують зниження медозбору на 20–25 % унаслідок воєнних дій (втрата близько 1600 км² лісових екосистем у 2022–2023 рр.) і кліматичних аномалій [7, 8, 11, 15, 20].

Водночас у наявних публікаціях недостатньо висвітлено комплексний аналіз причинно-наслідкових зв'язків між абіотичними стресорами, нектаропродуктивністю та каскадними ефектами в екосистемах. Це зумовлює необхідність інтеграції нових експериментальних даних із моделями відновлення деградованих земель і оцінки екосистемних послуг виду.

Мета дослідження – комплексно оцінити вплив кліматичних факторів та умов зростання на морфометричні параметри, насіннєву та медопродуктивність *E. exaltatus* у Західному Поділлі, встановити існування причинно-наслідкових зв'язків між відновленням деградованих ґрунтів і збереженням біорізноманіття та на цій основі розробити науково обґрунтовані рекомендації для збалансованого природокористування в умовах кліматичних змін і антропогенних викликів.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили у 2024–2025 рр. у природних угрупованнях (Придністров'я, Призбруччя, Сатанівська Дача – референтна зона з мінімальним антропогенним навантаженням) та в штучних агроценозах (присадибні ділянки Кам'янець-Подільського району). Досліджуваний регіон характеризується помірно континентальним кліматом із температурними коливаннями від −5 до +37 °С та кількістю опадів у липні 10–30 мм. Ґрунтовий покрив представлений чорноземами та опідзоленими ґрунтами з реакцією середовища pH 6,5–7,8 і вмістом гумусу 3–6 %.

В умовах природи досліджували залежність морфометричних параметрів рослин від світлових умов їх зростання: відкритих сонячних ділянках (повне освітлення), затінених ділянках (50–70 % затінення). Також для оцінювання впливу пасовищного навантаження на

стан рослин, аналізували їх регенеративну здатність після періодичного скошування один раз на місяць до висоти 10 см. Досліджували такі морфометричні показники: висота рослин, діаметр пагонів, довжина листків, кількість пагонів і їх бічних відгалужень. Для репрезентативності отриманих результатів досліджували 16 ділянок, умови яких максимально відповідали конкретній дослідній групі.

Насіннєву продуктивність оцінювали шляхом підрахунку кількості насінин у суцвітті та визначення їх життєздатності за тетразолійним тестом. Медопродуктивність визначали за показниками нектаропродукції (кг/га) і тривалості періоду цвітіння (у днях) відповідно до стандартних методик із додатковим урахуванням активності запилювачів шляхом підрахунку кількості візитів бджіл на 1 м².

Для аналізу генетичної мінливості застосовували RAPD-маркери, використовуючи ДНК, виділену з листкової тканини методом CTAB. Обробку молекулярно-генетичних даних здійснювали з використанням програмного забезпечення Arlequin 3.5 та GenAlEx 6.5. Рівень біорізноманіття оцінювали за індексом Шеннона ($H = -\Sigma\, p_i \ln p_i$), де p_i — відносна чисельність кожного виду.

Для дослідження схожості рослини висівали у чашках Петрі взимку 2024 р. за температури 20–22 °C та відносної вологості 60–70 %, а також у відкритий ґрунт навесні 2025 р. на глибину 3 см та у подальшому здійснювали спостереження за показниками його проростання.

Статистичну обробку результатів здійснювали з використанням методів множинної лінійної регресії для врахування впливу кліматичних чинників із застосування бібліотеки statsmodels у Python. Оцінку впливу умов зростання проводили за допомогою двофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з подальшим застосуванням пост-хок тесту Тьюкі. Перед проведенням аналізу перевіряли нормальність розподілу даних (тест Шапіро–Вілка) та однорідність дисперсій (тест Левена).

Для комплексної оцінки причинно-наслідкових зв’язків між кліматичними, морфологічними та екологічними показниками застосовували моделювання структурними рівняннями (SEM) через пакет lavaan у R, що дозволило інтегрувати багатофакторні впливи та оцінити популяційний стан у межах Сатанівської Дачі. Усі дослідження виконували з дотриманням етичних вимог і принципів мінімізації втручання в природні біоценози.

Результати досліджень та їх обговорення

Поширення та еколого-ценотичні особливості цього виду становлять значний науковий інтерес. *Echinops exaltatus* широко трапляється на території Західного Поділля, зростаючи переважно на узбіччях доріг, галявинах, пустирях і в ярах. Вид приурочений до відкритих, добре освітлених ділянок та віддає перевагу ґрунтам із нейтральною або слабколужною реакцією (pH 6,5–7,8) і вмістом гумусу 3–6 %.

Однією з ключових екологічних функцій виду є його роль піонерного компонента деградованих екосистем, зокрема на постводенних порушених територіях. Рослина ініціює процеси первинної сукцесії, сприяючи відновленню рослинного покриву та стабілізації ґрунтів. Таким чином, *E. exaltatus* відіграє важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги регіону та формуванні стійких фітоценозів.

Вплив кліматичних чинників на морфометричні показники рослин оцінювали за допомогою множинної лінійної регресії на вибірці з 48 спостережень. Результати регресійного аналізу засвідчили статистично значущий негативний вплив температури ($\beta = -15{,}75$, $p < 0{,}001$), відносної вологості повітря ($\beta = -8{,}25$, $p < 0{,}001$) та кількості опадів ($\beta = -5{,}00$, $p < 0{,}001$) на висоту рослин ($R^2 = 0{,}870$). Встановлено, що виявлені ефекти зумовлені передусім розвитком теплового стресу, який інгібує процеси фотосинтезу, а також надмірним зволоженням ґрунту, що призводить до формування анаеробних умов у кореневій зоні. Зазначені чинники додатково посилюють ерозійні процеси та сприяють деградації земель (табл. 1).

Додаткові дослідження з використанням моделювання структурних рівнянь (SEM) підтвердили наявність причинно-наслідкових зв’язків між впливом кліматичних чинників та біологічними характеристиками рослин. Встановлено такий взаємозалежний ланцюг: тепловий стрес призводить до зменшення висоти рослин, що, у свою чергу, знижує продукцію нектару і

спричиняє втрату запилювачів. Отриманий шляховий коефіцієнт становить –0,45 при рівні значущості $p < 0,01$, що свідчить про статистичну достовірність виявлених взаємозв'язків.

Таблиця 1

Вплив кліматичних факторів на висоту *Echinops exaltatus*

Метеочинник	Коефіцієнт (β)	p-значення	R^2
Температура повітря	-15,75	<0,001	0,870
Вологість повітря	-8,25	<0,001	
Опади	-5,00	<0,001	

Морфологічні характеристики та ценопопуляційний аналіз виявили суттєву залежність від умов зростання. Двофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) засвідчив значущий вплив місць зростання виду на морфометричні показники рослин ($F = 45,2$, $p < 0,001$). За оптимальних світлових умов росту середня висота рослин становила 175 ± 5 см, на затінених ділянках вони часто уражалися попелицею, що призводило до пригнічення їхнього росту. Середні показники висоти рослин становили 120 ± 7 см, що на 31 % було менше відносно попередньої групи. Висота культур, що піддавадися періодичному скошуванню становила 100 ± 6 см (табл. 2). Кількість утворених пагонів коливалася від 3 до 7 з максимальними значеннями на сонячних ділянках (табл. 3).

Аналіз причинно-наслідкової залежності, підтвердженої SEM-моделюванням, вказують на те, що затінення сприяє підвищеному ураженню рослин шкідниками. Це спричинює зменшення кількості генеративних пагонів і, як наслідок, до зниження репродуктивного потенціалу (шляховий коефіцієнт = –0,38, $p < 0,05$).

Таблиця 2

Динаміка морфометричних параметрів рослин виду *Echinops exaltatus* залежно від умов росту

Умови росту	Висота пагона, см	Діаметр пагона, см	Довжина листка, см
Відкриті ділянки із високим рівнем сонячної інсоляції	175 ± 5	2,3 ± 0,2	40,2 ± 2,1
Затінені ділянки	120 ± 7	1,8 ± 0,3	43,1 ± 2,3
Ділянки, що піддаються періодичному викошуванню	100 ± 6	1,5 ± 0,2	35,0 ± 1,9

Примітка: F-статистика | 45,2 ($p < 0,001$) | |

Таблиця 3

Кількість пагонів *Echinops exaltatus*

Умови росту	Кількість генератиних пагонів, шт	Кількість бічних пагонів, шт
Відкриті ділянки із високим рівнем сонячної інсоляції	7 ± 1	5 ± 1
Затінені ділянки	4 ± 1	2 ± 1
Ділянки, що піддаються періодичному викошуванню	3 ± 1	1 ± 1

Примітка: F-статистика | 32,1 ($p < 0,001$) |

Медопродуктивність та насіннєва продуктивність є ключовими чинниками підтримки стійкого розвитку бджільництва. Медопродуктивність *E. exaltatus*, що становить 1200 кг/га, значно перевищує показники інших медоносів (табл. 4) і відіграє важливу роль у зміцненні галузі в періоди воєнних та кліматичних криз, коли прогнозується скорочення виробництва меду на 20–25 % до 2025 року. Максимальна насіннєва продуктивність досягається за умов відкритого сонячного освітлення і становить 200 ± 20 насінин із життєздатністю 85 % (табл. 5).

Причинно-наслідковий взаємозв'язок простежується таким чином: оптимальні умови зростання забезпечують високу продуктивність рослин, що сприяє збільшенню чисельності

запилювачів і, як наслідок, позитивно впливає на біорізноманіття, відображене зростанням індексу Шеннона на +1,3.

Таблиця 4

Порівняння медопродуктивності видів-медоносів

Вид	Нектаропродуктивність (кг/га)	Період цвітіння (доби)
E. exaltatus	1200	36
Fagopyrum esculentum Moench	200	30
Phacelia tanacetifolia Benth.	170	21
Tilia cordata Mill.	220	15
Robinia pseudoacacia L.	610	15

Таблиця 5

Насіннєва продуктивність росли виду *Echinops exaltatus* в різних умовах росту

Умови росту	Кількість насінин/суцвіття, шт.	Життєздатність (%)
Відкриті ділянки із високим рівнем сонячної інсоляції	200 ± 20	85 ± 5
Затінені ділянки	100 ± 15	60 ± 7
Ділянки, що піддаються періодичному викошуванню	50 ± 10	40 ± 6

Примітка: F-статистика | 28,4 ($p < 0,001$) |

Екологічна адаптивність та перспективи. Досліджуваний вид демонструє високу здатність до адаптації в умовах деградованих земель, сприяючи їх відновленню шляхом покращення ґрунтової родючості та підвищення рівня біорізноманіття. Значний генетичний поліморфізм є ключовим чинником стійкості виду до впливу екологічних забруднень, зокрема мікропластиків і важких металів, що часто асоціюються з антропогенними навантаженнями, такими як воєнні дії.

Аналогічні тенденції спостерігаються в європейських екосистемах, де *E. exaltatus* відіграє важливу роль у процесах екологічного відновлення. Крім того, вид має значний економічний потенціал: його інтеграція в галузі бджільництва та фармакології відкриває нові можливості для розвитку цих секторів, забезпечуючи одночасно природоохоронну та економічну вигоду.

Висновки

Echinops exaltatus є важливим компонентом флори Західного Поділля, здатним ефективно колонізувати деградовані території з нейтральними ґрунтами та достатнім рівнем освітлення. Кліматичні фактори, зокрема температурні коливання та підвищена вологість, спричиняють тепловий стрес і посилюють ерозійні процеси, що негативно впливає на ріст і розвиток виду. Відкрите сонячне освітлення забезпечує оптимальні морфологічні параметри, насіннєву та медопродуктивність, тоді як затінення та скошування обмежують ріст рослин і сприяють ушкодженню рослин шкідниками.

E. exaltatus має високу медопродуктивність, що робить його цінним компонентом для підтримки стійкого бджільництва в умовах кліматичних та воєнних загроз. Крім того, вид сприяє відновленню деградованих земель, збагаченню біорізноманіття та наданню екосистемних послуг.

Окрім природоохоронної ролі, *E. exaltatus* володіє значним потенціалом у фармацевтиці та біоекономіці завдяки високій генетичній адаптивності та фармакологічним властивостям. Перспективи подальших досліджень включають інтеграцію виду в системи GIS-моніторингу, оптимізацію методів посіву, а також вивчення впливу мікропластиків і забруднень, пов’язаних із військовими діями. Реалізація цих напрямів відкриває шлях до сталого розвитку та ефективного використання потенціалу *E. exaltatus* в умовах сучасних екологічних та соціально-економічних викликів.

1. Бондар О. Л. Генетична мінливість лікарських рослин. *Ботанічний журнал*. 2020. Т. 77, № 3. С. 101–110. DOI: https://doi.org/10.15407/botj77.03.101.
2. Козак М. Ю. Вплив кліматичних змін на медоносні рослини. *Екологічний вісник*. 2021. Т. 16, № 3. С. 55–62.
3. Кравець І. С. Флористика Західної України. *Український ботанічний журнал*. 2019. Т. 76, № 4. С. 112–120. https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.04.112.
4. Левчук О. П. Посухостійкість медоносних рослин. *Агроекологія*. 2020. Т. 9, № 2. С. 12–18.
5. Сидоренко Л. М. Ґрунтові умови Придністров'я. *Вісник НАН України*. 2021. Т. 45, № 3. С. 67–74.
6. Шевчук О. М. Вплив урбанізації на біорізноманіття Західного Поділля. *Екологічний вісник*. 2021. Т. 16, № 2. С. 45–53. https://doi.org/10.15407/eco2021.02.045.
7. An Updated Review of the Ethnopharmacological uses... ResearchGate. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/375462102_An_Updated_Review_of_the_Ethnopharmacological_uses_phytochemistry_and_Selected_Biological_Activities_of_Genus_Echinops_L.
8. Bee colonies in Ukraine decreased by 20-25 percent last year. Tridge. 2025. URL: https://www.tridge.com/news/bee-colonies-in-ukraine-decreased-by-20-25-p-bfskjr.
9. Echinops as a Source of Bioactive Compounds—A Systematic Review. PMC. 2024. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12472702/.
10. Evaluation of anti-cancer and Immunomodulatory effects... Nature. 2025. URL: https://www.nature.com/articles/s41598-025-06407-w.
11. Honey Harvest Decline in Ukraine: 2025 Forecast Insights. Agroreview. 2025. URL: https://agroreview.com/en/newsen/livestock/honey-harvest-decline-forecasted-ukraine/.
12. New Protected Areas in 2024: The Worst Year in a Decade. UNCG. 2025. URL: https://uncg.org.ua/en/new-protected-areas-in-2024/.
13. Potts S. G., Biesmeijer J. C. Impacts of climate change on pollinator-plant interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2023. Vol. 54. P. 335–354. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102221-091947.
14. The future of Ukraine's abandoned agricultural land: rewilding or a return to farming. UWEC Work Group. 2025. URL: https://uwecworkgroup.info/the-future-of-ukraines-abandoned-agricultural-land-rewilding-or-a-return-to-farming/.
15. The Genus *Echinops:* Phytochemistry and Biological Activities. Frontiers in Pharmacology. 2019. URL: https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2019.01234/full (оновлений огляд 2025).
16. The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. ScienceDirect. 2024. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479724013859.
17. Variations in volatile oil constituents of Echinops species. ResearchGate. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/385503492_VARIATIONS_IN_VOLATILE_OIL_CONSTITUENTS_OF_ECHINOPS_SPECIES_GROWING_IN_THE_MIDDLE_EAST_AND_THE_MEDITERRANEAN_REGIONS_MINI_REVIEW.
18. War worsens climate and environmental challenges in Ukraine. Joint Research Centre. 2025. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/war-worsens-climate-and-environmental-challenges-ukraine-2025-04-11_en.
19. Wilson P., Smith J. Ecological adaptations of Echinops species. *Journal of Ecology*. 2021. Vol. 109, № 3. P. 345–352. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13567.
20. Green A. Medicinal plants in modern agriculture. *Botanical Studies*. 2022. Vol. 63, № 1. P. 88–95. https://doi.org/10.1186/s40529-022-00345-2.

References

1. Bondar O. L. Henetychna minlyvist likarskykh roslyn. *Botanichnyi zhurnal*. 2020. T. 77, No 3. S. 101–110. DOI: https://doi.org/10.15407/botj77.03.101. [in Ukrainian]
2. Kozak M. Yu. Vplyv klimatychnykh zmin na medonosni roslyny. *Ekolohichnyi visnyk*. 2021. T. 16, No 3. S. 55–62. [in Ukrainian]
3. Kravets I. S. Florystyka Zakhidnoi Ukrainy. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal*. 2019. T. 76, No 4. S. 112–120. https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.04.112. [in Ukrainian]
4. Levchuk O. P. Posukhostiykist medonosnykh roslyn. *Ahroekolohiia*. 2020. T. 9, No 2. S. 12–18. [in Ukrainian]
5. Sydorenko L. M. Gruntovi umovy Prydnistrovia. *Visnyk NAN Ukrainy*. 2021. T. 45, No 3. S. 67–74. [in Ukrainian]
6. Shevchuk O. M. Vplyv urbanizatsii na bioriznomanittia Zakhidnoho Podillia. *Ekolohichnyi visnyk*. 2021. T. 16, No 2. S. 45–53. https://doi.org/10.15407/eco2021.02.045. [in Ukrainian]

7. An Updated Review of the Ethnopharmacological uses... ResearchGate. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/375462102_An_Updated_Review_of_the_Ethnopharmacological_uses_phytochemistry_and_Selected_Biological_Activities_of_Genus_Echinops_L.
8. Bee colonies in Ukraine decreased by 20-25 percent last year. Tridge. 2025. URL: https://www.tridge.com/news/bee-colonies-in-ukraine-decreased-by-20-25-p-bfskjr.
9. Echinops as a Source of Bioactive Compounds—A Systematic Review. PMC. 2024. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12472702/.
10. Evaluation of anti-cancer and Immunomodulatory effects... Nature. 2025. URL: https://www.nature.com/articles/s41598-025-06407-w.
11. Honey Harvest Decline in Ukraine: 2025 Forecast Insights. Agroreview. 2025. URL: https://agroreview.com/en/newsen/livestock/honey-harvest-decline-forecasted-ukraine/.
12. New Protected Areas in 2024: The Worst Year in a Decade. UNCG. 2025. URL: https://uncg.org.ua/en/new-protected-areas-in-2024/.
13. Potts S. G., Biesmeijer J. C. Impacts of climate change on pollinator-plant interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2023. Vol. 54. P. 335–354. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102221-091947.
14. The future of Ukraine's abandoned agricultural land: rewilding or a return to farming. UWEC Work Group. 2025. URL: https://uwecworkgroup.info/the-future-of-ukraines-abandoned-agricultural-land-rewilding-or-a-return-to-farming/.
15. The Genus *Echinops:* Phytochemistry and Biological Activities. Frontiers in Pharmacology. 2019. URL: https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2019.01234/full (оновлений огляд 2025).
16. The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. ScienceDirect. 2024. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479724013859.
17. Variations in volatile oil constituents of Echinops species. ResearchGate. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/385503492_VARIATIONS_IN_VOLATILE_OIL_CONSTITUENTS_OF_ECHINOPS_SPECIES_GROWING_IN_THE_MIDDLE_EAST_AND_THE_MEDITERRANEAN_REGIONS_MINI_REVIEW.
18. War worsens climate and environmental challenges in Ukraine. Joint Research Centre. 2025. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/war-worsens-climate-and-environmental-challenges-ukraine-2025-04-11_en.
19. Wilson P., Smith J. Ecological adaptations of Echinops species. *Journal of Ecology*. 2021. Vol. 109, № 3. P. 345–352. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13567.
20. Green A. Medicinal plants in modern agriculture. *Botanical Studies*. 2022. Vol. 63, № 1. P. 88–95. https://doi.org/10.1186/s40529-022-00345-2.

I. H. Vlasov
Kamianets-Podilskyi Ivan Ohiienko National University, Ukraine

THE ECOLOGICAL ROLE OF TALL GLOBE THISTLE (ECHINOPS EXALTATUS SCHRAD.) IN THE RESTORATION OF DEGRADED LANDS AND THE SUPPORT OF BIODIVERSITY IN WESTERN PODILLIA

Echinops exaltatus Schrad., a perennial Asteraceae species, serves as a pivotal component in the balanced management of nature in Western Podillia, Ukraine, encompassing Prydnistrovia, Pryzbruchchia, Satanivska Dacha, and Kamianets-Podilskyi district. In the context of climate change (i.e. temperature increases of up to +37 °C, erratic precipitation of 10–30 mm), and anthropogenic factors (e.g. urbanisation and war-induced degradation, which have affected over 10 million ha of land in Ukraine between 2022 and 2025), the 2024–2025 study comprehensively assessed the impact of climatic factors (i.e. temperature 20–37 °C, humidity 50–80 %, precipitation 10–30 mm) and growth conditions (i.e. sunny areas, shaded zones, periodic mowing to 10 cm) on morphological traits, seed productivity, nectar yield and ecological adaptability.

The experimental design comprised eight plots (with six replicates per condition to enhance statistical reliability) in natural ecosystems (Satanivska Dacha as a reference) and anthropogenic agroecosystems. Multiple linear regression, two-way ANOVA with Tukey's post-hoc test, and biodiversity models (Shannon index for pollinator impact assessment) were used. The findings indicated substantial detrimental impacts of heat stress ($\beta = -15.75$, $p < 0.001$) and waterlogging ($\beta = -8.25$, $p < 0.001$) on plant height ($R^2 = 0.870$). These stresses have the potential to exacerbate soil erosion and biodiversity loss, leading to a 15-20% decline in pollinator populations in shaded areas

due to pest infestations (aphids). Sunny conditions have been shown to optimise morphological parameters (height 175 ± 5 cm, stem diameter 2.3 ± 0.2 cm), seed productivity (200 ± 20 seeds/inflorescence, viability 85 ± 5 %) and nectar yield (1200 kg/ha over 36 days flowering). These results surpass those of traditional honey plants (buckwheat – 200 kg/ha, phacelia – 170 kg/ha) and reinforce the sustainability of beekeeping in the context of 20–25% honey yield reductions in 2024–2025 due to war and climate anomalies.

The practice of cultivating crops on degraded lands (wastelands, ravines with a pH range of 6.5–7.8) has been shown to have several key benefits. Firstly, it has been demonstrated that this method can restore soil fertility, with an increase in humus of between 1–2 % over a period of two years. Secondly, it has been observed that this practice can enhance biodiversity, as evidenced by an increase in the Shannon index from 1.5 to 2.8, which is attributable to the attraction of pollinators. Thirdly, it has been shown to reduce erosion and foster ecosystem resilience, aligning with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) 13 and 15. The pharmacological potential of echinopsine alkaloid (which includes neurostimulatory, cardioprotective, anticancer, and immunomodulatory properties) has the potential to open avenues for novel drug development, with the result that it can be integrated into the bioeconomy. Genetic variability (65–80 % polymorphism via RAPD markers) ensures a high degree of adaptability to anthropogenic pressures, including war contaminations. The study's innovation lies in its comprehensive ecological modelling of causal relationships between climatic factors, growth conditions, and ecosystem services, with recommendations for integration into degraded land restoration programmes (avoid shading due to pest risks, optimise sowing at 3 cm depth, conduct agroecological monitoring using GIS technologies, and investigate microplastics and war pollutants' impact on productivity). The findings of the study propose a strategy for sustainable agroecosystem development in Ukraine, promoting biodiversity and regional economic recovery.

Key words: Echinops exaltatus Schrad*., degraded lands restoration, biodiversity, nectar productivity, climate change, Western Podillia.*

Надійшла 03.09.2025.

УДК: 595.421:616.98:579.834.1:615.285.42 doi: 10.25128/2078-2357.25.3.4

С. С. ПОДОБІВСЬКИЙ, Я. С. СТРАВСЬКИЙ

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського
вул. Майдан Волі, 1, Тернопіль, 46001
e-mail: podobivskiy@tdmu.edu.ua

РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНСЕКТИЦИДНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЕВІМЕКТИН ОРАЛЬНИЙ, НЕОСТОМОЗАН ТА ЕКТОСАН У БОРОТЬБІ З ІКСОДОВИМИ КЛІЩАМИ

Наведено результати застосування синтетичних препаратів девімектин оральний, неостомозан, ектосан для боротьби з ектопаразитами тварин та їх можливе застосування для обмеження чисельності іксодових кліщів безпосередньо у середовищі. Встановлено, що найбільш ефективними в цьому відношенні є ектосан і неостомозан у концентраціях 3–5 %, при цьому 100 % летальний ефект досягається вже протягом 5–10 хв після потрапляння цих препаратів та тіло кліщів.

Досліджені препарати можна застосовувати для боротьби з іксодовими кліщами на невеликих природних або урбанізованих територіях у концентраціях від 1 до 5 % шляхом їх розпилювання при безпосередній присутності кліщів.

Ключові слова: синтетичні препарати, інсектициди, акарициди, іксодові кліщі.

Іксодові кліщі (*Ixodidae*) є небезпечними переносниками широкого спектру патогенних агентів, зокрема збудників хвороби Лайма, анаплазмозу, бабезіозу, рікетсіозів, ерліхіозів та інших інфекцій, що становлять суттєву загрозу для здоров'я як людини, так і тварин.

Одним із стратегічно важливих напрямків вирішення проблеми обмеження чисельності кліщів, а разом з тим і поширення кліщових інфекцій є застосування біологічних і синтетичних препаратів, які використовуються як для обробки територій, так і для захисту тварин і людини від укусів кліщів [12].

Першим акарицидом, який почали використовувати в боротьбі з кліщами ще 1895 році, був миш'як [2]. Проте вже всередині XX століття було виявлено стійкість кліщів до цього препарату. Використання синтетичних акарицидів є найпоширенішим методом, який виробники використовують для боротьби з кліщами [5, 7, 14, 20].

Другим поколінням інсектицидів були синтетичні хлорорганічні речовини, тісно пов'язані з дихлор-дифеніл-трихлоретаном (ДДТ), карбаматами та органофосфатами. Останнє пов'язане з нервово-паралітичною речовиною фосгеном, яка використовувалася як зброя під час Першої світової війни [4]. Третє покоління містить синтетичні піретроїди та амідини. Сучасне покоління акарицидних препаратів містить менше фенілпіразолу, регулятора росту комах і макроциклічних лактонів, які є токсичними сполуками для тварин і навколишнього середовища. Ці сполуки наразі є найбільш використовуваними акарицидами в програмах боротьби з кліщами в усьому світі [18].

Сучасні підходи інтегрованого контролю базуються на використанні хімічних засобів, що характеризуються надзвичайною ефективністю через їх спрямований нейротоксичний вплив: ці речовини порушують нормальне функціонування нервової системи паразитів, спричиняючи безперервну деполяризацію нейрональних клітин, що призводить до швидкого паралічу та летального наслідку [16, 17].

Окрім піретроїдів нині активно використовуються акарициди із вмістом органофосфатів. Їх дію обумовлює інгібування ферменту ацетилхолінестерази, відповідального за розщеплення нейромедіатора ацетилхоліну в синаптичних просторах. Така інгібуюча дія призводить до його надмірного накопичення, що викликає хронічну стимуляцію нервової системи, судоми, параліч і зрештою – летальний ефект для кліщів [3, 19].

До складу сучасного арсеналу засобів проти кліщів входять також інші групи синтетичних інсектицидів, серед яких карбамати та неонікотиноїди. Їх механізми дії теж орієнтовані на порушення роботи нервової системи паразитів. Останні діють як агоністи ацетилхолінових рецепторів, викликаючи надмірну стимуляцію нервових клітин. Незважаючи на високу ефективність, застосування неонікотиноїдів вимагає особливої обережності через можливий токсичний вплив на не таргетні організми, зокрема запилювачів [8, 17].

Проте застосування багатьох синтетичних препаратів часто викликає резистентність кліщів до їх дії [1, 6, 9, 11, 15]. Завдяки цьому виникає постійна потреба у створенні нових препаратів та їх апробації безпосередньо в середовищі або на тілі тварин чи людей.

Однією із праць, у якій розглянуто питання боротьби з іксодовими кліщами в Україні, є робота В. А Левицької [10]. У межах її досліджень були проведені досліди з виявлення дії 4 препаратів: Цифлутрин, Перметрин, Імідаклоприд і Фіпроніл – на кліщів двох видів *I. ricinus* та *D. reticulatus*. За результатами досліджень найкращий ефект, а саме 100 % загибель кліщів протягом 24 год показали перші два препарати: Цифлутрин та Перметрин. Два інші препарати при 24-годинній експозиції викликали загибель лише 10–40 % кліщів.

Перші наші дослідження із застосування синтетичних акарицидів в боротьбі з іксодовими кліщами були проведені у 2024 році [13].

Матеріали та методи досліджень

У роботі з кліщами використовували лабораторне обладнання: чашки Петрі, пробірки, аерозольні розпилювачі, пінцети, препарувальні голки, фільтрувальний папір, широкі таці, біле полотно.

Кліщів добували в довкіллі з використанням «прапора» (біла тканина розміром 1м х 1 м, яку тягнуть по траві з використанням поперечної планки і держала). Ідентифікацію кліщів проводили за допомогою оптико-електронної системи «IMAGLAV-SEO». Для проведення дослідів із синтетичними препаратами використовували відповідні препарати, які

сертифіковані і наявні у аптеках ветеринарної медицини. Застосовували препарати в розведенні від 0,5 до 5 %. Тривалість впливу і його летальну дозу вивчали за безпосередньої дії препарату.

Хід дослідів проводили за однією схемою. Брали дві групи кліщів в однаковому стані. Їх поміщали в посудину (широка таця застелена серветками). Кліщів контрольної групи обприскували водою, а кліщів дослідної групи – препаратом у відповідній концентрації. Після обприскування кліщів дослідної групи переміщали в чисту посудину, щоб вони не контактували з краплями препарату на дні і стінках посудини. Протягом всього досліду фіксували поведінку кліщів контрольної і дослідної групи. Записували помітні зміни в поведінці кліщів до моменту їх повного завмирання. Після чого кліщів розглядали під мікроскопом, подразнювали їх фізично і констатували їх загибель.

Метою роботи було дослідити можливість використання синтетичних інсектицидів: ектосан, девімектин оральний та неостомозан у обмеженні чисельності кліщів на невеликих природних або урбаністичних територіях і запобіганні ураження населення іксодовими кліщами.

Результати досліджень та їх обговорення

Була проведена серія дослідів із дослідження дії окремих інсектицидів синтетичного походження на іксодових кліщів в лабораторних умовах і в середовищі.

Для порівняння обрано три препарати: девімектин оральний, неостомозан і ектосан.

Девімектин оральний – це протипаразитарний препарат широкого спектру дії, який належить до групи макроциклічних лактонів. Івермектин, активна речовина препарату, має виражену інсектицидну та акарицидну дію і призводить до летального ефекту при потраплянні в організм членистоногих. Препарат впливає на нервову систему, викликаючи незворотні зміни, які призводять до загибелі кліща. До цього часу апробація його дії на іксодових кліщів не проводилася.

Неостомозан – це інсектоакарицидний препарат, що містить піретроїди в органічному розчиннику, які забезпечують пролонговану дію. Цей засіб ефективний проти широкого спектру ектопаразитів. Трансмікс і тетраметрин, які є діючими речовинами, діють як нейротоксини на центральну і периферичну нервову систему паразитів. Вони блокують натрієві канали в нервових клітинах, викликаючи тремтіння, параліч і загибель.

Ектосан – це комбінований контактний інсектоакарицид, що містить альфациперметрин та піперонілу бутоксид. Препарат діє на широкий спектр ектопаразитів, включаючи кліщів. Альфациперметрин уражає периферичну нервову систему комах і кліщів на всіх фазах їхнього розвитку (яйце, личинка, німфа, імаго).

Дослідження дії девімектину орального, неостомозану та ектосану. Для дослідів брали по 5 груп кліщів виду *Dermacentor reticulatus*, по 5 кліщів у групі для апробації кожного препарату. 4 групи кліщів були дослідними і їх піддавали впливу препаратам за різних концентрацій. Девімектин оральний – 0,5 %, 1 %, 3 %, 5 %; неостомозан – 0,5 %, 1 %, 1,5 %, 3 %; ектосан – 0,5 %, 1 %, 3 %, 5% відповідно. 4 група кліщів у кожному випадку була контрольною – кліщів обприскували водою.

Результати досліджень представлені в таблиці.

Таблиця

Порівняння ефективності препаратів девімектин оральний, неостомозан і ектосан

Летальна доза / **Концентрація препарату (%)**	**LD_{50}**	**LD_{100}**	**Назва препарату**
0,5	Кліщі залишалися живим протягом		Девімектин оральний
1,0	13±2 (хв)	70±2 (хв)	
3,0	14± 2 (хв)	25±1 (хв)	
5,0	13±2 (хв)	24±2 (хв)	
0,5	19 ±1 (хв)	30 ±1 (хв)	Неостомозан
1,0	14 ± 1 (хв)	18 ±1 (хв)	
1,5	14±1 (хв)	26±2 (хв)	
3,0	14±1 (хв)	26±2 (хв)	
0,5–0,7	25±3 (хв)	38±1(хв)	Ектосан
1,0	32±3 (хв)	39±1 (хв)	
2,5–3,0	8±1 (хв)	12±1 (хв)	
5,0	2±1 (хв)	5±1 (хв)	

Висновки

Синтетичні препарати ектосан, девімектин оральний та неостомозан в концентраціях від 1 до 5 % призводять до загибелі іксодових кліщів протягом 10–30 хвилин, що можна використати для обробки парків, скверів, дачних ділянок, прибудинкових територій тощо.

Найефективнішим акарицидом є неостомозан, який за концентрації 1 % та експозиції 20 хв призводить до 100 % загибелі кліщів і є безпечним для хребетних тварин і людини.

1. Abbas R. Z. et al. Acaricide resistance in cattle ticks and approaches to its management: *The state of play. Veterinary Parasitology*. 2014. Vol. 203. No. 1–2. P. 6–20. https://doi: 10.1016/j.vetpar.2014.03.006.
2. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils – a review. *Food Chem Toxicol.* 2008. Vol. 46. No. 2. P. 446–475. https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106
3. Castilho R.C., Venancio R. and Narita J.P.Z. Mesostigmata as biological control agents, with emphasis on rhodacaroidea and parasitoidea. In: Carrillo D., de Moraes G.J. and Peña J.E. Prospects for biological control of plant feeding mites and other harmful organisms. Springer, Cham, Switzerland. 2015. P. 1–31. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15042-0
4. De la Fuente J., Kocan K.M. & Contreras M. Prevention and control strategies for ticks and pathogen transmission. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz*. 2015. Vol. 34. No. 1. P. 249–264. https://doi: 10.20506/rst.34.1.2357.
5. George J.E., Pond J.M., Davey R.B. Acaricides for controlling ticks on cattle and the problem of acaricide resistance. In Ticks: Biology, Disease and Control; Bowman, A.S., Nuttall, P., Eds. Cambridge University Press: Cambridge, UK. 2008. P. 408–423. https://doi:10.1017/CBO9780511551802.019.
6. George J. E., Pound J. M., & Davey R. B. Synthetic acaricides: Mechanisms of action and resistance. *Pest Management Scienc*e. 2019. Vol. 75. no. 7. P. 1623–1631. https://doi:10.1017/S0031182003004682
7. Gonzaga B. C. F., Barrozo M. M., Coutinho A. L. et al. Essential oils and isolated compounds for tick control: advances beyond the laboratory. *Parasites & Vectors*. 2023. Vol. 16. No. 415. https://doi: 10.1186/s13071-023-05969-w.
8. Hartelt K., Wurst E., Collatz J. et al. Biological control of the tick Ixodes ricinus with entomopathogenic fungi and nematodes: Preliminary results from laboratory experiments. *International Journal of Medical Microbiology*. 2008. No. 298. Supplement 1. P. 314–320. https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2007.10.00.
9. Juergens U.R., Stöber M., Vetter H. Anti-inflammatory activity of 1,8-cineole (eucalyptol) in bronchial epithelial cells. *Pulm Pharmacol Ther*. 2003. Vol. 16. No. 2. P. 113–119. https://doi: 10.1053/rmed.2003.1432.
10. Levytska V. A., Mushinsky A. B., Zubrikova D., Blanarova L., Długosz E., Vichova B.A, Slivinska K. A., Gajewski Z., Gizinski S., Liu S., Zhou L., Rogovskyy A. S. Detection of pathogens in ixodid ticks collected from animals and vegetation in five regions of Ukraine. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 2021. 12 (1): 101586. https://doi: 10.1053/rmed.2003.1432.
11. Nuttall P. Climate change impacts on ticks and tick-borne infections. *Biologia.* 2021. Vol. 77. No. 6. https://doi:10.1007/s11756-021-00927-2.
12. Ortiz-Urquiza A. & Keyhani N. O. Action on the surface: entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. *Insects*. 2013. Vol. 4. No. 3. P. 357–374. https://doi.org/10.3390/insects4030357.
13. Podobivskyi S. S., Lipska V. V., Stravskyi Y. S., Fedoniuk L. Ya. Results of insecticide testing in the control of ixodes ticks. *Bulletin of problems biology and medicine*. 2024;1(172):106-110. https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-06-110.
14. Rajput V. D., Singh A., Minkina T. Nano-Enabled Products: Challenges and Opportunities for Sustainable Agriculture. *Plants*. Vol. 10. Iss. 12. https://doi.org/10.3390/plants10122727.
15. Richards S. L., Byrd B. D. and White A. V. Assessing Insecticide Resistance in Adult Mosquitoes: Perspectives on Current Methods. Environmental Health Insights. https://doi.org/10.1177/1178630220952790.
16. Sparks T. C., & Nauen R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2015. No. 121. P. 122–128. https:// doi.10.1016/j.pestbp.2014.11.014.
17. Tariq A., Adnan M., Amber R., Pan K., Mussarat S., Shinwari Z.K. Ethnomedicines and anti-parasitic activities of Pakistani medicinal plants against Plasmodia and Leishmania parasites. *Ann Clin Microbiol Antimicrob*. 2016. Vol. 15. No 52. https:// doi: 10.1186/s12941-016-0170-0.
18. Toxicology of Organophosphate & Carbamate Compounds. Book. /Edited by: Gupta R. C. 2006. https:// doi: 10.1016/B978-0-12-088523-7.X5000-5.
19. U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Pest Management (IPM) Principles. Available at: https://www.epa.gov/safepestcontrol/integrated-pest-management-ipm. 2025.

20. Welsh J.A.; Braun H.; Brown, N.; Um, C.; Ehret, K.; Figueroa, J.; Boyd Barr, D. Production-related contaminants (pesticides, antibiotics and hormones) in organic and conventionally produced milk samples sold in the USA. *Public Health Nutr*. 2019. No. 22. P. 2972–2980. https://doi: 10.1017/S136898001900106X.

S. S. Podobivskiy, Y. S. Stravskiy
I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ukraine

THE RESULTS OF THE APPLICATION OF INSECTICIDAL PREPARATIONS DEVIMECTIN ORAL, NEOSTOMOZAN AND ECTOSAN IN THE CONTROL OF IXODID TICKS

The results of the use of synthetic drugs devimectin oral, neostomozan, and ectosan for the control of animal ectoparasites and their possible use to limit the number of ixodid ticks directly in the environment are presented in this study.

The methodology employed for the testing of the drugs is almost identical. For the purposes of this study, groups of 5–8 ticks were selected for the experimental and control groups. The number of experimental groups was determined by the number of samples with drug concentrations. In this instance, the number of samples was four, with concentrations ranging from 0.5м0.07 %, 1.0 %, 1.5 %, 3.0 % and 5.0 % of the drug.

The experiments were conducted within the confines of the laboratory. The ticks were positioned centrally on a horizontal tray, which was then covered with either a white cloth or a paper napkin. The drugs were administered at a selected concentration, which was then dispersed in the form of a spray, and subsequently applied to the ticks. Throughout the experiment, the behaviour of the ticks was meticulously monitored, with the time of any slowing down or cessation of activity being recorded. Following the cessation of tick activity, physical irritation was employed to elicit a response, and in the absence of a response, conclusions were drawn about the tick's demise.

The administration of oral devimectin was found to demonstrate the lowest level of efficacy. It has been established that the drug, when ingested, experiences difficulty in penetrating the tick's membranes. Consequently, the onset of its lethal effect at low concentrations commences a minimum of 60–70 minutes after exposure.

The drug neostromozan has been observed to demonstrate effective penetration through tick membranes at low concentrations (approximately 1 %), while its permeability decreases with increasing concentrations. Concurrently, the lethal effect of the drug increases to 26–28 %. Consequently, in the context of tick control, it is recommended to employ neostomozan at a concentration that does not exceed 1.0 %. It has been observed that this concentration results in a 100 % lethal effect within an exposure time of 18–19 minutes.

The mechanism of action of ectosan is antithetical to that of neostomozan. It is evident that an increase in the concentration of the drug results in a reduction of the time required for the drug to exert its full lethal effect. At a concentration of approximately 1.0 %, the time required for the drug to exert its full lethal effect is approximately 38–39 minutes. However, at a concentration of 5.0 %, the time required for the drug to exert its full lethal effect is reduced to 5-6 minutes.

It has been established that ectosan and neostomozan are the most effective in this regard at concentrations of 3–5 %, with a 100 % lethal effect achieved within 5–10 minutes after these drugs enter the body of ticks.

The investigation established that the drugs could be used to control Ixodes ticks in small natural or urbanised areas in concentrations ranging from 1 to 5 % by spraying them directly onto ticks.

Key words: synthetic drugs, insecticides, acaricides, Ixodes ticks.

Надійшла 28.08.2025.

ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ ТА ТВАРИН

УДК 612.1/.2-053.5 doi: 10.25128/2078-2357.25.3.5

[1]Т. Є. КОМІСОВА, [2]О. І. ДЕМЕНКО, [3]О. В. БУГАКОВА

[1]Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди
вул. Алчевських, 29, Харків, 61002
[2]Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
проспект Науки, 9А, Харків, 61166
[3]Комунальний заклад «Харківський ліцей № 116 Харківської міської ради»
вул. Культури, 22, Харків,61058
e-mail: tatyanakomisova@gmail.com

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН КАРДІОРЕСПІРАТОРНОЇ СИСТЕМИ УЧНІВ В УМОВАХ МЕТРОШКОЛИ

У статті розглядається актуальна проблема впливу специфічного середовища «метрошколи» на організм старшокласників у прифронтовому місті. В умовах воєнних дій підземний простір метрополітену став безпечною альтернативою звичайним класам, проте він характеризується відсутністю природного світла, штучною вентиляцією та підвищеним рівнем техногенного шуму. Дослідження базується на гіпотезі, що такі умови у поєднанні з хронічним стресом від обстрілів виснажують кардіореспіраторну систему підлітків, яка є індикатором загального гомеостазу. Протягом експерименту було обстежено 27 юнаків та 32 дівчини, учнів Харківського ліцею № 116. Методологія включала моніторинг показників гемодинаміки, пульсоксиметрію, спірометрію та функціональні гіпоксичні тести, що дозволило оцінити не лише стан спокою, а й приховані резерви організму до дефіциту кисню.

Результати дослідження продемонстрували, що хоча середні показники гемодинаміки та оксигенації крові (97 %) формально відповідають віковим нормам, детальний індивідуальний аналіз виявляє ознаки прихованого функціонального напруження. Отримані дані свідчать про те, що середовище метрополітену висуває підвищені вимоги до вегетативної регуляції підлітків. Аналіз виявив неоднорідність реакцій: від стабільної сатурації крові до виражених симпатикотонічних проявів, таких як тахікардія (у 11–14 % обстежених) та підвищення систолічного тиску (у 16,9 %), що особливо простежується у юнаків. Важливим аспектом роботи стало виявлення групи ризику серед школярів, які мають дефіцит життєвої ємності легень у 15,5 % юнаків та 21 % дівчат. Найбільш показовими стали результати гіпоксичних проб, які виявили низьку толерантність до кисневого голодування: незадовільні показники за пробою Штанге зафіксовані у 42,4 % учнів, а за пробою Генча – у 30,5 %. Це свідчить про низьку витривалість дихальної мускулатури та недостатність компенсаторних механізмів серцево-судинного транспорту кисню.

Аналіз адаптаційного потенціалу підтвердив, що лише 32,2 % підлітків зберігають задовільний рівень адаптації. Переважна більшість учнів (59,3 %) перебувають у стані функціонального напруження, що є сигналом про поступове виснаження ресурсів організму. Юнаки виявили нижчу резистентність до екзогенних факторів (63 % осіб у стані напруження) порівняно з дівчатами (56,3 %). Таким чином, тривале перебування у незвичному підземному середовищі на тлі війни є потужним стресором, що зумовлює необхідність впровадження

спеціальних оздоровчих програм та регулярного психофізіологічного моніторингу для стабілізації функціонального стану школярів.

Ключові слова: метрошкола, кардіореспіраторна система, адаптаційний потенціал.

Повномасштабне вторгнення в Україну змусило систему освіти адаптуватися до екстремальних умов, результатом чого стало виникнення «метрошкіл» у Харкові [4]. Хоча таке рішення гарантує безпеку під час обстрілів, воно формує специфічне середовище, що суттєво відрізняється від традиційного. Підземний простір із обмеженим доступом природного світла, особливим режимом вентиляції, надмірним шумом та пилом створює додаткове навантаження на дитячий організм. Найбільш вразливою до таких умов є кардіореспіраторна система, показники якої (ЧСС, артеріальний тиск, оксигенація, ЖЄЛ тощо) безпосередньо залежать від якості мікроклімату [6, 7, 8, 9]. Попри позитивний психосоціальний вплив навчання «наживо» та відчуття захищеності, тривале перебування під землею може виступати стресовим фактором. Це обумовлює необхідність моніторингу фізіологічного стану учнів для оцінки їхньої адаптації та запобігання погіршенню здоров'я.

Метою дослідження постало визначити функціональні показники серцево-судинної та дихальної системи учнів, які навчаються в метрошколі, та оцінити їх адаптаційні можливості.

Матеріали та методи досліджень

Об'єктом дослідження стали 27 юнаків та 32 дівчини Харківського ліцею № 116 віком 15–17 років. Експериментальна частина роботи була виконана безпосередньо у приміщенні метрошколи. Під час вимірювань підтримували стабільні параметри мікроклімату: температура в межах 20–22 °С, вологість становила 60–65 %, рівень шуму – до 50 дБ. Робота базувалася на дотриманні міжнародних та національних етичних стандартів, зокрема Гельсінської декларації(1964–2013 рр.), принципів ICH GCP(1996 р.), Директиви ЄЕС № 609 (від 24.11.1986 р.) та відповідних наказів МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 944 від 14.12.2009 р., № 616 від 03.08.2012 р.

Оцінку кардіореспіраторних показників здійснювали в ранкові години до початку уроків, що дозволило нівелювати вплив навчальної втоми. За допомогою пульсоксиметрії фіксували ЧСС, рівень сатурації (SpO_2), тонометрії за методом Короткова визначали показники систолічного й діастолічного тиску. Отримані дані зіставляли з віковими референтними значеннями [5]. Функціональні можливості дихальної системи оцінювали через вимірювання ЖЄЛ та проведення функціональних проб (Штанге та Генча) [3]. Ці тести (затримка дихання на вдиху та видиху) дозволили визначити резистентність організму до кисневого дефіциту.

Розрахунок АП проводили за формулою на основі параметрів кровообігу, оскільки серцево-судинна система є ключовим індикатором пристосувальних реакцій організму та його енергозабезпечення:

$$АП\ (у.\ о.) = 0{,}011 \times ЧСС + 0{,}014 \times АТ_С + 0{,}008 \times АТ_Д + 0{,}014 \times В + 0{,}009 \times МТ - 0{,}009 \times Р - 0{,}273,$$

де АП – адаптаційний потенціал; ЧСС – частота серцевих скорочень, уд/хв; $АТ_С$ – систолічний артеріальний тиск, мм рт. ст.; $АТ_Д$ – діастолічний артеріальний тиск, мм рт. ст.; МТ – маса тіла, кг; Р – зріст, см; В – вік, роки.

За допомогою ростоміра та медичних ваг визначали зріст та масу тіла учнів.

На основі розрахованих значень проводили аналіз адаптаційних можливостей – від задовільної адаптації до межі її зриву [1, 2].

Статистичну обробку результатів здійснювали з використанням Microsoft Excel 365. Визначали показники описової статистики: середнє арифметичне, стандартне відхилення, які зазначалияк $\bar{x} \pm \sigma$; мінімальні й максимальні значення.

Результати досліджень та їх обговорення

За результатами дослідження встановлено, що у дівчат і юнаків середні показники ЧСС знаходяться в межах вікової норми (табл. 1). Проте детальний аналіз виявив тахікардію у 14 % дівчат та 11 % юнаків, у яких ЧСС перевищувало 90 уд/хв.

Таблиця 1

Функціональні показники серцево-судинної системи учнів

Юнаки					
Показники ССС	Кількість учнів	Нормативні вікові показники	$\bar{x} \pm \sigma$	Мінімальне значення	Максимальне значення
ЧСС	27	70-80	78,5±10,1	62,0	100,0
$АТ_С$		112-128	133,1±28,6	115,0	160,0
$АТ_Д$		66-80	71,7±7,5	55,0	85,0
Дівчата					
ЧСС	32	75-80	83,8±16,2	58,0	130,0
$АТ_С$		104-128	108,9±22,3	92,0	151,0
$АТ_Д$		61-78	70,1±12,3	59,0	101,0

Показники артеріального тиску (АТ) юнаків демонструють тенденцію до гіпертензії: середнє значення систолічного тиску ($АТ_С$) на 4 % перевищує вікову норму (128 мм рт. ст.). Зокрема, у 22 % юнаків зафіксовано $АТ_С$ понад 135 мм рт. ст. (максимум – 160 мм рт. ст.), що зумовлює необхідність медичного нагляду. Попри відповідність середніх значень діастолічного тиску ($АТ_Д$) нормі, у 14 % підлітків спостережено гіпотонію (мін. 55 мм рт. ст.), а у 18% – перевищення нормативних значень.

Серед дівчат середні показники $АТ_С$ залишаються в межах норми, проте виявлено певні індивідуальні відхилення: у 12 % випадків зафіксовано високі показники $АТ_С$ (до 151 мм рт. ст.), а у 14 % знижені (від 59 мм рт. ст.).

Аналіз індивідуальних даних засвідчив, що перевищення нормативних показників систолічного артеріального тиску характерне для 16,9 % загальної кількості обстежених. При цьому юнаки виявляють більшу схильність до гіпертензивних станів (22 %), ніж дівчата (12 %), що може бути пов’язано з вищою симпатикотонічною реакцією на хронічний стрес. Варіативність показників серцево-судинної системи у підлітків можна пояснити наслідком поєднання вікової нейроендокринної перебудови їхнього організму та хронічного психоемоційного стресу, викликаного і перебуванням у прифронтовій зоні, і навчанням у підземному просторі.

Оцінку функціонального стану респіраторної системи підлітків проведено за показниками життєвої ємності легень (ЖЄЛ) та результатами гіпоксичних проб (Штанге – на вдиху, Генча – на видиху). ЖЄЛ як статичний параметр прямо корелює з антропометричними даними, віком та рівнем фізичної підготовки. Згідно з літературними джерелами, дівчата 15–16 років поступаються юнакам за об’ємом легень, силою дихальної мускулатури та показниками легеневої вентиляції, що зумовлює їх нижчі функціональні резерви. Результати дослідження підтвердили ці закономірності: середнє значення ЖЄЛ у юнаків ($\bar{x}$ = 3,5 л) очікувано перевищує аналогічний показник у дівчат (M = 2,8 л), що є фізіологічно обумовленим для даної вікової групи (табл. 2).

Таблиця 2

Показники дихальної системи учнів

Юнаки					
Показники респіраторної системи	Кількість учнів	Нормативні вікові показники	$\bar{x} \pm \sigma$	Мінімальне значення	Максимальне значення
Проба Штанге	27	> 40	42,9±8,8	31,0	59,0
Проба Генчі		> 25	31,9±11,9	12,0	54,0
ЖЄЛ		2,700 – 3,900	3,5±0,63	2,4	4,8
Сатурація		95,0 – 100,0	97,1±1,1	95,0	99,0
Дівчата					
Проба Штанге	32	> 40	35,6±6,57	27,0	51,0
Проба Генчі		> 25	25,1±4,8	17,0	37,0
ЖЄЛ		2,500 – 2,700	2,8±0,49	2,2	4,1
Сатурація			97,0±0,94	95,0	99,0

Попри відповідність середньогрупових значень віковим нормам, результати дослідження дозволили виокремити групу ризику: дефіцит ЖЄЛ зафіксовано у 15,5 % юнаків та 21 % дівчат. Мінімальні дані ЖЄЛ (2,4 л та 2,2 л відповідно у юнаків та дівчат) свідчать про недостатній розвиток дихальної поверхні у частини підлітків. Виявлено кращу адаптацію до гіпоксії серед юнаків: 71 % продемонстрували задовільні результати проби Штанге ($\bar{x}$ = 42,8 с), а 73 % – проби Генча ($\bar{x}$ = 31,9 с), Натомість у дівчат спостерігається знижена стійкість до гіперкапнії та кисневого голодування. У більшості обстежених дівчат 52 % зафіксовані за пробою Штанге, за пробою Генча – у 34 % у пробі, що вказує на меншу потужність дихальної мускулатури та виражене функціональне напруження респіраторної системи. Стабільна сатурація ($\bar{x}$ = 97 %) свідчить про збережену газообмінну функцію в стані спокою.

Проте нездатність до тривалої затримки дихання (незадовільна проба Штанге у 42,4 % та Генча у 30,5 % від загальної кількості учнів) сигналізує про низьку толерантність організму учнів до гіпоксії та недостатню ефективність серцево-судинного транспорту кисню. У стресових умовах, зокрема під час перебування в обмежених просторах укриттів, ці підлітки схильні до швидкого виснаження через низькі компенсаторні резерви.

Дослідження адаптаційних можливостей підлітків у специфічних умовах метрошколи дозволило оцінити їхній функціональний резерв, що є підгрунтям для розробки оздоровчих і профілактичних програм. Будь-яка функціональна неспроможність або дефіцит компенсаторних можливостей організму насамперед відображається на стані гемодинаміки. В основу аналізу покладено концепцію Р. М. Баєвського, згідно з якою розвиток патологій є результатом порушення адаптаційних процесів. Цей метод реалізується через розрахунок інтегрального показника АП, який кількісно визначає здатність організму пристосовуватися до навантажень або стресових факторів середовища. АП оцінювали за формулою Баєвського на основі показників АТ, ЧСС, зросту та віку досліджуваних учнів. Антропометричні показники підлітків характеризуються такими даними: зріст – 172,9 ± 10,2 см, маса тіла – 59,7 ± 11,0 кг. Аналіз адаптаційного потенціалу (АП) учнів показав, що задовільну адаптацію (АП =2,1) мають 33,2 % осіб (19 учнів). Водночас у 59,3 % обстежених (35 учнів) спостерігається стан напруження адаптаційних механізмів (АП від 2,11 до 3,2 у.о.). Незадовільний рівень адаптації з високими показниками АП (понад 3,21 у.о.) зафіксовано у 8,5 % (5 учнів) (табл. 3). Стану зриву механізмів адаптації у досліджуваних учнів не виявлено.

Таблиця 3

Розподіл учнів за показниками адаптаційного потенціалу учнів

Показники АП, бали	Стан адаптації	Кількість учнів у %
≤ 2,1 у.о.	Задовільна адаптація	33,2
2,11–3,2 у.о.	Напруження механізмів адаптації	59,3
3,21–4,3 у.о.	Незадовільна адаптація	8,5
≥ 4,31 у.о.	Зрив механізмів адаптації	0

Детальний розподіл учнів за станом адаптаційного потенціалу виявив, що серед юнаків задовільну адаптацію мали лише 25,9 % (7 учнів), тоді як стан напруження механізмів адаптації зафіксовано у 63 % (17 учнів), а незадовільний рівень – у 11,1 % (3 учня). У дівчат показники дещо кращі: задовільна адаптація характерна для 37,5 % (12 учнів), напруження – для 56,3 % (18 учнів), незадовільна адаптація – у 6,2 % (2 учнів).

Дослідження підтверджує, що сучасні умови життя у прифронтовому місті (повітряні тривоги, блекаути, навчання в метрошколі) створюють надмірне навантаження на організм підлітків. Зокрема, юнаки виявляються більш вразливими до стресових чинників, ніж дівчата. Це може пояснюватися вищою резистентністю організму дівчат до несприятливих екзогенних факторів, меншою поширеністю шкідливих звичок серед них та гормональними особливостями, що потребує окремого вивчення.

Висновки

У ході дослідження функціонального стану серцево-судинної та дихальної систем, а також адаптаційних можливостей учнів 15–17 років, які навчаються в підземному освітньому просторі метрошколи прифронтового міста, виявлено складну картину адаптаційних процесів,

де на тлі нормальних середніх показників серцево-судинної та дихальної систем чітко простежується приховане функціональне напруження. Хоча рівень кисню в крові та більшість показників тиску відповідають віковим нормам, наявність тахікардії у 10–15 % учнів та схильність до артеріальної гіпертензії у 16,9 % (від загальної кількості учнів) свідчать про виражену активацію симпатичної нервової системи як реакцію на перманентний стрес. Низька толерантність до гіпоксії (незадовільна проба Штанге у 42,4 % учнів, проба Генча – у 30,5 %) свідчить про виснаження резервів дихальної системи. За методикою Р. Баєвського лише 32,2 % осіб мають задовільну адаптацію, тоді як 59,3 % перебувають у стані напруження, що є сигналом про поступове виснаження компенсаторних можливостей організму під впливом хронічного психоемоційного стресу та специфічних умов середовища. Юнаки виявилися більш вразливими до екзогенних факторів: стан напруження у них зафіксовано у 63 % випадків проти 56,3 % у дівчат. Отримані дані підкреслюють необхідність впровадження спеціальних оздоровчих програм та психофізіологічного супроводу для учнів, чиє навчання проходить у специфічних умовах воєнного часу.

1. Волошин О. С., Гуменюк Г. Б., Волошин В. Д., Сморщок Ю. С. Оцінка адаптаційних можливостей осіб юнацького віку з різним рівнем ефективності функціонування серця. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2022. № 4. С. 83–88. https://doi.org/10.11603/1811-2471.2022.v.i4.13502C.
2. Леонтьєва З. Розрахунок адаптаційного потенціалу, оцінка адаптаційних можливостей організму і рівнів здоров’я студентів Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького. *Праці наукового товариства ім. Шевченка. Медичні науки*. 2016. Т. 47. С. 64–70.
3. Мелега К. П. Основи спортивної медицини: навчальний посібник. Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2023. 300 с.
4. Метрошкола в Харкові. Як організоване навчання під землею. 20.12.2023. URL: https://texty.org.ua/articles/111382/metroshkola-u-harkovi-yak-oblashtovane-navchannya-pid-zemleyu/ (дата звернення: 22.08.2025).
5. Норма артеріального тиску у дітей: таблиця. URL: https://etabletka.ua/blog/article/arterialnyy-tysk-norma-po-viku-ta-yak-pravylno-vymiryaty-286 (дата звернення: 22.08.2025).
6. Allen J.G., MacNaughton P., Satish U., Santanam S., Vallarino J., Spengler J.D. Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. *Environ Health Perspect*. 2016 Jun;124(6):805-12. doi: 10.1289/ehp.1510037. Epub 2015 Oct 26. PMID: 26502459; PMCID: PMC4892924.
7. Wang S., Qin T., Tu R., Li T., Chen G.I., Green D.C., Zhang X., Feng J., Liu H., Hu M., Fu Q. Indoor air quality in subway microenvironments: Pollutant characteristics, adverse health impacts, and population inequity. *Environment International*, 190, 108873. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108873.
8. Wang X., Xia L., Pei F., Wang Z., Liu Y., Chang L., Pan S. The characteristics of particulate matter in different subway station environmental control systems. *Heliyon*. 2023 Sep 13;9(9):e20116. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20116. PMID: 37809848; PMCID: PMC10559854.
9. Wen, Y., Leng, J., Shen, X., Han, G., Sun, L., & Yu, F. (2020). Environmental and health effects of ventilation in subway stations: A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1084. https://doi.org/10.3390/ijerph17031084.
10. World Medical Association Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. URL: https://med.sumdu.edu.ua/images/Sciense/Etika/a6.pdf.

References

1. Voloshyn O. S., Humeniuk H. B., Voloshyn V. D., Smorshchok Yu. S. Otsinka adaptatsiynykh mozhlyvostei osib yunatskoho viku z riznym rivnem efektyvnosti funktsionuvannia sertsia. *Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny*. 2022. № 4. S. 83–88. https://doi.org/10.11603/1811-2471.2022.v.i4.13502S. [in Ukrainian]
2. Leontieva Z. Rozrakhunok adaptatsiynoho potentsialu, otsinka adaptatsiynykh mozhlyvostei orhanizmu i rivniv zdorovia studentiv Lvivskoho natsionalnoho medychnoho universytetu imeni Danyla Halytskoho. *Pratsi naukovoho tovarystva im. Shevchenka. Medychni nauky*. 2016. T. 47. S. 64–70. [in Ukrainian]
3. Meleha K. P. Osnovy sportyvnoi medytsyny: navchalnyi posibnyk. Uzhhorod : Vyd-vo UzhNU «Hoverla», 2023. 300 s. [in Ukrainian]
4. Metroshkola v Kharkovi. Yak orhanizovane navchannia pid zemleiu. 20.12.2023. URL: https://texty.org.ua/articles/111382/metroshkola-u-harkovi-yak-oblashtovane-navchannya-pid-zemleyu/ (data zvernennia: 22.08.2025). [in Ukrainian]

5. Norma arterialnoho tysku u ditei: tablytsia. URL: https://etabletka.ua/blog/article/arterialnyy-tysk-norma-po-viku-ta-yak-pravylno-vymiryaty-286 (data zvernennia: 22.08.2025). [in Ukrainian]
6. Allen J.G., MacNaughton P., Satish U., Santanam S., Vallarino J., Spengler J.D. Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. *Environ Health Perspect*. 2016 Jun;124(6):805-12. doi: 10.1289/ehp.1510037. Epub 2015 Oct 26. PMID: 26502459; PMCID: PMC4892924.
7. Wang S., Qin T., Tu R., Li T., Chen G.I., Green D.C., Zhang X., Feng J., Liu H., Hu M., Fu Q. Indoor air quality in subway microenvironments: Pollutant characteristics, adverse health impacts, and population inequity. *Environment International*, 190, 108873. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108873.
8. Wang X., Xia L., Pei F., Wang Z., Liu Y., Chang L., Pan S. The characteristics of particulate matter in different subway station environmental control systems. *Heliyon*. 2023 Sep 13;9(9):e20116. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20116. PMID: 37809848; PMCID: PMC10559854.
9. Wen, Y., Leng, J., Shen, X., Han, G., Sun, L., & Yu, F. (2020). Environmental and health effects of ventilation in subway stations: A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1084. https://doi.org/10.3390/ijerph17031084.
10. World Medical Association Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. URL: https://med.sumdu.edu.ua/images/Sciense/Etika/a6.pdf.

[1]T. Ye. Komisova, [2]O. I. Demenko, [3]O. V. Bugakova
[1]H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Ukraine
[2]Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine
[3]Municipal institutions «Kharkiv Lyceum № 116 of the Kharkiv City Council», Ukraine

FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIORESPIRATORY SYSTEM OF STUDENTS IN THE CONDITIONS OF A METRO SCHOOL

This article examines the issue of how the specific «metro-school» environment affects the physiological state of senior high school students in a frontline city. In the context of ongoing military operations, subterranean areas of the metropolitan infrastructure have emerged as a viable alternative to conventional educational settings. However, these environments are characterised by a deficiency in natural light, inadequate ventilation systems, and elevated levels of anthropogenic noise. The study hypothesises that such conditions, in combination with chronic stress from shelling, result in a depletion of the cardiorespiratory system in adolescents. This depletion serves as a key indicator of general homeostasis. During the course of the experiment, 59 students (27 males and 32 females) from Kharkiv Lyceum No. 116 were examined. The methodology comprised hemodynamic monitoring, pulse oximetry, spirometry, and functional hypoxic tests, enabling an assessment of both resting states and the body's latent reserves in response to oxygen deficiency.

The findings demonstrate that, while average hemodynamic and blood oxygenation levels (97 %) formally align with age-related norms, a detailed individual analysis reveals signs of latent functional strain. The data suggest that the subway environment places increased demands on the autonomic regulation of adolescents. The analysis revealed a range of heterogeneous reactions, ranging from stable blood saturation to pronounced sympathotonic manifestations, such as tachycardia (in 11–14 % of subjects) and increased systolic blood pressure (in 16.9 %), particularly among males. A fundamental element of the study was the identification of a risk group among students exhibiting a deficiency in vital lung capacity (15.5 % of males and 21 % of females). The most significant findings emerged from the results of hypoxic tests, which revealed low tolerance to oxygen deprivation: unsatisfactory results in the Stange test were recorded in 42.4 % of students, and in the Hench test in 30.5 %. This finding is indicative of low respiratory muscle endurance and insufficient compensatory mechanisms in cardiovascular oxygen transport.

A perusal of the literature reveals that the results of adaptive potential analysis indicate that only 32.2 % of adolescents demonstrate an adequate degree of adaptation. The majority of students (59.3 %) exhibited functional strain, which is indicative of a gradual exhaustion of the body's resources. The present study found that males demonstrated a lower level of resistance to exogenous factors (63 % in a state of strain) in comparison to females (56.3 %). Consequently, prolonged exposure to an unfamiliar subterranean environment against the backdrop of war constitutes a potent stressor, necessitating the implementation of bespoke wellness programs and regular psychophysiological monitoring to stabilize the functional state of students.

Key words: metro-school, cardiorespiratory system, adaptive potential.

Надійшла 05.09.2025.

ОГЛЯДИ

УДК: 612.897+06:612.172 doi: 10.25128/2078-2357.25.3.6

[1]О. С. ВОЛОШИН, [2]В. Д. ВОЛОШИН, [1]Г. Б. ГУМЕНЮК

[1]Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
[2]Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України
Майдан Волі, 1, Тернопіль, 46001
e-mail: voloshyn@tnpu.edu.ua

АКТУАЛЬНІ НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ КЛІТИННИХ МЕХАНІЗМІВ РЕПАРАТИВНОЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ

У статті висвітлено основні аспекти сучасних досліджень клітинних механізмів репаративної регенерації та значення у цьому процесі макрофагів, фібробластів, міофібробластів, нейтрофілів, перицитів, стовбурових клітин. Проаналізовано роль макрофагів у знищенні патогенів, видаленні загиблих клітин, регуляції діяльності фібробластів, ендотеліоцитів, кератиноцитів. Показано виняткову участь у процесі репарації фібробластів, які активують клітини спадкового імунітету, разом з міофібробластами є центральною ланкою ремоделювання тканин в рані, сприяють її закриттю. Проаналізовано напрями досліджень, присвячених можливості використання стовбурових клітин та екзосом для регенерації, пошуку вирішення проблеми об'єктивного контролю відновлення тканин. Зазначено необхідність подальшого вивчення механізмів диференціації та функціонування міофібробластів, участі нейтрофілів і перицитів в процесах загоєння, ролі регенераторного потенціалу стовбурових клітин, макрофагів, ендотеліоцитів, дослідження молекулярних механізмів взаємодії між клітинами.

Ключові слова: репаративна регенерація, клітинні механізми, загоєння ран, запальні клітини, фібробласти, фіброз.

Пошкодження цілісності тканин внаслідок травми, хірургічного втручання чи запального процесу активує комплекс генетично запрограмованих механізмів репаративної регенерації. Успішний перебіг процесів відновлення пошкоджених структур призводить до повного заміщення дефекту оригінальною тканиною або неповноцінного заміщення з утворенням рубця.

Репаративна регенерація є комплексом складних метаболічно вимогливих процесів із залученням запальних клітин, зокрема нейтрофілів, макрофагів, лімфоцитів. Участь цих клітин у відновленні тканин після пошкодження забезпечує очищення рани, вироблення факторів росту, метаболітів, хемокінів [10], підвищення функціональної активності фібробластів [25]. Пошкодження цілісності тканин ініціює комплекс неспецифічних реакцій: розвиток запалення, активацію макрофагів, інфільтрацію імунокомпетентних клітин, локальну активацію колаген-продукуючих мезенхімальних клітин, рекрутування попередників фібробластів [14, 23, 42]. Висока частота травматичних ушкоджень різного ґенезу обґрунтовує актуальність практичного запиту в поглибленому вивченні клітинних основ і механізмів репаративної регенерації. Отримані результати експериментальних досліджень дозволять оптимізувати способи стимуляції репаративної регенерації і попередження надмірного фіброзу та порушення функції

органів. Мета роботи – проаналізувати фахові літературні джерела щодо сучасних аспектів вивчення клітинних механізмів репаративної регенерації та можливих методів стимуляції процесів загоєння. У дослідженні проведено системний аналіз сучасних фахових літературних джерел шляхом використання науковометричних баз даних і пошукових систем наукової інформації, зокрема PubMed, Medscape, Google Scholar.

Пошкодження цілісності тканин запускає каскад процесів репаративної регенерації, синхронізованих в часі й просторі [19]. Перебіг загоєння є комплексом складних, послідовних, метаболічно вимогливих процесів. Нейтрофіли, макрофаги, лімфоцити є запальними клітинами і виконують в ділянці пошкодження широкий спектр першочергових завдань, сприяючи очищенню рани та виробляючи фактори росту, метаболіти, хемокіни [10]. Цей процес стимулює підвищення функціональної активності фібробластів. Клітини запалення виробляють специфічні фактори взаємодії з молекулами міжклітинного матриксу, зокрема з колагеном і еластином [25].

Вагома роль у механізмах загоєння належить макрофагам, які беруть участь в регуляції активності процесу запалення, знищенні патогенів, видаленні мертвих клітин. Під час регенерації макрофаги виділяють фактори, що впливають на фібробласти, кератиноцити, ендотеліоцити і регулюють розмноження та диференціацію цих клітин. Вказані функції макрофагів мають важливе значення в процесах утворення кровоносних судин і репаративної регенерації. Доведено, що в осіб з діабетом функція макрофагів зазнає змін: клітинам характерна підвищена секреція прозапальних цитокінів і висока чутливість до стимуляторів запалення [1]. Між макрофагами різного типу є певна функціональна відмінність. Функція запальних макрофагів – початкова реакція на пошкодження тканини, а функція активованих макрофагів – участь у закритті рани та відновленні тканин [9]. У випадку формування незагойних ран макрофагам характерна зміна функціонального фенотипу. Дослідження показують, що функціональна різноманітність макрофагів у фенотипі не обмежується класично активованим, прозапальним M1 та альтернативно активованим, протизапальним M2. Тепер виділяють додатково чотири змінно активованих субфенотипи: M2a, M2b, M2c і M2d. Різноманітні фенотипи макрофагів потребують подальших досліджень для розуміння їх ролі в патогенезі порушення загоєння тканин [2]. Макрофаги у хворих на діабет демонструють знижену здатність до фагоцитозу й ефероцитозу, а в розподілі фенотипів макрофагів є дисбаланс [1, 41].

Макрофаги вирізняє висока пластичність, що дозволяє їм виконувати широкий спектр функцій залежно від потреб тканини чи мікросередовища. Вони перебувають практично в усіх тканинах організму, зокрема, у кістковій тканині вони представлені остеокластами, які беруть активну участь не лише в процесі руйнування кісткової тканини, але й у загоєнні кісток. Макрофаги сприяють ініціації запалення після пошкодження кістки і під час її ендохондрального формування [34].

Вагому роль у процесі репаративної регенерації і загоєння відіграють фібробласти, функціональна активність яких контролюється різними регуляторними сигналами [44]. Роль фібробластів у процесі репаративної регенерації підтверджує дослідження морфологічної характеристики результатів імплантації децелюляризованих та рецелюляризованих шкіряних каркасів свині. Експериментально виявлено відмінності у відповіді тканин на різні матриці. У ранах, покритих децелюляризованими дермальними матрицями, формується рубцева тканина, яка вимагає наступної аутодермопластики. У ранах, покритих рецелюляризованими дермальними матрицями, формувались повноцінні дермальні та епідермальні шари [37].

У процесах загоєння фібробласти активують клітини спадкового імунітету, залучають їх до захисних і відновних реакцій, беруть участь у транспортуванні фасціальної сполучної тканини в рани [19]. Основним типом клітин у дермальному шарі шкіри є дермальні фібробласти кількох підтипів: папілярні, ретикулярні, фібробласти, пов’язані з волосяними фолікулами, а також міофібробласти після поранення. Поглибленого вивчення потребують структурно-функціональні особливості субпопуляцій дермальних фібробластів, їх клітинні маркери та внесок у загоєння ран з потенційним спрямуванням результатів досліджень у розробку клітинної терапії ран і профілактику надмірного рубцювання [39, 45].

Фібробласти й міофібробласти відіграють центральну роль у процесі ремоделювання тканин в ділянці ран шкіри. Міофібробласти активно синтезують білки позаклітинного матриксу і сприяють закриттю рани. За нормальних умов міофібробласти зникають з грануляційної тканини шляхом апоптозу після закриття рани, їх диференціацію й апоптоз модулюють цитокіни та механічний стрес [33]. Однак, міофібробласти можуть відігравати також негативну роль, їх хронічна присутність і тривала активність сприяє розвитку фіброзних патологій не тільки шкіри, але й нирок, печінки, легень. У цьому питанні важливе значення має адекватність кількості, рівня і часу функціональної активності міофібробластів, що зумовлює потребу в подальших дослідженнях механізмів їх диференціації і функціонування [8, 16, 17, 35, 47].

Успішність репаративної регенерації істотно залежить від контролю взаємодії між міофібробластами й активованими макрофагами, що продукують запальні цитокіни. Комунікацію макрофагів і міофібробластів здійснюють розчинні біохімічні, біофізичні та хімічні сигнали. Міжклітинний матрикс забезпечує передачу цих сигналів міжклітинної взаємодії і є головним координатором регенерації й загоєння [30].

Репаративна регенерація тісно пов'язана з процесом запалення, у якому нейтрофільні гранулоцити відіграють вирішальну роль. Ці клітини експресують широкий комплекс поверхневих рецепторів для численних лігандів, що підтримують їх вихід з кісткового мозку у кров, а з крові – у тканини, а також регулюють рух нейтрофілів до інфекційного вогнища або пошкоджених тканин, готують їх до розпізнавання імуноглобулінових рецепторів, знищення і видалення збудників інфекції, очищення пошкоджених тканин. Останні дослідження показали, що нейтрофіли здатні до значно складніших міжклітинних взаємодій: вони синтезують медіатори запалення, сприяють навчанню мієлоїдних клітин у кістковому мозку, стимулюють субпопуляцію нейтрофілів, здатну до гіперчутливих реакцій стосовно збудників інфекції [6].

Поглиблені дослідження функціонування нейтрофільних гранулоцитів пов'язані з потребами регенеративної медицини і тканинної інженерії для клінічного обґрунтування відновлення пошкоджених тканин. Останніми дослідженнями встановлено, що після активації нейтрофілів тривалість їх життя значно збільшується. Доведено, що нейтрофіли є високопластичними клітинами та можуть мати різні фенотипи, здатні до виконання ширшого спектру функцій, зокрема у вирішенні запальної реакції, інтеграції біоматеріалів і тканин, у подальшій регенерації тканин [12, 38].

Традиційно основну роль у процесах загоєння відводять міофібробластам, нейтрофілам, макрофагам, ендотеліоцитам. Однак, дослідження вказують на те, що перицити під час регенерації не лише стабілізують судини, але й здатні стимулювати загоєння з мінімальними рубцями, або, навпаки, сприяти утворенню фіброзних рубців. Ці клітини за потреби є активними учасниками клітинної пластичності та сигнальних подій [4, 28].

У ході репаративної регенерації шкіри по завершенні фази проліферації починається фаза розсмоктування завдяки механізму апоптозу, недостатня активність якого призводить до збереження більшої кількості клітин, зокрема, фібробластів, і вираженого рубцювання. Важливим модулятором клітинної активності фібробластів є іннервація. Неадекватний рівень нейромедіаторів може спричинити як розвиток рубцевої тканини, так і хронічні рани [20].

Пошкодження клітин паренхіми в різних органах супроводжується розгортанням комплексу неспецифічних реакцій: розвиток запалення, активація макрофагів, інфільтрація імунокомпетентних клітин. Під впливом високоактивних цитокінів і хемокінів відбувається локальна активація колаген-продукуючих мезенхімальних клітин, зокрема міофібробластів і перицитів, а також рекрутування попередників фібробластів. Розуміння дії фіброгенних молекулярних сигналів та клітинних механізмів загоєння у таких органах, як серце, шкіра, легені, печінка, нирки, є необхідним для вдосконалення діагностики та розробки антифібротичних методів терапії [14, 23, 42].

Порівняно з іншими органами, шкіра з об'єктивних причин найчастіше зазнає пошкоджень через вплив чинників різної природи: механічної, біологічної, хімічної. Загоєння шкірних ран розпочинається з тромбоцитарного гемостазу, запалення, реепітелізації, утворення грануляційної тканини, ангіогенезу та ремоделювання. Регенерація епідермісу активується вже за кілька годин після травми і залежить від численних сигналів і клітинних процесів як всередині епідермісу, так і в суміжних тканинах. У цьому процесі бере участь цілий ряд

клітинних рецепторів, цитокінів, факторів росту, матриксних металопротеїназ, а також міжклітинний матрикс [32]. Репаративна регенерація і загоєння ран шкіри є складним багатоступеневим процесом, що передбачає взаємодію між кератиноцитами, фібробластами, клітинами запалення, клітинами ендотелію. Ефективність регенерації залежить від контрольованості запальної реакції, характеру ангіогенезу та ремоделювання тканин [11]. Важливе значення відіграє також такий фактор регенерації, як інфламасоми – багатобілкові олігомерні комплекси, що активують процес запалення після пошкодження тканин, ефективно регулюють реакцію відновлення тканин, індукцію антимікробних пептидів та цитокінів [31].

Особливістю регенерації після інфаркту міокарда є потужна ангіогенна відповідь, ефективне відновлення васкуляризації, що обмежує гіпертрофовані кардіоміоцити та вираженість рубця завдяки зменшенню вироблення колагену. Експериментально доведено, що широкий діапазон сигнальних шляхів, зокрема модуляція внутрішньоклітинної концентрації Ca^{2+} через іонні канали, регулюють ангіогенез в інфарктному серці. Ще одним важливим механізмом відновлення серця після інфаркту міокарда є міжклітинна комунікація, у якій важливу роль відіграють позаклітинні везикули, що містять проангіогенні білки та некодувальні РНК, зокрема мікроРНК [13, 26, 43].

Аналіз клітинних механізмів репаративної регенерації тісно пов'язаний з експериментальними дослідженнями, спрямованими на пошук практичних методів оптимізації загоєння ран. Одним з таких перспективних напрямків є терапія стовбуровими клітинами. З цією метою пропонують використання клітин з різних джерел: кістковий мозок, жирова тканина, ендотеліальні клітини-попередники, дермальні плюрипотентні стовбурові клітини [5, 7, 11].

Мезенхімальні стовбурові клітини (МСК) отримали широке використання завдяки своїй регенеративній здатності та терапевтичному потенціалу. Вони виявлені біля основи волосяного фолікула, у дермальних шарах, у тканині гіподерми. МСК є важливим регулятором регенерації тканин шкіри: вони диференціюються в клітини шкіри, аутокринним та паракринним шляхом активують регенерацію й загоєння. Секретоми МСК забезпечують зміну запального фенотипу макрофагів, сприяють ангіогенезу, утворенню клітин, формуванню позаклітинного матрикса й грануляційних тканин, однак механізми цих процесів потребують поглибленого дослідження [15, 27, 29, 46].

Екзосоми є критичними паракринними медіаторами, які здатні індукувати регенеративні ефекти шляхом перенесення біоактивних молекул, таких як мікроРНК (міРНК). Тому перспективним є вивчення механізмів впливу екзосом з плазми пуповинної крові людини (UCB-Exos) на загоєння ран. У представлених у літературі дослідженнях UCB-Exos були виділені ультрацентрифугуванням та введені підшкірно в рани мишам. Ефективність впливу UCB-Exos на загоєння ран оцінювали на підставі гістологічного аналізу, імунофлуоресцентних досліджень і швидкості закриття ран. Трансплантація UCB-Exos у рани шкіри мишей помітно пришвидшила васкуляризацію, відновлення епітелію, зменшення ширини рубців. Вважають, що UCB-Exos може стимулювати ангіогенну активність ендотеліоцитів, сприяти розмноженню та міграції фібробластів і оптимізувати загоєння ран [18]. Перспективним є використання екзосом, отриманих із сироватки. За результатами досліджень, ексудат є модифікованою сироваткою з великою кількістю екзосом. Саме тому рановий ексудат має великий експериментальний і практичний потенціал у загоєнні ран за допомогою паракринної сигналізації. Доведено здатність екзосом сироватки посилювати фосфорилювання серин-треонінкінази в обпеченій тканині шкіри, що є важливо для активації клітинних сигналів під час загоєння ран [21].

Одним з вирішальних факторів активації ангіогенезу та регенерації тканин є базовий фактор росту фібробластів – bFGF. Цей чинник сприяє міграції фібробластів дерми й ендотеліоцитів, пов'язаних з формуванням матриксу в процесі репаративної регенерації, однак його використання у практиці обмежене через швидке розкладання у фізіологічних умовах. Перспективним шляхом практичного використання bFGF є наночастинки людського сироваткового альбуміну, завантажені факторами росту. У процесі регенерації такі наночастинки забезпечать стабільність і пролонговану дію, значно посилюють проліферацію та

міграцію дермальних фібробластів. Загоєння ран оптимізується, ангіогенез пришвидшується, позаклітинний матрикс стає високоорганізованим [36].

У літературі представлені результати гістологічної оцінки ефективності сироватки кролика в загоєнні ран шкіри. Через 2 доби після травми в групі, що отримувала сироватку кролика, спостерігали виражену інфільтрацію поліморфноядерних лейкоцитів з істотними відкладеннями фібрину, а через 7 діб після травми виявили виражену інфільтрацію мононуклеарними й поліморфоядерними лейкоцитами, відкладення фібрину, помірну фіброплазію. Через 14 діб після травми гістологічні дослідження показали ефективну епітелізацію та утворення колагенових волокон у дермі, на 21 добу після травми завершилась реепітелізація епідермісу. Позитивним фактом слід вважати також відсутність в дермі лейкоцитарної інфільтрації й ознак фіброплазії [24].

Ефективність перебігу репаративної регенерації й загоєння ран вагомим чином залежить від задоволення метаболічних потреб організму, які помітно зростають під час стресу. Недостатнє задоволення потреб організму в поживних речовинах здатне істотно загальмувати загоєння рани і навіть спричини їх хронізацію [3, 22, 40].

Висновки

Незважаючи на значний обсяг результатів експериментальних досліджень, клітинні механізми фундаментального процесу регенерації залишаються недостатньо вивченими. Поглиблений аналіз ролі фібробластів, клітин запалення, макрофагів, ендотеліоцитів, регенераторного потенціалу стовбурових клітин, характеристики місцевих та системних чинників контролю регенерації є актуальною темою експериментальної біології і практичної медицини. Причиною цього є невирішені остаточно потреби оптимізації й стимуляції процесів загоєння тканин, контролю регенерації, а також попередження розвитку надмірного фіброзу. Потребують вирішення питання, пов'язані з пошуком джерел стовбурових клітин, методами їх розмноження й диференціації.

1. Aitcheson S. M., Frentiu F. D., Hurn S. E., Edwards K., Murray R. Z. Skin wound healing: normal macrophage function and macrophage dysfunction in diabetic wounds. *Molecules.* 2021. Vol. 26, № 16. P. 4917. URL: https://doi.org/10.3390/molecules26164917.
2. Anders C. B., Lawton T. M. W., Ammons M. C. B. Metabolic immunomodulation of macrophage functional plasticity in nonhealing wounds. *Current Opinion in Infectious Diseases.* 2019. Vol. 32, № 3. P. 204–209. URL: https://doi.org/10.1097/QCO.0000000000000550.
3. Arribas-López E., Zand N., Ojo O., Snowden M. J., Kochhar T. The effect of amino acids on wound healing: a systematic review and meta-analysis on arginine and glutamine. *Nutrients.* 2021. Vol. 13, № 8. P. 2498. URL: https://doi.org/10.3390/nu13082498.
4. Bodnar R. J., Satish L., Yates C. C., Wells A. Pericytes: a newly recognized player in wound healing. *Wound Repair and Regeneration.* 2016. Vol. 24, № 2. P. 204–214. URL: https://doi.org/10.1111/wrr.12415.
5. Chang S. Y., Lee J. H., Oh S. C., Lee M. Y., Lim N. K. Human fibroblast growth factor-treated adipose-derived stem cells facilitate wound healing and revascularization in rats with diabetes mellitus. *Cells.* 2023. Vol. 12, № 8. P. 1146. URL: https://doi.org/10.3390/cells12081146.
6. Chapple I. L. C., Hirschfeld J., Kantarci A., Wilensky A., Shapira L. The role of the host-neutrophil biology. *Periodontology 2000.* 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/prd.12490.
7. Chen Y. C., Chuang E. Y., Tu Y. K., Hsu C. L., Cheng N. C. Human platelet lysate-cultured adipose-derived stem cell sheets promote angiogenesis and accelerate wound healing via CCL5 modulation. *Stem Cell Research & Therapy.* 2024. Vol. 15, № 1. P. 163. URL: https://doi.org/10.1186/s13287-024-03762-9.
8. Darby I. A., Zakuan N., Billet F., Desmoulière A. The myofibroblast, a key cell in normal and pathological tissue repair. *Cellular and Molecular Life Sciences.* 2016. Vol. 73, № 6. P. 1145–1157. URL: https://doi.org/10.1007/s00018-015-2110-0.
9. Eming S. A., Murray P. J., Pearce E. J. Metabolic orchestration of the wound healing response. *Cell Metabolism.* 2021. Vol. 33, № 9. P. 1726–1743. URL: https://doi.org/10.1016/j.cmet.2021.07.017.
10. Eming S. A., Wynn T. A., Martin P. Inflammation and metabolism in tissue repair and regeneration. *Science.* 2017. Vol. 356, № 6342. P. 1026–1030. URL: https://doi.org/10.1126/science.aam7928.
11. Farabi B., Roster K., Hirani R., Tepper K., Atak M. F., Safai B. The efficacy of stem cells in wound healing: a systematic review. *International Journal of Molecular Sciences.* 2024. Vol. 25, № 5. P. 3006. URL: https://doi.org/10.3390/ijms25053006.

12. Fetz A. E., Radic M. Z., Bowlin G. L. Neutrophils in biomaterial-guided tissue regeneration: matrix reprogramming for angiogenesis. *Tissue Engineering Part B: Reviews.* 2021. Vol. 27, № 2. P. 95–106. URL: https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2020.0028.
13. Fiorino E., Rossin D., Vanni R., Aubry M., Giachino C., Rastaldo R. Recent insights into endogenous mammalian cardiac regeneration post-myocardial infarction. *International Journal of Molecular Sciences.* 2024. Vol. 25, № 21. P. 11747. URL: https://doi.org/10.3390/ijms252111747.
14. Frangogiannis N. G. Cardiac fibrosis: cell biological mechanisms, molecular pathways and therapeutic opportunities. *Molecular Aspects of Medicine.* 2019. Vol. 65. P. 70–99. URL: https://doi.org/10.1016/j.mam.2018.07.001.
15. Guillamat-Prats R. The role of MSC in wound healing, scarring and regeneration. *Cells.* 2021. Vol. 10, № 7. P. 1729. URL: https://doi.org/10.3390/cells10071729.
16. Hinz B. Myofibroblasts. *Experimental Eye Research.* 2016. Vol. 142. P. 56–70. URL: https://doi.org/10.1016/j.exer.2015.07.009.
17. Hinz B. The role of myofibroblasts in wound healing. *Current Research in Translational Medicine.* 2016. Vol. 64, № 4. P. 171–177. URL: https://doi.org/10.1016/j.retram.2016.09.003.
18. Hu Y., Rao S. S., Wang Z. X., Cao J., Tan Y. J., Luo J., Li H. M., Zhang W. S., Chen C. Y., Xie H. Exosomes from human umbilical cord blood accelerate cutaneous wound healing through miR-21-3p-mediated promotion of angiogenesis and fibroblast function. *Theranostics.* 2018. Vol. 8, № 1. P. 169–184. URL: https://doi.org/10.7150/thno.21234.
19. Knoedler S., Broichhausen S., Guo R., Dai R., Knoedler L., Kauke-Navarro M., Diatta F., Pomahac B., Machens H. G., Jiang D., Rinkevich Y. Fibroblasts – the cellular choreographers of wound healing. *Frontiers in Immunology.* 2023. Vol. 14. P. 1233800. URL: https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1233800.
20. Lebonvallet N., Laverdet B., Misery L., Desmoulière A., Girard D. New insights into the roles of myofibroblasts and innervation during skin healing and innovative therapies to improve scar innervation. *Experimental Dermatology.* 2018. Vol. 27, № 9. P. 950–958. URL: https://doi.org/10.1111/exd.13681.
21. Li Y., Yu Y., Xie Z., Ye X., Liu X., Xu B., Mao J. Serum-derived exosomes accelerate scald wound healing in mice by optimizing cellular functions and promoting Akt phosphorylation. *Biotechnology Letters.* 2021. Vol. 43, № 8. P. 1675–1684. URL: https://doi.org/10.1007/s10529-021-03148-4.
22. Liu P., Shen W. Q., Chen H. L. Efficacy of arginine-enriched enteral formulas for the healing of pressure ulcers: a systematic review. *Journal of Wound Care.* 2017. Vol. 26, № 6. P. 319–323. URL: https://doi.org/10.12968/jowc.2017.26.6.319.
23. Lurje I., Gaisa N. T., Weiskirchen R., Tacke F. Mechanisms of organ fibrosis: emerging concepts and implications for novel treatment strategies. *Molecular Aspects of Medicine.* 2023. Vol. 92. P. 101191. URL: https://doi.org/10.1016/j.mam.2023.101191.
24. Majeed A. A., Abood D. A. Histological assessment of the efficiency of rabbit serum in healing skin wounds. *Veterinary World.* 2019. Vol. 12, № 10. P. 1650–1656. URL: https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.1650-1656.
25. Marconi G. D., Fonticoli L., Rajan T. S., Pierdomenico S. D., Trubiani O., Pizzicannella J., Diomede F. Epithelial-mesenchymal transition (EMT): the type-2 EMT in wound healing, tissue regeneration and organ fibrosis. *Cells.* 2021. Vol. 10, № 7. P. 1587. URL: https://doi.org/10.3390/cells10071587.
26. Martín-Bórnez M., Falcón D., Morrugares R., Siegfried G., Khatib A. M., Rosado J. A., Galeano-Otero I., Smani T. New insights into the reparative angiogenesis after myocardial infarction. *International Journal of Molecular Sciences.* 2023. Vol. 24, № 15. P. 12298. URL: https://doi.org/10.3390/ijms241512298.
27. Mazini L., Rochette L., Admou B., Amal S., Malka G. Hopes and limits of adipose-derived stem cells (ADSCs) and mesenchymal stem cells (MSCs) in wound healing. *International Journal of Molecular Sciences.* 2020. Vol. 21, № 4. P. 1306. URL: https://doi.org/10.3390/ijms21041306.
28. Morikawa S., Iribar H., Gutiérrez-Rivera A., Ezaki T., Izeta A. Pericytes in cutaneous wound healing. *Advances in Experimental Medicine and Biology.* 2019. Vol. 1147. P. 1–63. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16908-4_1.
29. Nourian Dehkordi A., Mirahmadi Babaheydari F., Chehelgerdi M., Raeisi Dehkordi S. Skin tissue engineering: wound healing based on stem-cell-based therapeutic strategies. *Stem Cell Research & Therapy.* 2019. Vol. 10, № 1. P. 111. URL: https://doi.org/10.1186/s13287-019-1212-2.
30. Pakshir P., Hinz B. The big five in fibrosis: macrophages, myofibroblasts, matrix, mechanics, and miscommunication. *Matrix Biology.* 2018. Vol. 68–69. P. 81–93. URL: https://doi.org/10.1016/j.matbio.2018.01.019.
31. Rathinam V. A. K., Chan F. K. Inflammasome, inflammation, and tissue homeostasis. *Trends in Molecular Medicine.* 2018. Vol. 24, № 3. P. 304–318. URL: https://doi.org/10.1016/j.molmed.2018.01.004.
32. Rousselle P., Montmasson M., Garnier C. Extracellular matrix contribution to skin wound re-epithelialization. *Matrix Biology.* 2019. Vol. 75–76. P. 12–26. URL: https://doi.org/10.1016/j.matbio.2018.01.002.

33. Sarrazy V., Billet F., Micallef L., Coulomb B., Desmoulière A. Mechanisms of pathological scarring: role of myofibroblasts and current developments. *Wound Repair and Regeneration.* 2011. Vol. 19, № 1. P. S10–S15. URL: https://doi.org/10.1111/j.1524-475X.2011.00708.x.
34. Schlundt C., Fischer H., Bucher C. H., Rendenbach C., Duda G. N., Schmidt-Bleek K. The multifaceted roles of macrophages in bone regeneration: a story of polarization, activation and time. *Acta Biomaterialia.* 2021. Vol. 133. P. 46–57. URL: https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.04.052.
35. Schuster R., Younesi F., Ezzo M., Hinz B. The role of myofibroblasts in physiological and pathological tissue repair. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2023. Vol. 15, № 1. P. a041231. URL: https://doi.org/10.1101/cshperspect.a041231.
36. Son B., Kim M., Won H., Jung A., Kim J., Koo Y., Lee N. K., Baek S. H., Han U., Park C. G., Shin H., Gweon B., Joo J., Park H. H. Secured delivery of basic fibroblast growth factor using human serum albumin-based protein nanoparticles for enhanced wound healing and regeneration. *Journal of Nanobiotechnology*. 2023. Vol. 21, № 1. P. 310. URL: https://doi.org/10.1186/s12951-023-02053-4.
37. Sotnichenko A. S., Gilevich I. V., Melkonyan K. I., Yutskevich Y. A., Rusinova T. V., Karakulev A. V., Bogdanov S. B., Aladina V. A., Belich Y. A., Gumenyuk S. E., Ushmarov D. I., Bykov I. M., Redko A. N., Porhanov V. A., Alekseenko S. N. Comparative morphological characteristics of the results of implantation of decellularized and recellularized porcine skin scaffolds. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2021. Vol. 170, № 3. P. 378–383. URL: https://doi.org/10.1007/s10517-021-05071-0.
38. Sousa A. B., Barbosa J. N. The role of neutrophils in biomaterial-based tissue repair: shifting paradigms. *Journal of Functional Biomaterials*. 2023. Vol. 14, № 6. P. 327. URL: https://doi.org/10.3390/jfb14060327.
39. Talbott H. E., Mascharak S., Griffin M., Wan D. C., Longaker M. T. Wound healing, fibroblast heterogeneity, and fibrosis. *Cell Stem Cell*. 2022. Vol. 29, № 8. P. 1161–1180. URL: https://doi.org/10.1016/j.stem.2022.07.006.
40. Torsy T., Tency I., Beeckman D., Isoherranen K., Litchford M., De Vylder F. The role of glutamine and arginine in wound healing of pressure ulcers: a systematic review. *Wound Repair and Regeneration*. 2025. Vol. 33, № 4. P. e70077. URL: https://doi.org/10.1111/wrr.70077.
41. Waugh H. V., Sherratt J. A. Macrophage dynamics in diabetic wound healing. *Bulletin of Mathematical Biology*. 2006. Vol. 68, № 1. P. 197–207. URL: https://doi.org/10.1007/s11538-005-9022-3.
42. Weiskirchen R., Weiskirchen S., Tacke F. Organ and tissue fibrosis: molecular signals, cellular mechanisms and translational implications. *Molecular Aspects of Medicine*. 2019. Vol. 65. P. 2–15. URL: https://doi.org/10.1016/j.mam.2018.06.003.
43. Wu X., Reboll M. R., Korf-Klingebiel M., Wollert K. C. Angiogenesis after acute myocardial infarction. *Cardiovascular Research*. 2021. Vol. 117, № 5. P. 1257–1273. URL: https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa287.
44. Xu Z., Zhou T., Wang Y., Zhu L., Tu J., Xu Z., Li L., Li Y. Integrated PPI- and WGCNA-retrieval of hub gene signatures for soft substrates inhibition of human fibroblasts proliferation and differentiation. Aging (Albany NY). 2022. Vol. 14, № 17. P. 6957–6974. URL: https://doi.org/10.18632/aging.204258.
45. Xue M., Zhao R., March L., Jackson C. Dermal fibroblast heterogeneity and its contribution to the skin repair and regeneration. Advances in Wound Care (New Rochelle). 2022. Vol. 11, № 2. P. 87–107. URL: https://doi.org/10.1089/wound.2020.1287.
46. Zhang B., Wu Y., Mori M., Yoshimura K. Adipose-derived stem cell conditioned medium and wound healing: a systematic review. Tissue Engineering Part B: Reviews. 2022. Vol. 28, № 4. P. 830–847. URL: https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2021.0100.
47. Zhao M., Wang L., Wang M., Zhou S., Lu Y., Cui H., Racanelli A. C., Zhang L., Ye T., Ding B., Zhang B., Yang J., Yao Y. Targeting fibrosis, mechanisms and clinical trials. Signal Transduction and Targeted Therapy. 2022. Vol. 7, № 1. P. 206. URL: https://doi.org/10.1038/s41392-022-01070-3.

[1]O. S. Voloshyn, [2]V. D. Voloshyn, [1]H. B. Humeniuk
[1]Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine
[2]I. Horbachevsky Ternopil National Medical University of Ministry of Health of Ukraine, Ukraine

CURRENT DIRECTIONS OF RESEARCH INTO CELLULAR MECHANISMS OF REPAIRATIVE REGENERATION

Tissues of the body can be damaged by a wide range of environmental factors, including injuries of various origins, infectious diseases, radiation exposure, and dystrophic, destructive, and atrophic changes. The high frequency of tissue structure disruption has led to a significant increase in research activity concerning the mechanisms and processes of reparative regeneration. This research aims to develop modern, practical approaches to optimising healing.

The present article offers an analysis of extant scholarly sources concerning contemporary aspects of the study of cellular mechanisms of reparative regeneration and possible methods of stimulating healing processes. A systematic review of contemporary scientific literature from scientometric databases and scientific search engines, including PubMed, Medscape, and Google Scholar, was conducted.

The primary theoretical and experimental studies of cellular mechanisms of reparative regeneration focus on the roles of fibroblasts, myofibroblasts, macrophages, neutrophils, lymphocytes, keratinocytes, and other cells. The functions of macrophages in pathogen clearance, removal of dead cells, and release of factors regulating the activity of fibroblasts, endothelial cells, and keratinocytes have been established, although further investigation is required to elucidate the specific features of different macrophage phenotypes. Fibroblasts have been shown to play an exceptional role in reparative regeneration, with evidence indicating their ability to activate cells of innate immunity. Collectively with myofibroblasts, they constitute the central link in tissue remodelling within the wound area, thus contributing to wound closure.

Further research is required into the mechanisms of differentiation and functioning of myofibroblasts, as well as the regulation of their apoptosis. This is of crucial importance, since excessive activation of these cells contributes to the development of fibrotic pathologies in various organs.

Furthermore, the role of neutrophils in reparative regeneration is significant due to their key involvement in inflammation. Research has demonstrated that neutrophils possess the capacity for sophisticated intercellular interactions, and their activation has been shown to significantly extend their lifespan and functional role in the healing process.

A more in-depth examination of the cellular mechanisms underpinning regeneration is intrinsically linked to the substantiation of stem cell-based therapeutic interventions. A mounting body of research is exploring the potential of utilising both stem cells and their associated exosome products.

The present state of research in the domain of cellular mechanisms of reparative regeneration is indicative of two prevailing trends. Firstly, there is a strong connection to the ongoing need for objective monitoring of tissue recovery. Secondly, there is a need to develop effective methods to stimulate reparative processes. A detailed investigation of the regenerative potential of stem cells, fibroblasts, inflammatory cells, macrophages, and endothelial cells, along with the molecular mechanisms of intercellular interactions in tissue repair, remains highly promising.

Key words: reparative regeneration, cellular mechanisms, wound healing, inflammatory cells, fibroblasts, fibrosis.

Надійшла 02.09.2025.

УДК 582.923.1:581.9:615.322 doi: 10.25128/2078-2357.25.3.7

Є. Я. КРАВЧЕНЮК, О. В. СОРОКА, М. З. ПРОКОП’ЯК, Л. Р. ГРИЦАК, Н. М. ДРОБИК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: drobyk.n@gmail.com

ВИДИ РОДУ *CENTAURIUM* HILL. У ФЛОРІ УКРАЇНИ: ПОШИРЕННЯ, БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ, ВИКОРИСТАННЯ

У статті узагальнено та проаналізовано сучасні наукові дані щодо видів роду *Centaurium* Hill. (родина *Gentianaceae* Juss.), поширених у флорі України. Розглянуто видовий склад роду, особливості поширення та екологічної приуроченості основних представників.

Проаналізовано хімічний склад видів роду *Centaurium* з урахуванням органоспецифічності накопичення біологічно активних речовин (БАР). Встановлено, що

провідну роль у рослинах цих видів відіграють секоіридоїдні глікозиди, флавоноїди, ксантонові похідні, фенольні кислоти та тритерпеноїди тощо, які зумовлюють широкий спектр біологічної активності. Досліджено диференціацію накопичення цих сполук між надземними та підземними органами рослин, що має важливе значення для вибору лікарської сировини та оптимізації методів її заготівлі. Охарактеризовано основні фармакологічні властивості сполук, зокрема протизапальну, антиоксидантну, жовчогінну, антимікробну та гепатопротекторну дію. Висвітлено напрями використання золототисячника в офіційній та народній медицині, а також його роль у складі комбінованих фітопрепаратів.

Ключові слова: види роду Centaurium Hill*., лікарські рослини, біологічно активні речовини, секоіридоїдні глікозиди, фармакологічна активність.*

За умов постійного посилення антропогенного впливу на навколишнє середовище, зокрема на природні рослинні угруповання, особливої актуальності набувають дослідження гірських, лучних і лісових фітоценозів, оскільки саме ці типи рослинності зазнають найбільш інтенсивного впливу людської діяльності. Рід *Centaurium* Hill (родина *Gentianaceae* Juss.) об'єднує трав'янисті однорічні та дворічні рослини, поширені переважно в помірних і субтропічних регіонах Північної півкулі. Представники цього роду здавна привертають увагу дослідників завдяки поєднанню широкого ареалу, екологічної пластичності та вираженої біологічної активності, що визначає їх фармакологічну цінність.

У флорі України види роду *Centaurium* є складовими лучних, узлісних і прибережних фітоценозів, однак їх видовий склад, особливості поширення та сучасний таксономічний статус залишаються недостатньо узагальненими. Це пов'язано з тривалими таксономічними ревізіями роду, фрагментарністю флористичних даних, а також з неоднаковим трактуванням окремих таксонів у національних і міжнародних системах класифікації [2, 5].

Актуальність дослідження видів роду *Centaurium* зумовлена необхідністю комплексного аналізу поширення у флорі України в поєднанні з оцінкою їх біологічної активності та напрямів використання. Зростання інтересу до лікарських рослин природного походження, посилення антропогенного навантаження на природні екосистеми, а також потреба у науково обґрунтованому збереженні та раціональному використанні рослинних ресурсів підвищують значущість таких досліджень. Крім того, узагальнення наявних даних має важливе значення для подальших фармакогностичних, екологічних і природоохоронних досліджень.

Метою статті є узагальнення та аналіз наукових даних щодо поширення видів роду *Centaurium* у флорі України, їх біологічної активності та основних напрямів використання, що сприятиме поглибленню уявлень про роль цього роду в природних екосистемах і практичній діяльності людини.

Рід *Centaurium* належить до родини *Gentianaceae* (Тирличеві), яка є однією з таксономічно та екологічно значущих груп покритонасінних рослин. За сучасними даними, у світовій флорі вона об'єднує близько 80–100 родів і понад 1000–1800 видів, поширених майже на всіх континентах, за винятком Антарктиди. Таке широке географічне розповсюдження свідчить про давнє походження родини та її формування ще в період існування єдиного материка [21].

Представники *Gentianaceae* характеризуються значною морфологічною різноманітністю. У помірних широтах і гірських регіонах домінують багаторічні, рідше однорічні трав'янисті рослини, тоді як у субтропіках і тропіках родина представлена також кущами, ліанами та невеликими деревами заввишки до 5 м. Для тирличевих характерна наявність кореневищ різної форми – м'ясистих, вертикальних або веретеноподібних, які часто слугують органами запасання поживних речовин. Стебла можуть бути прямостоячими або вкороченими, іноді дихотомічно розгалуженими. Листки прості, супротивні, широкоеліптичні або лінійно-ланцетні; прикореневі листки часто утворюють розетку.

Квітки тирличевих двостатеві, розміщені на верхівках пагонів поодиноко або зібрані у верхівкові суцвіття різного типу; рідше трапляються бічні, симподіально розгалужені суцвіття. Віночок квітки зазвичай трубчастий, лійкоподібний або колесоподібний, із широкою гамою забарвлення – від білого і жовтого до синього, фіолетового та рожевого, що зумовлює високу декоративність багатьох видів [3, 4].

Види родини *Gentianaceae* зростають у різноманітних екологічних умовах – на луках, болотах, уздовж берегів річок і водойм, однак найбільшого різноманіття досягають у гірських фітоценозах. У флорі України родина вважається відносно малочисельною і представлена 24 видами з 6 родів, при цьому в Українських Карпатах зосереджена переважна їх частина – близько 20 видів, що належать до 4 родів [2, 5].

За даними флористичних досліджень, у межах України достовірно підтверджено зростання чотирьох видів роду *Centaurium*, а саме: золототисячник звичайний *(Centaurium erythraea* Rafn), золототисячник прибережний *(Centaurium littorale* (Turner) Gilmour), золототисячник гарненький *(Centaurium pulchellum* (Sw.) Druce) та золототисячник тонкоцвітий *(Centaurium tenuiflorum* (Hoffmanns. & Link) Fritsch) (рис. 1). Розбіжності щодо кількості таксонів у різних джерелах пов'язані з таксономічною інтерпретацією підвидів, синонімікою та сучасними ревізіями роду, які призвели до відокремлення частини видів у суміжні роди.

а

б

в

г

Рис. 1. Види роду *Centaurium* Hill, поширені на території України: а – золототисячник звичайний, б – золототисячник прибережний, в – золототисячник гарненький, г – золототисячник тонкоцвітий [6–9].

Найбільш поширеним видом на території України є *C. erythraea* – його ареал охоплює майже всю територію країни, зокрема Полісся, Лісостеп, Карпатський регіон та окремі ділянки Степу. Вид трапляється на суходільних та заплавних луках, лісових галявинах, узліссях, серед чагарників, уздовж доріг, на схилах різної експозиції. *C. erythraea* характеризується широкою екологічною амплітудою та здатністю пристосовуватися до різних типів ґрунтів за умови достатнього освітлення.

C. pulchellum має менш суцільний ареал і поширений переважно у західних, центральних та південних регіонах України. Вид поширений у вологих або помірно зволожених луках, заболочених ділянках, на берегах водойм. Його популяції зазвичай мають мозаїчний характер і відзначаються значною мінливістю чисельності залежно від гідрологічного режиму території.

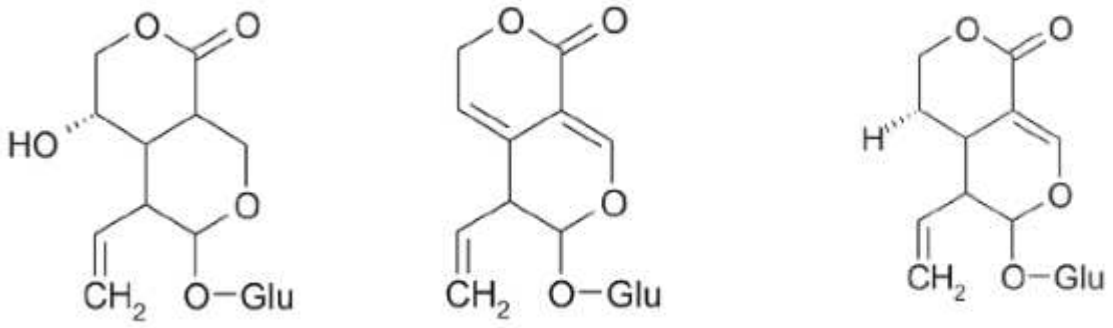
C. littorale є більш спеціалізованим видом, поширення якого в Україні обмежене переважно приморськими районами та солонцюватими або слабкозасоленими ґрунтами. Окремі локалітети цього виду зафіксовані в прибережних зонах Чорного та Азовського морів, а також у пониззях великих річок.

C. tenuiflorum характеризується обмеженим поширенням. В Україні він відомий з окремих локалітетів у степовій та лісостеповій зонах, де зростає на сухіших відкритих ділянках,

піщаних або супіщаних ґрунтах. Невисока чисельність популяцій і вузька екологічна поширеність зумовлюють підвищену вразливість цього виду [23, 26, 27].

Види роду *Centaurium* належать до групи фітогенно цінних, що зумовлює наявність у них широкого спектру біологічно активних речовин (БАР). Локалізація та кількісний склад БАР варіюють залежно від виду, фази онтогенезу та органу рослини. Основними групами сполук є іридоїдні та секоіридоїдні глікозиди, ксантонові похідні, флавоноїди, фенольні кислоти, тритерпеноїди, алкалоїди та ефірні компоненти. Акумуляція цих речовин має чітку органоспецифічність [1, 11, 13, 14, 17, 22, 28, 30, 35, 38].

Надземна частина видів *C. erythraea*, *C. pulchellum*, *C. littorale* є основною сировиною для фітохімічних та фармакологічних досліджень. Домінуючими компонентами є секоіридоїдні глікозиди, які зумовлюють характерний гіркий смак рослин. Серед них найчастіше ідентифікують свертіамарин, генціопікрозид, сверозид (рис. 2) [25, 38].



а б в

Рис. 2. Секоіридоїдні глікозиди видів роду *Centaurium*: а – свертіамарин, б – генціопікрозид, в – сверозид [18].

Секоіридоїдні глікозиди проявляють широкий спектр фармакологічної активності. Насамперед вони відомі своєю стимулюючою дією на травну систему, що реалізується через подразнення смакових рецепторів та рефлекторне підвищення секреції шлункового соку, жовчі та травних ферментів. Ця властивість зумовлює застосування рослин роду *Centaurium* як жовчогінних засобів [15, 16, 24].

Важливою властивістю також є протизапальна активність, яка пов’язана з інгібуванням синтезу прозапальних медіаторів, зокрема простагландинів та цитокінів. Дослідження свідчать, що сверціамарин і сверозид здатні знижувати активність циклооксигеназного та ліпооксигеназного шляхів метаболізму арахідонової кислоти, що зумовлює зменшення запальної відповіді.

Крім того, іридоїдні глікозиди проявляють антиоксидантні властивості, які реалізуються шляхом нейтралізації активних форм кисню та підвищення активності ендогенних антиоксидантних ферментів.

Для окремих представників іридоїдних глікозидів описано також гепатопротекторну, антимікробну та помірну імуномодулюючу дію, що значно розширює перспективи використання видів роду *Centaurium* у фармакології та медицині.

Значну частку становлять ксантонові похідні, зокрема еритроцентаурин, диметоксиксантон, мангіферин та його глікозиди, які локалізуються переважно у листках і суцвіттях. Ці сполуки проявляють виражені антиоксидантні та протизапальні властивості [37].

Флавоноїдний комплекс представлений апігеніном, лютеоліном, кверцетином, кемпферолом та їх глікозидами, що відіграють роль у фотозахисті та антиоксидантному захисті рослинного організму. Також у надземних органах виявлено фенольні кислоти (хлорогенова, ферулова), дубильні речовини та незначну кількість алкалоїдів [1, 17].

Підземні органи (корені та прикоренева частина стебла) видів роду *Centaurium* досліджені значно меншою мірою, проте наявні дані свідчать про їх важливу роль у накопиченні вторинних метаболітів. У коренях виявлено підвищений вміст іридоїдних глікозидів, зокрема сверозиду та генціопікрозиду, концентрація яких може перевищувати

аналогічні показники у надземній масі. Крім того, у підземних органах ідентифіковано тритерпенові сполуки (урсолову та олеанолову кислоти), стероїдні фітостерини (β-ситостерол, стигмастерол), а також фенольні кислоти, що зумовлюють протизапальну та мембраностабілізуючу активність екстрактів коренів [17, 29, 32].

Види роду *Centaurium* здавна використовуються у медицині завдяки високому вмісту перелічених БАР. На сучасному етапі ці рослини знайшли широке застосування як у традиційній, так і в офіційній медицині, що підтверджується включенням сировини золототисячника до фармакопей багатьох європейських країн.

У фармацевтичній практиці використовують переважно траву золототисячника, яку заготовляють у фазі цвітіння. Сировина входить до складу жовчогінних, травних та гастропротекторних лікарських засобів, дія яких зумовлена високою концентрацією гірких секоіридоїдних глікозидів. Ці сполуки стимулюють секрецію шлункового соку, посилюють жовчовиділення та покращують моторну функцію травного тракту [31, 33].

Золототисячник використовують у складі фітопрепаратів для лікування захворювань сечовидільної системи. Завдяки протизапальним, антимікробним та слабким діуретичним властивостям екстракти *Centaurium* входять до комбінованих препаратів, що застосовують при циститах, пієлонефритах та сечокам'яній хворобі. Прикладом таких препаратів є Канефрон® Н, Тринефрон-Здоров'я (рис. 3) [20, 34, 36].

Рис. 3. Лікарські засоби для нормалізації функцій сечостатевої системи на основі видів золототисячника [10, 12].

Окрім цього, препарати на основі золототисячника застосовують при гіпоацидних гастритах, диспепсичних розладах, анорексії, порушеннях функції печінки та жовчного міхура, а також у комплексній терапії захворювань шлунково-кишкового тракту [19].

Висновки

У результаті проведеного аналізу наукових джерел встановлено, що види роду *Centaurium* займають важливе місце у флорі України та характеризуються специфічними особливостями поширення, зумовленими екологічними умовами та антропогенним впливом. Види роду є цінним джерелом БАР, серед яких провідне місце належить секоіридоїдним глікозидам, флавоноїдам, фенольним кислотам та алкалоїдам.

Практичне значення золототисячника підтверджується включенням до складу офіційних лікарських препаратів і фітозасобів. Зважаючи на це, види роду *Centaurium* є перспективними об'єктами для подальших комплексних досліджень, спрямованих на поглиблене вивчення їх екології, хімічного складу, фармакологічних властивостей та можливостей раціонального використання і збереження у природних умовах.

1. Будняк Л. І., Марчишин С. М., Слободянюк Л. В., Ярошенко Т. Я. Дослідження флавоноїдів у витяжках із трави золототисячника звичайного. *Медична та клінічна хімія.* 2024. Т. 26, № 3. С. 85–89. URL: https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681x.2024.i3.14931.
2. Буняк В. І., Гнєзділова В. І. Представники родини *Gentianaceae* L. у флорі вододільного хребта Українських Карпат. *ScienceRise*. 2015. № 11 (6). С. 30–33.
3. Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Особливості адаптивних стратегій видів роду *Gentiana* L. в умовах високогір'я Українських Карпат. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного*

університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 2020. Т. 79, № 1–2. С. 91–102. URL: https://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.13.

4. Грицак Л. Р., Кияк В. Г. Бойко Д. А., Дробик Н. М. Трансформація первинних стратегій видів роду *Gentiana* L. у високогір'ї Українських Карпат. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія «Біологія»*. 2024. Т. 84, № 3–4. С. 55–67. URL: https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.3-4.7.
5. Грицик А. Р. Фармакогностичне дослідження рослин родин тирличеві і гречкові як перспективних джерел лікувальних і профілактичних засобів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра фармац. наук. Київ, 2008. 46 с.
6. Золототисячник гарненький. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Золототисячник_гарненький (дата звернення: 03.09.2025).
7. Золототисячник звичайний. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Золототисячник_звичайний (дата звернення: 24.11.2025).
8. Золототисячник прибережний. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Золототисячник_прибережний (дата звернення: 03.09.2025).
9. Золототисячник тонкоцвітий. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Золототисячник_тонкоцвітий (дата звернення: 03.09.2025).
10. Канефрон Н таблетки. URL: https://surl.li/zmecya (дата звернення: 03.09.2025).
11. Марчишин С. М., Стойко Л. І., Покотило О. О. Дослідження хімічного складу деяких рослин родини *Gentianaceae*. *Медична та клінічна хімія*. 2017. Т. 19, № 3. С. 23–28. URL: https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681x.2017.v0.i3.8192.
12. Тринефрон-Здоров'я капсули. URL: https://apteka911.ua/ua/drugs/trinefron-d2890 (дата звернення: 03.09.2025).
13. Aberham A., Pieri V., Croom E. M., Ellmerer E., Stuppner H. Analysis of iridoids, secoiridoids and xanthones in *Centaurium erythraea*, *Frasera caroliniensis* and *Gentiana lutea* using LC–MS and RP-HPLC. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2011. Vol. 54, no. 3. P. 517–525. URL: https://doi.org/10.1016/j.jpba.2010.09.030.
14. Bouyahya A., Belmehdi O., Jemli M. E., Marmouzi I., Bourais I., Abrini J., Faouzi M. E. A., Dakka N., Bakri Y. Chemical variability of *Centaurium erythraea* essential oils at three developmental stages and investigation of their *in vitro* antioxidant, antidiabetic, dermatoprotective and antibacterial activities. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 132. P. 111–117. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.042.
15. Brys R., Jacquemyn H. Variation in the functioning of autonomous self-pollination, pollinator services and floral traits in three *Centaurium* species. *Annals of Botany*. 2011. Vol. 107, no. 6. P. 917–925. URL: https://doi.org/10.1093/aob/mcr032.
16. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Klepach P. Investigation of the infuence of the thick extract of common centaury (*Centaurium erythraea* Rafn.) herb on the secretory function of the stomach. *Pharmacologyonline*. 2021. Vol. 2. P. 352–360.
17. Drobyk N. M., Mel'nyk V. M., Twardovska M. O., Konvalyuk I. I., Kunakh V. A. Tissue and Organ Cultures of Gentians as Potential Sources of Xanthones and Flavonoids. *The Gentianaceae – Volume 2: Biotechnology and Applications.* Berlin, Heidelberg, 2015. P. 307–317. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-54102-5_13.
18. Gubar S. M., Materiienko A. S., Smielova N. M., Budanova L. G., Georgiyants V. A. Development of a New Approach for Standardization of the Herb *Centaurium erythraea* Rafn. by High Performance Liquid Chromatography. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020. Vol. 17, no. 6. P. 593–598. URL: https://doi.org/10.4274/tjps.galenos.2019.71542.
19. Guedes L., Reis P. B. P. S., Machuqueiro M., Ressaissi A., Pacheco R., Serralheiro M. L. Bioactivities of *Centaurium erythraea* (*Gentianaceae*) Decoctions: Antioxidant Activity, Enzyme Inhibition and Docking Studies. *Molecules*. 2019. Vol. 24, no. 20. P. 3795. URL: https://doi.org/10.3390/molecules24203795.
20. Haloui M., Louedec L., Michel J.-B., Lyoussi B. Experimental diuretic effects of *Rosmarinus officinalis* and *Centaurium erythraea*. *Journal of Ethnopharmacology*. 2000. Vol. 71, no. 3. P. 465–472. URL: https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00184-7.
21. Jakubska-Busse A., Wysocki A., Domagała P. J., Brudzińska-Kosior A., Sporek M., Kosior G. Expanding the boundaries in the face of global warming: A lesson from genetic and ecological niche studies of *Centaurium erythraea* in Europe. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 953. P. 176134. URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176134.
22. Jerković I., Gašo-Sokač D., Pavlović H., Marijanović Z., Gugić M., Petrović I., Kovač S. Volatile Organic Compounds from *Centaurium erythraea* Rafn (Croatia) and the Antimicrobial Potential of Its Essential Oil. *Molecules*. 2012. Vol. 17, no. 2. P. 2058–2072. URL: https://doi.org/10.3390/molecules17022058.

23. Jiménez-Lobato V., Escudero M., Lifante Z. D., Camacho C. A., de Castro A., Mansion G., Zeltner L., Arroyo J. Evolution of reproductive traits and selfing syndrome in the sub-endemic Mediterranean genus *Centaurium* Hill (*Gentianaceae*). *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2019. Vol. 191, no. 2. P. 216–235. URL: https://doi.org/10.1093/botlinnean/boz036.
24. Kumarasamy Y., Nahar L., Cox P. J., Jaspars M., Sarker S. D. Bioactivity of secoiridoid glycosides from *Centaurium erythraea*. *Phytomedicine*. 2003. Vol. 10, no. 4. P. 344–347. URL: https://doi.org/10.1078/094471103322004857.
25. Kumarasamy Y., Nahar L., Sarker S. D. Bioactivity of gentiopicroside from the aerial parts of *Centaurium erythraea*. *Fitoterapia*. 2003. Vol. 74, no. 1-2. P. 151–154. URL: https://doi.org/10.1016/s0367-326x(02)00319-2.
26. Mansion G. A new classification of the polyphyletic genus *Centaurium* Hill. (*Chironiinae, Gentianaceae*): description of the New World endemic Zeltnera, and reinstatement of Gyrandra Griseb. And Schenkia Griseb. *TAXON*. 2004. Vol. 53, no. 3. P. 719–740. URL: https://doi.org/10.2307/4135447.
27. Mansion G., Zeltner L., Bretagnolle F. Phylogenetic patterns and polyploid evolution within the Mediterranean genus *Centaurium* (*Gentianaceae – Chironieae*). *TAXON*. 2005. Vol. 54, no. 4. P. 931–950. URL: https://doi.org/10.2307/25065479.
28. Menyiy N. El, Guaouguaou F.-E., Baaboua A. El, Omari N. El, Taha D., Salhi N., Shariati M. A., Aanniz T., Benali T., Zengin G., El Shazly M., Chamkhi I., Bouyahya A. Phytochemical properties, biological activities and medicinal use of *Centaurium erythraea* Rafn. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021. Vol. 276. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114171.
29. Merghem M., Dahamna S. Antioxidant Activity of *Centaurium erythraea* Extracts. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 2020. Vol. 10, no. 2. P. 171–174. URL: https://doi.org/10.22270/jddt.v10i2.3935.
30. Mosula M. Z., Mayorova O. Yu., Hrytsak L. R., Mel'nyk V. M., Drobyk N. M., Kunakh V. A. Ecological and genetic analysis of *Gentiana lutea* L. populations from Ukrainian Carpatians. *Ecology and noospherology*. 2014. Vol. 25, № 3–4. P. 5–13. Doi: https://doi.org/10.15421/031415.
31. Mroueh M., Saab Y., Rizkallah R. Hepatoprotective activity of *Centaurium erythraea* on acetaminophen-induced hepatotoxicity in rats. *Phytotherapy Research*. 2004. Vol. 18, no. 5. P. 431–433. URL: https://doi.org/10.1002/ptr.1498.
32. Sefi M., Fetoui H., Lachkar N., Tahraoui A., Lyoussi B., Boudawara T., Zeghal N. *Centaurium erythrea* (*Gentianaceae*) leaf extract alleviates streptozotocin-induced oxidative stress and β-cell damage in rat pancreas. *Journal of Ethnopharmacology*. 2011. Vol. 135, no 2. P. 243–250. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.02.029.
33. Šiler B., Mišić D. Biologically Active Compounds from the Genus *Centaurium* s.l. (*Gentianaceae*). *Studies in Natural Products Chemistry*. 2016. P. 363–397. URL: https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63601-0.00011-9.
34. Šilera B., Mišića D., Nestorovića J., Banjanaca T., Glamočlija J., Sokovića M., Ćirić A. Antibacterial and Antifungal Screening of *Centaurium pulchellum* Crude Extracts and Main Secoiridoid Compounds. *Natural Product Communications*. 2010. Vol. 5, no. 10. P. 1525–1530. URL: https://doi.org/10.1177/1934578x1000501001.
35. Stefkov G., Miova B., Dinevska-Kjovkarovska S., Stanoeva J. P., Stefova M., Petrusevska G., Kulevanova S. Chemical characterization of *Centaurium erythrea* L. and its effects on carbohydrate and lipid metabolism in experimental diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*. 2014. Vol. 152, no. 1. P. 71–77. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.11.047.
36. Tahraoui A., Israili Z. H., Lyoussi B. Acute and sub-chronic toxicity of a lyophilised aqueous extract of *Centaurium erythraea* in rodents. *Journal of Ethnopharmacology*. 2010. Vol. 132, no. 1. P. 48–55. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.07.038.
37. Valentão P., Fernandes E., Carvalho F., Andrade P. B., Seabra R. M., Bastos M. L. Antioxidant Activity of *Centaurium erythraea* Infusion Evidenced by Its Superoxide Radical Scavenging and Xanthine Oxidase Inhibitory Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001. Vol. 49, no. 7. P. 3476–3479. URL: https://doi.org/10.1021/jf001145s.
38. van der Sluis W., Labadie R. Secoiridoids and Xanthones in the Genus *Centaurium*. *Planta Medica*. 1981. Vol. 41, no. 3. P. 221–231. URL: https://doi.org/10.1055/s-2007-971707.

References

1. Budniak L. I., Marchyshyn S. M., Slobodianiuk L. V., Yaroshenko T. Ya. Doslidzhennia flavonoidiv u vytiazhkakh iz travy zolototysiachnyka zvychainoho. *Medychna ta klinichna khimiia.* 2024. T. 26, № 3. S. 85–89. URL: https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681x.2024.i3.14931. [in Ukrainian]

2. Buniak V. I., Hniezdilova V. I. Predstavnyky rodyny *Gentianaceae* L. u flori vododilnoho khrebta Ukrainskykh Karpat. *ScienceRise*. 2015. № 11 (6). S. 30–33. [in Ukrainian]
3. Hrytsak L. R., Drobyk N. M. Osoblyvosti adaptyvnykh stratehii vydiv rodu *Gentiana* L. v umovakh vysokohiria Ukrainskykh Karpat. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia: Biolohiia.* 2020. T. 79, № 1–2. S. 91–102. URL: https://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.13. [in Ukrainian]
4. Hrytsak L. R., Kyiak V. H. Boiko D. A., Drobyk N. M. Transformatsiia pervynnykh stratehii vydiv rodu *Gentiana* L. u vysokohiri Ukrainskykh Karpat. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia «Biolohiia».* 2024. T. 84, № 3–4. S. 55–67. URL: https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.3-4.7. [in Ukrainian]
5. Hrytsyk A. R. Farmakohnostychne doslidzhennia roslyn rodyn tyrlychevi i hrechkovi yak perspektyvnykh dzherel likuvalnykh i profilaktychnykh zasobiv : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia d-ra farmats. nauk. Kyiv, 2008. 46 s. [in Ukrainian]
6. Zolototysiachnyk harnenkyi. *Vikipediia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Золототисячник_гарненький (Last accessed: 03.09.2025). [in Ukrainian]
7. Zolototysiachnyk zvychainyi. *Vikipediia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Золототисячник_звичайний (Last accessed: 03.09.2025). [in Ukrainian]
8. Zolototysiachnyk pryberezhnyi. *Vikipediia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Золототисячник_прибережний (Last accessed: 03.09.2025). [in Ukrainian]
9. Zolototysiachnyk tonkotsvityi. *Vikipediia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Золототисячник_тонкоцвітий (Last accessed: 03.09.2025). [in Ukrainian]
10. Kanefron N tabletky. URL: https://surl.li/zmecya (Last accessed: 03.09.2025). [in Ukrainian]
11. Marchyshyn S. M., Stoiko L. I., Pokotylo O. O. Doslidzhennia khimichnoho skladu deiakykh roslyn rodyny *Gentianaceae*. *Medychna ta klinichna khimiia*. 2017. T. 19, № 3. S. 23–28. URL: https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681x.2017.v0.i3.8192. [in Ukrainian]
12. Trynefron-Zdorovia kapsuly. URL: https://apteka911.ua/ua/drugs/trinefron-d2890 (Last accessed: 03.09.2025). [in Ukrainian]
13. Aberham A., Pieri V., Croom E. M., Ellmerer E., Stuppner H. Analysis of iridoids, secoiridoids and xanthones in *Centaurium erythraea*, *Frasera caroliniensis* and *Gentiana lutea* using LC–MS and RP-HPLC. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2011. Vol. 54, no. 3. P. 517–525. URL: https://doi.org/10.1016/j.jpba.2010.09.030.
14. Bouyahya A., Belmehdi O., Jemli M. E., Marmouzi I., Bourais I., Abrini J., Faouzi M. E. A., Dakka N., Bakri Y. Chemical variability of *Centaurium erythraea* essential oils at three developmental stages and investigation of their *in vitro* antioxidant, antidiabetic, dermatoprotective and antibacterial activities. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 132. P. 111–117. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.042.
15. Brys R., Jacquemyn H. Variation in the functioning of autonomous self-pollination, pollinator services and floral traits in three *Centaurium* species. *Annals of Botany*. 2011. Vol. 107, no. 6. P. 917–925. URL: https://doi.org/10.1093/aob/mcr032.
16. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Klepach P. Investigation of the infuence of the thick extract of common centaury (*Centaurium erythraea* Rafn.) herb on the secretory function of the stomach. *Pharmacologyonline*. 2021. Vol. 2. P. 352–360.
17. Drobyk N. M., Mel'nyk V. M., Twardovska M. O., Konvalyuk I. I., Kunakh V. A. Tissue and Organ Cultures of Gentians as Potential Sources of Xanthones and Flavonoids. *The Gentianaceae – Volume 2: Biotechnology and Applications.* Berlin, Heidelberg, 2015. P. 307–317. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-54102-5_13.
18. Gubar S. M., Materiienko A. S., Smielova N. M., Budanova L. G., Georgiyants V. A. Development of a New Approach for Standardization of the Herb *Centaurium erythraea* Rafn. by High Performance Liquid Chromatography. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020. Vol. 17, no. 6. P. 593–598. URL: https://doi.org/10.4274/tjps.galenos.2019.71542.
19. Guedes L., Reis P. B. P. S., Machuqueiro M., Ressaissi A., Pacheco R., Serralheiro M. L. Bioactivities of *Centaurium erythraea* (*Gentianaceae*) Decoctions: Antioxidant Activity, Enzyme Inhibition and Docking Studies. *Molecules*. 2019. Vol. 24, no. 20. P. 3795. URL: https://doi.org/10.3390/molecules24203795.
20. Haloui M., Louedec L., Michel J.-B., Lyoussi B. Experimental diuretic effects of *Rosmarinus officinalis* and *Centaurium erythraea*. *Journal of Ethnopharmacology*. 2000. Vol. 71, no. 3. P. 465–472. URL: https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00184-7.
21. Jakubska-Busse A., Wysocki A., Domagała P. J., Brudzińska-Kosior A., Sporek M., Kosior G. Expanding the boundaries in the face of global warming: A lesson from genetic and ecological niche studies of *Centaurium erythraea* in Europe. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 953. P. 176134. URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176134.

22. Jerković I., Gašo-Sokač D., Pavlović H., Marijanović Z., Gugić M., Petrović I., Kovač S. Volatile Organic Compounds from *Centaurium erythraea* Rafn (Croatia) and the Antimicrobial Potential of Its Essential Oil. *Molecules*. 2012. Vol. 17, no. 2. P. 2058–2072. URL: https://doi.org/10.3390/molecules17022058.
23. Jiménez-Lobato V., Escudero M., Lifante Z. D., Camacho C. A., de Castro A., Mansion G., Zeltner L., Arroyo J. Evolution of reproductive traits and selfing syndrome in the sub-endemic Mediterranean genus *Centaurium* Hill (*Gentianaceae*). *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2019. Vol. 191, no. 2. P. 216–235. URL: https://doi.org/10.1093/botlinnean/boz036.
24. Kumarasamy Y., Nahar L., Cox P. J., Jaspars M., Sarker S. D. Bioactivity of secoiridoid glycosides from *Centaurium erythraea*. *Phytomedicine*. 2003. Vol. 10, no. 4. P. 344–347. URL: https://doi.org/10.1078/094471103322004857.
25. Kumarasamy Y., Nahar L., Sarker S. D. Bioactivity of gentiopicroside from the aerial parts of *Centaurium erythraea*. *Fitoterapia*. 2003. Vol. 74, no. 1-2. P. 151–154. URL: https://doi.org/10.1016/s0367-326x(02)00319-2.
26. Mansion G. A new classification of the polyphyletic genus *Centaurium* Hill. (*Chironiinae, Gentianaceae*): description of the New World endemic Zeltnera, and reinstatement of Gyrandra Griseb. And Schenkia Griseb. *TAXON*. 2004. Vol. 53, no. 3. P. 719–740. URL: https://doi.org/10.2307/4135447.
27. Mansion G., Zeltner L., Bretagnolle F. Phylogenetic patterns and polyploid evolution within the Mediterranean genus *Centaurium* (*Gentianaceae – Chironieae*). *TAXON*. 2005. Vol. 54, no. 4. P. 931–950. URL: https://doi.org/10.2307/25065479.
28. Menyiy N. El, Guaouguaou F.-E., Baaboua A. El, Omari N. El, Taha D., Salhi N., Shariati M. A., Aanniz T., Benali T., Zengin G., El Shazly M., Chamkhi I., Bouyahya A. Phytochemical properties, biological activities and medicinal use of *Centaurium erythraea* Rafn. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021. Vol. 276. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114171.
29. Merghem M., Dahamna S. Antioxidant Activity of *Centaurium erythraea* Extracts. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 2020. Vol. 10, no. 2. P. 171–174. URL: https://doi.org/10.22270/jddt.v10i2.3935.
30. Mosula M. Z., Mayorova O. Yu., Hrytsak L. R., Mel'nyk V. M., Drobyk N. M., Kunakh V. A. Ecological and genetic analysis of *Gentiana lutea* L. populations from Ukrainian Carpatians. *Ecology and noospherology*. 2014. Vol. 25, № 3–4. P. 5–13. Doi: https://doi.org/10.15421/031415.
31. Mroueh M., Saab Y., Rizkallah R. Hepatoprotective activity of *Centaurium erythraea* on acetaminophen-induced hepatotoxicity in rats. *Phytotherapy Research*. 2004. Vol. 18, no. 5. P. 431–433. URL: https://doi.org/10.1002/ptr.1498.
32. Sefi M., Fetoui H., Lachkar N., Tahraoui A., Lyoussi B., Boudawara T., Zeghal N. *Centaurium erythrea* (*Gentianaceae*) leaf extract alleviates streptozotocin-induced oxidative stress and β-cell damage in rat pancreas. *Journal of Ethnopharmacology*. 2011. Vol. 135, no 2. P. 243–250. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.02.029.
33. Šiler B., Mišić D. Biologically Active Compounds from the Genus *Centaurium* s.l. (*Gentianaceae*). *Studies in Natural Products Chemistry*. 2016. P. 363–397. URL: https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63601-0.00011-9.
34. Šilera B., Mišića D., Nestorovića J., Banjanaca T., Glamočlija J., Sokovića M., Ćirić A. Antibacterial and Antifungal Screening of *Centaurium pulchellum* Crude Extracts and Main Secoiridoid Compounds. *Natural Product Communications*. 2010. Vol. 5, no. 10. P. 1525–1530. URL: https://doi.org/10.1177/1934578x1000501001.
35. Stefkov G., Miova B., Dinevska-Kjovkarovska S., Stanoeva J. P., Stefova M., Petrusevska G., Kulevanova S. Chemical characterization of *Centaurium erythrea* L. and its effects on carbohydrate and lipid metabolism in experimental diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*. 2014. Vol. 152, no. 1. P. 71–77. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.11.047.
36. Tahraoui A., Israili Z. H., Lyoussi B. Acute and sub-chronic toxicity of a lyophilised aqueous extract of *Centaurium erythraea* in rodents. *Journal of Ethnopharmacology*. 2010. Vol. 132, no. 1. P. 48–55. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.07.038.
37. Valentão P., Fernandes E., Carvalho F., Andrade P. B., Seabra R. M., Bastos M. L. Antioxidant Activity of *Centaurium erythraea* Infusion Evidenced by Its Superoxide Radical Scavenging and Xanthine Oxidase Inhibitory Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001. Vol. 49, no. 7. P. 3476–3479. URL: https://doi.org/10.1021/jf001145s.
38. van der Sluis W., Labadie R. Secoiridoids and Xanthones in the Genus *Centaurium*. *Planta Medica*. 1981. Vol. 41, no. 3. P. 221–231. URL: https://doi.org/10.1055/s-2007-971707.

Ye. Ya. Kravcheniuk, O. V. Soroka, M. Z. Prokopiak, L. R. Hrytsak, N. M. Drobyk
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

VARIETIES OF *CENTAURIUM* HILL IN THE FLORA OF UKRAINE: THE BREADTH OF SPECIES, THE BIOLOGICAL ACTIVITY AND UTILISATION

The article presents a comprehensive analysis of species of the genus *Centaurium* Hill (family *Gentianaceae*) distributed within the flora of Ukraine. The analysis takes into account the taxonomic composition, distribution patterns, biological activity, and directions of practical use. The relevance of the study is predicated on three factors. Firstly, there is an increasing anthropogenic pressure on natural ecosystems. Secondly, there is a growing interest in medicinal plants of natural origin. Thirdly, there is a need for scientifically grounded conservation of plant resources.

The present study analyses the position of the genus *Centaurium* within the family *Gentianaceae.* In addition, a general characterisation of the morphological and ecological features of its representatives is provided. It has been established that four species of the genus *Centaurium* are reliably confirmed in the flora of Ukraine. *C. erythraea, C. pulchellum, C. littorale, and C. tenuiflorum.* The evidence presented indicates that C. erythraea is the most widespread and ecologically plastic species, whereas the other species are characterised by fragmented distribution ranges, specialisation to specific ecological conditions, and increased population vulnerability.

A significant degree of attention is devoted to the analysis of the chemical composition of *Centaurium* species. The following data is presented in summary form: information pertaining to the localization and organ specificity of biologically active compounds. It has been established that secoiridoid glycosides, flavonoids, xanthone derivatives, phenolic acids, and triterpenoids play a leading role in the phytochemical profile. It has been demonstrated that the aerial parts constitute the primary source of secoiridoid glycosides, while the underground organs are distinguished by elevated levels of specific iridoids and triterpenoid compounds. The primary pharmacological activities of biologically active compounds are characterised by stimulatory effects on the digestive system, choleretic, anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial, and hepatoprotective activities. The utilisation of *Centaurium* species in both conventional and traditional medicine is emphasised, along with their function in combination with other herbal preparations for the management of gastrointestinal and urinary system diseases.

It is concluded that species of the genus *Centaurium* represent valuable phytogenic resources and promising objects for further pharmacognostic, ecological, and conservation-oriented research.

Key words: Centaurium Hill*, biologically active compounds, secoiridoid glycosides, medicinal plants, pharmacological activity.*

Надійшла 05.09.2025.

УДК [615.322+615.89] : [582.998.1:633.88] doi: 10.25128/2078-2357.25.3.8

О. В. СОРОКА, М. З. ПРОКОП’ЯК, Л. Р. ГРИЦАК, Н. М. ДРОБИК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: coroka912@gmail.com, drobyk.n@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН ВИДІВ РОДУ *CARLINA* L. У ТРАДИЦІЙНІЙ ТА НАРОДНІЙ МЕДИЦИНІ

У статті узагальнено відомості про використання представників роду *Carlina* L. (родина *Asteraceae*) у народній та офіційній медицині. Наведено історичні аспекти застосування відкасників у європейських і східнослов’янських лікувальних практиках. Проаналізовано сучасні наукові дослідження, що підтверджують широкий спектр фармакологічної активності екстрактів відкасників: антибактеріальної, протизапальної, антигельмінтної, антиоксидантної, антивірусної та протипухлинної. Особливу увагу приділено хімічному складу рослин, вторинним метаболітам, які зумовлюють їхню біологічну активність.

Підкреслено необхідність охорони природних популяцій рідкісних видів *Carlina* та впровадження біотехнологічних підходів до їх розмноження з метою збереження, а також культивування *in vitro* як перспективного джерела біологічно активних речовин.

Поєднання етномедичних знань і сучасних біотехнологічних досліджень створює основу для подальшого використання представників роду *Carlina* у медицині, косметології та аграрній галузі.

Ключові слова: види роду Carlina L.*, лікарські рослини, народна медицина, фітотерапія, біологічно активні речовини, фармакологічна активність, культивування in vitro.*

Види роду *Carlina* L., що належать до родини Айстрових (*Asteraceae*) (або Складноцвіті *Compositae*), є характерними представниками флори Європи, Азії та Північної Африки. На території України поширені відкасник татарниколистий (дев'ятисил татарниколистий) *Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawł, відкасник осотоподібний (дев'ятисил осотовий) *Carlina cirsioides* Klokov, відкасник безстебловий (дев'ятисил безстебловий) *Carlina acaulis* L. [3, 7, 35]. Ці рослини вирізняються цінним хімічним складом, що обумовлює їхнє широке застосування у традиційній і народній медицині [9, 10, 13, 14, 19, 25, 34, 35]. Здавна види роду *Carlina* використовують як природні лікувальні засоби у різних культурах, зокрема у слов'янських, середземноморських та східних народів [6]. Зважаючи на популярність використання, *C. onopordifolia* та *C. cirsioides* віднесені до Червоної книги України (2009 р.) [7], включені до Червоного списку Міжнародного союзу охорони природи та природних ресурсів (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN). Чисельність *C. acaulis*, що має статус регіонально-рідкісного виду, продовжує неухильно зменшуватися [3, 7, 39].

Попри багатовіковий досвід використання, фармакологічні властивості видів роду *Carlina* залишаються недостатньо дослідженими. Проте у наукових публікаціях останніх десятиліть спостерігається зростання інтересу до вивчення їхнього терапевтичного потенціалу. Дослідники вивчають можливості застосування екстрактів відкасників для створення препаратів з антибактеріальними, антиоксидантними, протизапальними, протиракovими властивостями. Окремі компоненти цих рослин демонструють перспективу у фармацевтичній та косметичній промисловості [5].

З огляду на актуальність пошуку нових природних лікарських засобів, вивчення способів використання рослин роду *Carlina* набуває особливої цінності.

У статті розглянуто фармакологічні властивості представників роду, способи застосування у традиційній та народній медицині, а також перспективи подальших досліджень і практичного використання.

У видах роду *Carlina* ідентифіковано велику кількість речовин різних груп з вираженою біологічною активністю. Їхні надземні та підземні органи використовують для виготовлення відварів, настоїв, мазей, порошків тощо. Екстракти цих рослин демонструють потенціал для лікування як внутрішніх, так і зовнішніх патологічних станів.

У багатьох античних працях згадується застосування кореня *Chamaeleon albus* (ідентифікованого як *C. acaulis*) як сильнодіючого діуретика, засобу від паразитів, мазі для очищення ран і лікування прокази. Корінь вживали внутрішньо (з спиртовими напоями) або зовнішньо – у вигляді промивань і компресів. У деяких працях давньогрецьких та римських учених відзначено застосування відкасників для усунення зубного болю, при укусах отруйних тварин та як засіб проти корости [35] (рис. 1).

Із Середньовіччя відкасники також цінувалися як лікувальний засіб. Основні традиційні застосування: виготовлення відварів для промивання ран та запобігання інфекціям; внутрішнє вживання для поліпшення травлення та апетиту [35].

Відкасники займали важливе місце у традиційній медицині Центральної та Східної Європи, особливо в Німеччині та Польщі, але з кінця XIX століття поступово зникли з офіційних фармакопей. На Балканах і сьогодні в сільських районах використовують відвари та настоянки з відкасника [35].

Рис. 1. Хронологія змін застосування відкасників у медицині [35].

Найдавнішим і водночас найпоширенішим комерційним способом використання лікувальних властивостей відкасників є їхнє застосування у складі шведських трав'яних настоянок, екстрактів та інших фітопрепаратів (англ. Swedish bitters, шведські гіркоти) [37].

Шведські трав'яні настоянки – це класичний європейський трав'яний еліксир з багатовіковою історією застосування для поліпшення травлення, кровообігу та загального тонусу організму. Цей термін позначає не одну рослину, а ретельно збалансовану суміш лікарських трав, настояних на спирті для вилучення їхніх біологічно активних речовин (БАР) [8].

Формула еліксиру еволюціонувала впродовж століть, але широку популярність вона здобула в XVIII столітті. Для виготовлення настоянки до спирту додають такі рослини: алое (*Aloe* L.) як активний інгредієнт, водний екстракт коріння дягелю лікарського (*Angelica archangelica* (Moench) Hoffm.), камфорного дерева (*Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl), відкасника безстеблового (*C. acaulis*), ясена білоцвітого (*Fraxinus ornus* L.), ревеню пальчастого (*Rheum palmatum* L.), шафрана (*Crocus* L.), сенни олександрійської (*Senna alexandrina* Mill.), куркуми цедоарія (*Curcuma zedoaria* (Christm.) Roscoe) та «тераїк венеціанський (тераїк)» (суміш багатьох трав та інших речовин) [38].

Сучасне відродження шведських гірких ліків майже повністю завдячує Марії Требен (1907–1991 рр.), австрійській знахарці та авторці книги «Gesundheit aus der Apotheke Gottes» («Здоров'я з Божої аптеки»). Її книгу продавали мільйонними тиражами по всій Європі в 1970–80-х роках. Це обумовило хвилю домашнього виробництва, оскільки люди виготовляли власні настоянки [17] (рис. 2).

Рис. 2. Книга Марії Требен «Здоров'я з Божої аптеки» [17].

Сьогодні шведський гіркий напій продається по всьому світу у вигляді настоянок на спиртовій основі (оригінальний метод), неспиртових екстрактів для чутливих споживачів,

сухих трав'яних сумішей для домашнього настоювання. Наприклад, спиртовий екстракт дієтичної добавки «Swedish Bitters» (Nature's Way, NatureWorks), водний екстракт дієтичної добавки «Swedish Bitters» (Flora) (рис. 3 а, б) [16, 24]. У народній медицині відкасники все ще користуються репутацією «панацеї». У регульованій фітотерапії їхнє застосування дещо звузилося, в основному вони використовуються для стимуляції роботи шлунка, поліпшення травлення, полегшення здуття живота або запобігання метеоризму. Таке їхнє застосування пояснюється наявністю у найбільшій кількості у коренях відкасників полісахариду інулін (12–22 %) – природного пребіотика, який підтримує оптимальний баланс біфідобактерій у шлунково-кишковому тракті [13, 14, 25, 27, 31].

а б в г д

Рис. 3. Лікувально-профілактичні препарати з відкасників: а – «Swedish Bitters» (Nature's Way, NatureWorks); б – «Swedish Bitters» (Flora); в – «Carline Thistle»; г – «Eberwurzel Salbe»; д – «Carline Thistle (Carlina)» [11, 12, 15, 16, 24].

У лікуванні запальних патологій опорно-рухового апарату, таких як артралгії, артрити та міозити, зростає інтерес до фітотерапевтичних засобів, що поєднують ефективність та безпечність при тривалому застосуванні. Одним із таких засобів є «Д-р Тайс Ревма-крем», до складу якого входить комбінація шведських гіркот, зокрема *C. acaulis*. Відкасник як один із ключових компонентів виявляє виражену протизапальну, антисептичну та спазмолітичну дію. БАР рослини сприяють поліпшенню мікроциркуляції у тканинах, зниженню набряку та больового синдрому. У традиційній фітотерапії відкасник використовують при ревматичних болях, що свідчить про його потенційну ефективність у сучасних зовнішніх засобах для лікування захворювань суглобів і м'язів [1, 2].

Широко використовують екстракти із коренів відкасників («Carline Thistle» (HerbalTerra)) (рис. 3 в), що містять широкий спектр БАР, серед яких вітаміни, алкалоїди, флавоноїди, фенольні кислоти, тритерпени та ефірні олії [12]. Власне ці сполуки зумовлюють комплексну фармакологічну активність екстракту, яка включає антибактеріальну дію, протизапальний ефект (флавоноїди та фенольні кислоти зменшують продукцію прозапальних цитокінів, стабілізують мембрани клітин і знижують інтенсивність окисного стресу). Окрім цього, природні поліфеноли та вітамін Е нейтралізують вільні радикали, захищаючи клітинні структури від ушкодження. Вітаміни, мікроелементи та інулін сприяють відновленню епітелію, стимулюють проліферацію клітин і покращують мікробіом шкіри [21, 23, 43, 44].

У косметичних кремах і мазях відкасник застосовують для догляду за проблемною та чутливою шкірою. Його компоненти допомагають зменшити почервоніння, подразнення та висипання, а також сприяють швидшому загоєнню дрібних ушкоджень. Антибактеріальні властивості кореневого екстракту роблять його ефективним при дерматологічних ураженнях, а здатність пригнічувати запальні процеси – у лікувально-профілактичних препаратах для шкіри (наприклад, популярні такі мазі та креми «Eberwurzel Salbe», St. Severin; «Carline Thistle (Carlina)», Bianca Rosa) (рис. 3 г, д). Завдяки комплексній дії рослина поєднує антисептичний,

заспокійливий і відновлювальний ефекти, що робить її цінною сировиною як у косметичній, так і в фармацевтичній галузях [11, 15].

Україна має свою глибоку традицію настоянок (трав'яних настоїв), які використовують для покращення травлення, здоров'я печінки та імунітету взимку. В українській фітотерапії суміші ароматичних і гірких рослин були домашнім засобом лікування. У народній українській медицині корені відкасників використовували як сечогінний, жовчогінний та протимікробний засіб. Крім того, препарати з рослин видів роду *Carlina* застосовували для лікування шкірних захворювань, лихоманки, шлунково-кишкових розладів та паразитарних інфекцій [4, 6].

Хоча рослини роду *Carlina* традиційно застосовують у складі лікарських засобів та комерційних фітопрепаратів, їх значення не обмежується суто практичним використанням у фітотерапії. Сучасні наукові дослідження свідчать про широкий біологічний потенціал цих рослин завдяки наявності комплексу вторинних метаболітів, серед яких флавоноїди, ефірні олії, сапоніни, алкалоїди, дубильні й смолисті речовини, терпени та терпеноїди, глікозиди, полісахариди, кетонові, альдегідні сполуки та поліацетилени.

Особливу увагу приділяють поліацетиленам, зокрема карліна оксиду (2-(3-фенілпроп-1-ініл)фуран, бензил-2 фурацителен), який демонструє значну антимікробну активність щодо ряду патогенних мікроорганізмів. Зокрема, речовина ефективно пригнічує ріст паразитичних найпростіших, що спричиняють виникнення сонної хвороби в людини (*Trypanosoma brucei* Plimmer & Bradford), метицилін-резистентних штамів грампозитивного золотистого стафілокока (*Staphylococcus aureus* Rosenbach), грамнегативної палички синьогнійної (*Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) Migula), грампозитивних стрептококів групи А (*Streptococcus pyogenes* Rosenbach), а також грампозитивних паличкових бактерій *Bacillus cereus* Frankland & Frankland, що викликає харчові токсикоінфекції у людини і продукує ентеротоксини [40]. Спостерігається виражена фунгіцидна дія проти дріжджоподібних грибів, що спричиняють урогенітальні інфекції (*Candida glabrata* (H. W. Anderson) S. A. Mey. & Yarrow та *Candida albicans* (C. P. Robin) Berkhout)) [18, 30]. Крім цього, уперше продемонстровано антимікобактеріальну активність кореневих екстрактів відкасників проти надлишкових нетуберкульозних мікобактерій – групи стійких до лікування патогенів [26].

Нещодавно синтезовано та випробувано низку похідних карліна оксиду, які продемонстрували високу інсектицидну активність. Отримані результати свідчать про перспективність розробки на основі цієї речовини нових екологічно безпечних інсектицидів із покращеним профілем ефективності та безпеки [19, 20, 28, 33]. Окрім цього, досліджено ефективність карліна оксиду як активного інгредієнта екологічних акарицидів проти кліща *Tetranychus urticae* Koch, де ця речовина викликає високу смертність яєць, німф та дорослих особин, водночас практично не впливаючи на хижого кліща *Neoseiulus californicus* McGregor – природного ентомофага. Це свідчить про можливість його використання у системах інтегрованого захисту рослин [29].

Встановлено, що карліна оксид здатен інгібувати взаємодію спайкового протеїну SARS-CoV-2 з рецептором ангіотензинперетворюючого ензиму 2 (англ. *Angiotensin I converting enzyme 2, ACE2,* КФ:3.4.17.23), що підтверджено як методом біолюмінесцентного імуноаналізу *in vitro*, так і результатами молекулярного докінгу *in silico*. Отримані результати свідчать про перспективність використання карліна оксиду як природного антивірусного агента, здатного регулювати початкові етапи інфекційного процесу [41].

Сучасні дослідження підтверджують значний протипухлинний потенціал відкасників. Проведено детальний аналіз поліфенольного складу надземної частини рослин та встановлено, найвираженішу цитотоксичність щодо клітин аденокарциноми товстої кишки (HT-29) та карциноми шийки матки (HeLa), водночас демонструючи низький рівень токсичності стосовно нормальних клітин [32]. Також оцінено протипухлинну активність листових та кореневих екстрактів *C. acaulis* та *C. onopordifolia* на модельних культурах клітин меланоми людини [36].

Також встановлено, що кореневий екстракт *C. acaulis* проявляє виражену антиоксидантну активність як у тестах *in vitro*, так і на моделі *Caenorhabditis elegans* Maupas. Показано, що карліна оксид має значну здатність нейтралізувати вільні радикали та знижувати рівень оксидативного стресу [22].

Важливо зазначити, що продемонстровано цитотоксичну дію карліна оксиду на клітини людини та гостру токсичність у тесті на зародках *Danio rerio* Hamilton, що вимагає ретельного контролю вмісту карліна оксиду при використанні екстрактів відкасників у медицині [42].

Висновки

Рослини роду *Carlina* є перспективним джерелом БАР, які зумовлюють широкий спектр фармакологічних властивостей – від антибактеріальних та протизапальних до антиоксидантних і протипухлинних. Традиційне використання відкасників у європейській та українській народній медицині підтверджує їхню терапевтичну цінність, а сучасні дослідження відкривають нові напрями застосування у фармацевтиці, косметології та сільському господарстві.

Поряд із цим, зниження чисельності природних популяцій вимагає впровадження стратегій збереження. Біотехнологічні підходи – культивування *in vitro*, мікроклональне розмноження та оптимізація біосинтезу вторинних метаболітів – є ефективним інструментом як для охорони рідкісних видів, так і для забезпечення сталого отримання фармакологічно цінних сполук. Клітинні, тканинні та органні культури відкасників розглядають як перспективне альтернативне джерело БАР. Використання методів *in vitro* забезпечує підтримання контрольованих параметрів середовища, що сприяє інтенсифікації синтезу цільових метаболітів. Завдяки стабільності цих умов у культурі *in vitro* стає можливим отримання рослинної сировини з відтворюваним вмістом активних компонентів, необхідних для використання у медичній, сільськогосподарській промисловостях. Поєднання традиційних знань і сучасних наукових досягнень створює передумови для раціонального використання представників роду *Carlina* у медицині та фармації.

1. Гудивок Я. С., Голубєва М. Г. Принципи місцевого застосування препаратів лікарських рослин при травматичних ураженнях. *Вісник фармакології і фармації*. 2008. Вип. 5. С. 10–16.
2. Гудивок Я. С., Голубєва М. Г. Місцеве застосування фітопрепаратів при травматичних ураженнях. *Фітотерапія. Часопис*. 2008. Вип. 3. С. 11–19.
3. Колісник Х. М., Прокоп'як М. З., Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Хорологія та біоекологічні особливості видів роду *Carlina* L. флори України. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка: Серія: Біологія*. 2023. Т. 83, № 3–4. С. 48–57. URL: https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.3-4.6.
4. Корнієвський Ю. І., Богуславська Н. Ю., Круть Ю. Я., Корнієвська В. Г. Фітотерапія в акушерстві та гінекології: навчальний посібник. Запоріжжя, 2014. 317 с.
5. Сорока О. В., Прокоп'як М. З., Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Біологічно активні речовини видів роду *Carlina* L. флори України. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія Біологія.* 2024. Т. 84, № 3–4. С. 89–99. https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.3-4.10.
6. Сушко Н. О. Історія вивчення фітобіоти наземних екотонів Кременецьких гір і гори Голиця, що на Опіллі. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2005. Вип. 1–2 (25). С. 154–155.
7. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
8. Awa I. N., James V. O. Analyses Of The Effects Of Swedish Bitters On Selected Metabolic Profiles. *International Research Journal Of Pharmacy*. 2013. Vol. 4, № 8. P. 120–127. URL: https://doi.org/10.7897/2230-8407.04821.
9. Benelli G., Pavela R., Petrelli R., Nzekoue F. K., Cappellacci L., Lupidi G., Quassinti L., Bramucci M., Sut S., Dall'Acqua S., Canale A., Maggi F. Carlina oxide from *Carlina acaulis* root essential oil acts as a potent mosquito larvicide. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 137. P. 356–366. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.037.
10. Benelli G., Rizzo R., Zeni V., Govigli A., Samková A., Sinacori M., Verde L. G., Pavela R., Cappellacci L., Petrelli R., Spinozzi E., Morshedloo M. R., Maggi Filippo, Canale A. *Carlina acaulis* and *Trachyspermum ammi* essential oils formulated in protein baits are highly toxic and reduce aggressiveness in the medfly, *Ceratitis capitata*. *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 161. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113191.
11. Bianca Rosa Carline Thistle (*Carlina*) Cream. *Amazon.com*. URL: https://cutt.ly/urJkQufS (Last accessed: 10.07.2025).
12. Carline Thistle (*Carlina acaulis*) Tincture, Dried Roots Liquid Extract. *HerbalTerra – liquid herbal extracts*. URL: https://cutt.ly/frJkvcoU (Last accessed: 10.07.2025).

13. Djordjevic S., Petrovic S., Ristic, D. M. Composition of *Carlina acanthifolia* root essential Oil. *Chemistry of Natural Compounds*. 2005. Vol. 41, № 4. P. 410–412. URL: https://doi.org/10.1007/s10600-005-0163-2.
14. Đorđević S., Petrović S., Dobrić S., Milenković M., Vučićević D., Žižić S., Kukić J. Antimicrobial, anti-inflammatory, anti-ulcer and antioxidant activities of *Carlina acanthifolia* root essential oil. *Journal of Ethnopharmacology*. 2007. Vol. 109, № 3. P. 458–463. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.08.021.
15. Eberwurzel Salbe-Gall-Pharma GmbH-Online-Shop. *Nahrungsergänzungsmittel, Naturprodukte, Kosmetika – GALL PHARMA SHOP*. URL: https://cutt.ly/grJkmubF (Last accessed: 10.07.2025).
16. Flora, шведська гірка настоянка. *iHerb*. URL: https://cutt.ly/3rJi3lqm (Last accessed: 10.07.2025).
17. Gesundheit aus der Apotheke Gottes, Maria Treben, Ratschläge und Erfahrungen mit Heilkräutern – Narayana Verlag. *Narayana Verlag, Homöopathie, Naturheilkunde, gesunde Ernährung*. URL: https://www.narayana-verlag.de/Gesundheit-aus-der-Apotheke-Gottes-Maria-Treben/b7538 (Last accessed: 10.07.2025).
18. Herrmann F., Hamoud R., Sporer F., Tahrani A., Wink M. Carlina Oxide – A Natural Polyacetylene from *Carlina acaulis* (*Asteraceae*) with Potent Antitrypanosomal and Antimicrobial Properties. *Planta Medica*. 2011. Vol. 77, № 17. P. 1905–1911. URL: https://doi.org/10.1055/s-0031-1279984.
19. Kavallieratos N. G., Nika E. P., Skourti A., Boukouvala M. C., Ntalaka C. T., Maggi F., Spinozzi E., Petrelli R., Perinelli D. R., Benelli G., Canale A., Bonacucina G. *Carlina acaulis* essential oil nanoemulsion as a new grain protectant against different developmental stages of three stored-product beetles. *Pest Management Science*. 2022. URL: https://doi.org/10.1002/ps.6877.
20. Kavallieratos N. G., Nika E. P., Skourti A., Spinozzi E., Ferrati M., Petrelli R., Maggi F., Benelli G. *Carlina acaulis* essential oil: a candidate product for agrochemical industry due to its pesticidal capacity. *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 188. P. 115572. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115572.
21. Kumar A., Ahmad F., Zaidi S. Importance of bioactive compounds present in plant products and their extraction – a review. *Agricultural Reviews*. 2019. Vol. 40, № 04. URL: https://doi.org/10.18805/ag.r-1926.
22. Link P., Roth K., Sporer F., Wink M. *Carlina acaulis* Exhibits Antioxidant Activity and Counteracts Aβ Toxicity in *Caenorhabditis elegans*. *Molecules*. 2016. Vol. 21, № 7. P. 871. URL: https://doi.org/10.3390/molecules21070871.
23. Marinho L. de F., Sganzerla W. G., Ferreira V. C., Moreno J. A. J., Rostagno M. A., Forster-Carneiro T. Advances in green extraction methods, biological properties, and applications of betanin and vitexin: An updated review and bibliometric analysis. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023. Vol. 51. P. 102744. URL: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102744.
24. Nature's Way, NatureWorks. *iHerb*. URL: https://cutt.ly/LrJi3CPQ (Last accessed: 10.07.2025).
25. Pavela R., Maggi F., Petrelli R., Cappellacci L., Buccioni M., Palmieri A., Canale A., Benelli G. Outstanding insecticidal activity and sublethal effects of *Carlina acaulis* root essential oil on the housefly, *Musca domestica*, with insights on its toxicity on human cells. *Food and Chemical Toxicology*. 2020. Vol. 136. P. 111037. URL: https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.111037.
26. Puk K., Wawrzykowski J., Guz L. Evaluation of the anti-mycobacterial activity and composition of *Carlina acaulis* L. root extracts. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2023. Vol. 26 (1). P. 57–63. URL: https://doi.org/10.24425/pjvs.2023.145007.
27. Qin Y.-Q., Wang L.-Y., Yang X.-Y., Xu Y.-J., Fan G., Fan Y.-G., Ren J.-N., An Q., Li X. Inulin: properties and health benefits. *Food & Function*. 2023. Vol. 14. P. 2948–2968. URL: https://doi.org/10.1039/d2fo01096h.
28. Rizzo R., Pistillo M., Germinara G. S., Lo Verde G., Sinacori M., Maggi F., Petrelli R., Spinozzi E., Cappellacci L., Zeni V., Canale A., Benelli G. Bioactivity of *Carlina acaulis* Essential Oil and Its Main Component towards the Olive Fruit Fly, *Bactrocera oleae*: Ingestion Toxicity, Electrophysiological and Behavioral Insights. *Insects*. 2021. Vol. 12, № 10. P. 880. URL: https://doi.org/10.3390/insects12100880.
29. Rizzo R., Ragusa E., Benelli G., Lo Verde G., Zeni V., Maggi F., Petrelli R., Spinozzi E., Ferrati M., Sinacori M., Tsolakis H. Lethal and sublethal effects of the polyacetylene carlina oxide on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Pest Management Science*. 2023. URL: https://doi.org/10.1002/ps.7827.
30. Rosato A., Barbarossa A., Mustafa A. M., Bonacucina G., Perinelli D. R., Petrelli R., Maggi F., Spinozzi E. Comprehensive Evaluation of the Antibacterial and Antifungal Activities of *Carlina acaulis* L. Essential Oil and Its Nanoemulsion. *Antibiotics*. 2021. Vol. 10, № 12. P. 1451. URL: https://doi.org/10.3390/antibiotics10121451.
31. Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H. R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 147. P. 444–454. URL: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020.
32. Sowa I., Mołdoch J., Paduch R., Strzemski M., Szkutnik J., Tyszczuk-Rotko K., Dresler S., Szczepanek D., Wójciak M. Polyphenolic Composition of Carlina acaulis L. Extract and Cytotoxic Potential against

Colorectal Adenocarcinoma and Cervical Cancer Cells. *Molecules*. 2023. Vol. 28, № 16. P. 6148. URL: https://doi.org/10.3390/molecules28166148.
33. Spinozzi E., Ferrati M., Baldassarri C., Maggi F., Pavela R., Benelli G., Aguzzi C., Zeppa L., Cappellacci L., Palmieri A., Petrelli R. Synthesis of Carlina Oxide Analogues and Evaluation of Their Insecticidal Efficacy and Cytotoxicity. *Journal of Natural Products*. 2023. URL: https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.3c00137.
34. Spinozzi E., Ferrati M., Cappellacci L., Caselli A., Perinelli D. R., Bonacucina G., Maggi F., Strzemski M., Petrelli R., Pavela R., Desneux N., Benelli G. *Carlina acaulis* L. (*Asteraceae*): biology, phytochemistry, and application as a promising source of effective green insecticides and acaricides. *Industrial Crops and Products*. 2023. Vol. 192. P. 116076. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116076.
35. Strzemski M., Wójciak-Kosior M., Sowa I., Rutkowska E., Szwerc W., Kocjan R., Latalski M. *Carlina* species as a new source of bioactive pentacyclic triterpenes. *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 94. P. 498–504. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.025.
36. Strzemski M., Wojnicki K., Sowa I., Wojas-Krawczyk K., Krawczyk P., Kocjan R., Such J., Latalski M., Wnorowski A., Wójciak-Kosior M. *In Vitro* Antiproliferative Activity of Extracts of *Carlina acaulis* subsp. caulescens and *Carlina acanthifolia* subsp. utzka. *Frontiers in Pharmacology*. 2017. Vol. 8. URL: https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00371.
37. Swedish bitter: Herbal miracle for every home medicine cabinet. *Sanat.io*. URL: https://www.sanat.io/p/Swedish-bitter-An-herbal-miracle-for-every-home-medicine-cabinet (Last accessed: 13.08.2025).
38. Swedish bitters: the herbal miracle for the medicine cabinet – Herbathek Blog und Wissenswertes. *Herbathek Blog und Wissenswertes*. URL: https://www.herbathek.com/blog/en/swedish-bitters-the-herbal-miracle-for-the-medicine-cabinet/ (Last accessed: 13.08.2025).
39. *The IUCN Red List of Threatened Species*. URL: https://www.iucnredlist.org (Last accessed: 13.08.2025).
40. Wnorowska S., Grzegorczyk A., Kurzepa J., Maggi F., Strzemski M. Fractionation of *Carlina acaulis* L. Root Methanolic Extract as a Promising Path towards New Formulations against *Bacillus cereus* and Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. *Molecules*. 2024. Vol. 29, № 9. P. 1939. URL: https://doi.org/10.3390/molecules29091939.
41. Wnorowska S., Targowska-Duda K. M., Kurzepa J., Wnorowski A., Strzemski M. Carlina oxide inhibits the interaction of SARS-CoV-2 S glycoprotein with angiotensin-converting enzyme 2. *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 187. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115338.
42. Wnorowski A., Wnorowska S., Wojas-Krawczyk K., Grenda A., Staniak M., Michalak A., Woźniak S., Matosiuk D., Biała G., Wójciak M., Sowa I., Krawczyk P., Strzemski M. toxicity of carlina oxide – a natural polyacetylene from the *Carlina acaulis* roots – *in vitro* and *in vivo* Study. *Toxins*. 2020. Vol. 12, № 4. P. 239. URL: https://doi.org/10.3390/toxins12040239.
43. Xiao L., Chen X.-J., Feng J.-K., Li W.-N., Yuan S., Hu Y. Natural products as the calcium channel blockers for the treatment of arrhythmia: advance and prospect. *Fitoterapia*. 2023. Vol. 169. P. 105600. URL: https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105600.
44. Zhang X., Gao Y., Zhou Y., Liu Z., Liu R. Pharmacological mechanism of natural drugs and their active ingredients in the treatment of arrhythmia via calcium channel regulation. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2023. Vol. 160. P. 114413. URL: https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114413.

References

1. Hudyvok Ya. S., Holubieva M. H. Pryntsypy mistsevoho zastosuvannia preparativ likarskykh roslyn pry travmatychnykh urazhenniakh. *Visnyk farmakolohii i farmatsii*. 2008. Vyp. 5. S. 10–16. [in Ukrainian]
2. Hudyvok Ya. S., Holubieva M. H. Mistseve zastosuvannia fitopreparativ pry travmatychnykh urazhenniakh. *Fitoterapiia. Chasopys*. 2008. Vyp. 3. S. 11–19. [in Ukrainian]
3. Kolisnyk Kh. M., Hrytsak L. R., Prokopiak M. Z., Drobyk N. M. Khorolohiia ta bioekolohichni osoblyvosti vydiv rodu *Carlina* L. flory Ukrainy. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia Biolohiia*. 2023. T. 83, №. 3–4. S. 48–57. URL: https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.3-4.6. [in Ukrainian]
4. Korniievskyi Yu. I., Bohuslavska N. Yu., Krut Yu. Ya., Korniievska V. H. Fitoterapiia v akusherstvi ta hinekolohii: navchalnyi posibnyk. Zaporizhzhia, 2014. 317 s. [in Ukrainian]
5. Soroka O. V., Prokopiak M. Z., Hrytsak L. R., Drobyk N. M. Biolohichno aktyvni rechovyny vydiv rodu *Carlina* L. flory Ukrainy. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia Biolohiia.* 2024. T. 84, № 3–4. S. 89–99. https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.3-4.10. [in Ukrainian]

6. Sushko N. O. Istoriia vyvchennia fitobioty nazemnykh ekotoniv Kremenetskykh hir i hory Holytsia, shcho na Opilli. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia Biolohiia*. 2005. Vyp. 1–2 (25). S. 154–155. [in Ukrainian]
7. Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyi svit / za red. Ya. P. Didukha. Kyiv : Hlobalkonsaltynh, 2009. 900 s. [in Ukrainian]
8. Awa I. N., James V. O. Analyses Of The Effects Of Swedish Bitters On Selected Metabolic Profiles. *International Research Journal Of Pharmacy*. 2013. Vol. 4, № 8. P. 120–127. URL: https://doi.org/10.7897/2230-8407.04821.
9. Benelli G., Pavela R., Petrelli R., Nzekoue F. K., Cappellacci L., Lupidi G., Quassinti L., Bramucci M., Sut S., Dall'Acqua S., Canale A., Maggi F. Carlina oxide from *Carlina acaulis* root essential oil acts as a potent mosquito larvicide. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 137. P. 356–366. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.037.
10. Benelli G., Rizzo R., Zeni V., Govigli A., Samková A., Sinacori M., Verde L. G., Pavela R., Cappellacci L., Petrelli R., Spinozzi E., Morshedloo M. R., Maggi Filippo, Canale A. *Carlina acaulis* and *Trachyspermum ammi* essential oils formulated in protein baits are highly toxic and reduce aggressiveness in the medfly, *Ceratitis capitata*. *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 161. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113191.
11. Bianca Rosa Carline Thistle (*Carlina*) Cream. *Amazon.com*. URL: https://cutt.ly/urJkQufS (Last accessed: 10.07.2025).
12. Carline Thistle (*Carlina acaulis*) Tincture, Dried Roots Liquid Extract. *HerbalTerra – liquid herbal extracts*. URL: https://cutt.ly/frJkvcoU (Last accessed: 10.07.2025).
13. Djordjevic S., Petrovic S., Ristic, D. M. Composition of *Carlina acanthifolia* root essential Oil. *Chemistry of Natural Compounds*. 2005. Vol. 41, № 4. P. 410–412. URL: https://doi.org/10.1007/s10600-005-0163-2.
14. Đorđević S., Petrović S., Dobrić S., Milenković M., Vučićević D., Žižić S., Kukić J. Antimicrobial, anti-inflammatory, anti-ulcer and antioxidant activities of *Carlina acanthifolia* root essential oil. *Journal of Ethnopharmacology*. 2007. Vol. 109, № 3. P. 458–463. URL: https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.08.021.
15. Eberwurzel Salbe-Gall-Pharma GmbH-Online-Shop. *Nahrungsergänzungsmittel, Naturprodukte, Kosmetika – GALL PHARMA SHOP*. URL: https://cutt.ly/grJkmubF (Last accessed: 10.07.2025).
16. Flora, шведська гірка настоянка. *iHerb*. URL: https://cutt.ly/3rJi3lqm (Last accessed: 10.07.2025).
17. Gesundheit aus der Apotheke Gottes, Maria Treben, Ratschläge und Erfahrungen mit Heilkräutern – Narayana Verlag. *Narayana Verlag, Homöopathie, Naturheilkunde, gesunde Ernährung*. URL: https://www.narayana-verlag.de/Gesundheit-aus-der-Apotheke-Gottes-Maria-Treben/b7538 (Last accessed: 10.07.2025).
18. Herrmann F., Hamoud R., Sporer F., Tahrani A., Wink M. Carlina Oxide – A Natural Polyacetylene from *Carlina acaulis* (*Asteraceae*) with Potent Antitrypanosomal and Antimicrobial Properties. *Planta Medica*. 2011. Vol. 77, № 17. P. 1905–1911. URL: https://doi.org/10.1055/s-0031-1279984.
19. Kavallieratos N. G., Nika E. P., Skourti A., Boukouvala M. C., Ntalaka C. T., Maggi F., Spinozzi E., Petrelli R., Perinelli D. R., Benelli G., Canale A., Bonacucina G. *Carlina acaulis* essential oil nanoemulsion as a new grain protectant against different developmental stages of three stored-product beetles. *Pest Management Science*. 2022. URL: https://doi.org/10.1002/ps.6877.
20. Kavallieratos N. G., Nika E. P., Skourti A., Spinozzi E., Ferrati M., Petrelli R., Maggi F., Benelli G. *Carlina acaulis* essential oil: a candidate product for agrochemical industry due to its pesticidal capacity. *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 188. P. 115572. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115572.
21. Kumar A., Ahmad F., Zaidi S. Importance of bioactive compounds present in plant products and their extraction – a review. *Agricultural Reviews*. 2019. Vol. 40, № 04. URL: https://doi.org/10.18805/ag.r-1926.
22. Link P., Roth K., Sporer F., Wink M. *Carlina acaulis* Exhibits Antioxidant Activity and Counteracts Aβ Toxicity in *Caenorhabditis elegans*. *Molecules*. 2016. Vol. 21, № 7. P. 871. URL: https://doi.org/10.3390/molecules21070871.
23. Marinho L. de F., Sganzerla W. G., Ferreira V. C., Moreno J. A. J., Rostagno M. A., Forster-Carneiro T. Advances in green extraction methods, biological properties, and applications of betanin and vitexin: An updated review and bibliometric analysis. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023. Vol. 51. P. 102744. URL: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102744.
24. Nature's Way, NatureWorks. *iHerb*. URL: https://cutt.ly/LrJi3CPQ (Last accessed: 10.07.2025).
25. Pavela R., Maggi F., Petrelli R., Cappellacci L., Buccioni M., Palmieri A., Canale A., Benelli G. Outstanding insecticidal activity and sublethal effects of *Carlina acaulis* root essential oil on the housefly, *Musca domestica*, with insights on its toxicity on human cells. *Food and Chemical Toxicology*. 2020. Vol. 136. P. 111037. URL: https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.111037.

26. Puk K., Wawrzykowski J., Guz L. Evaluation of the anti-mycobacterial activity and composition of *Carlina acaulis* L. root extracts. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2023. Vol. 26 (1). P. 57–63. URL: https://doi.org/10.24425/pjvs.2023.145007.
27. Qin Y.-Q., Wang L.-Y., Yang X.-Y., Xu Y.-J., Fan G., Fan Y.-G., Ren J.-N., An Q., Li X. Inulin: properties and health benefits. *Food & Function*. 2023. Vol. 14. P. 2948–2968. URL: https://doi.org/10.1039/d2fo01096h.
28. Rizzo R., Pistillo M., Germinara G. S., Lo Verde G., Sinacori M., Maggi F., Petrelli R., Spinozzi E., Cappellacci L., Zeni V., Canale A., Benelli G. Bioactivity of *Carlina acaulis* Essential Oil and Its Main Component towards the Olive Fruit Fly, *Bactrocera oleae*: Ingestion Toxicity, Electrophysiological and Behavioral Insights. *Insects*. 2021. Vol. 12, № 10. P. 880. URL: https://doi.org/10.3390/insects12100880.
29. Rizzo R., Ragusa E., Benelli G., Lo Verde G., Zeni V., Maggi F., Petrelli R., Spinozzi E., Ferrati M., Sinacori M., Tsolakis H. Lethal and sublethal effects of the polyacetylene carlina oxide on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Pest Management Science*. 2023. URL: https://doi.org/10.1002/ps.7827.
30. Rosato A., Barbarossa A., Mustafa A. M., Bonacucina G., Perinelli D. R., Petrelli R., Maggi F., Spinozzi E. Comprehensive Evaluation of the Antibacterial and Antifungal Activities of *Carlina acaulis* L. Essential Oil and Its Nanoemulsion. *Antibiotics*. 2021. Vol. 10, № 12. P. 1451. URL: https://doi.org/10.3390/antibiotics10121451.
31. Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H. R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 147. P. 444–454. URL: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020.
32. Sowa I., Mołdoch J., Paduch R., Strzemski M., Szkutnik J., Tyszczuk-Rotko K., Dresler S., Szczepanek D., Wójciak M. Polyphenolic Composition of Carlina acaulis L. Extract and Cytotoxic Potential against Colorectal Adenocarcinoma and Cervical Cancer Cells. *Molecules*. 2023. Vol. 28, № 16. P. 6148. URL: https://doi.org/10.3390/molecules28166148.
33. Spinozzi E., Ferrati M., Baldassarri C., Maggi F., Pavela R., Benelli G., Aguzzi C., Zeppa L., Cappellacci L., Palmieri A., Petrelli R. Synthesis of Carlina Oxide Analogues and Evaluation of Their Insecticidal Efficacy and Cytotoxicity. *Journal of Natural Products*. 2023. URL: https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.3c00137.
34. Spinozzi E., Ferrati M., Cappellacci L., Caselli A., Perinelli D. R., Bonacucina G., Maggi F., Strzemski M., Petrelli R., Pavela R., Desneux N., Benelli G. *Carlina acaulis* L. (*Asteraceae*): biology, phytochemistry, and application as a promising source of effective green insecticides and acaricides. *Industrial Crops and Products*. 2023. Vol. 192. P. 116076. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116076.
35. Strzemski M., Wójciak-Kosior M., Sowa I., Rutkowska E., Szwerc W., Kocjan R., Latalski M. *Carlina* species as a new source of bioactive pentacyclic triterpenes. *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 94. P. 498–504. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.025.
36. Strzemski M., Wojnicki K., Sowa I., Wojas-Krawczyk K., Krawczyk P., Kocjan R., Such J., Latalski M., Wnorowski A., Wójciak-Kosior M. *In Vitro* Antiproliferative Activity of Extracts of *Carlina acaulis* subsp. caulescens and *Carlina acanthifolia* subsp. utzka. *Frontiers in Pharmacology*. 2017. Vol. 8. URL: https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00371.
37. Swedish bitter: Herbal miracle for every home medicine cabinet. *Sanat.io*. URL: https://www.sanat.io/p/Swedish-bitter-An-herbal-miracle-for-every-home-medicine-cabinet (Last accessed: 13.08.2025).
38. Swedish bitters: the herbal miracle for the medicine cabinet – Herbathek Blog und Wissenswertes. *Herbathek Blog und Wissenswertes*. URL: https://www.herbathek.com/blog/en/swedish-bitters-the-herbal-miracle-for-the-medicine-cabinet/ (Last accessed: 13.08.2025).
39. *The IUCN Red List of Threatened Species*. URL: https://www.iucnredlist.org (Last accessed: 13.08.2025).
40. Wnorowska S., Grzegorczyk A., Kurzepa J., Maggi F., Strzemski M. Fractionation of *Carlina acaulis* L. Root Methanolic Extract as a Promising Path towards New Formulations against *Bacillus cereus* and Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. *Molecules*. 2024. Vol. 29, № 9. P. 1939. URL: https://doi.org/10.3390/molecules29091939.
41. Wnorowska S., Targowska-Duda K. M., Kurzepa J., Wnorowski A., Strzemski M. Carlina oxide inhibits the interaction of SARS-CoV-2 S glycoprotein with angiotensin-converting enzyme 2. *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 187. URL: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115338.
42. Wnorowski A., Wnorowska S., Wojas-Krawczyk K., Grenda A., Staniak M., Michalak A., Woźniak S., Matosiuk D., Biała G., Wójciak M., Sowa I., Krawczyk P., Strzemski M. toxicity of carlina oxide – a natural polyacetylene from the *Carlina acaulis* roots – *in vitro* and *in vivo* Study. *Toxins*. 2020. Vol. 12, № 4. P. 239. URL: https://doi.org/10.3390/toxins12040239.

43. Xiao L., Chen X.-J., Feng J.-K., Li W.-N., Yuan S., Hu Y. Natural products as the calcium channel blockers for the treatment of arrhythmia: advance and prospect. *Fitoterapia*. 2023. Vol. 169. P. 105600. URL: https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105600.
44. Zhang X., Gao Y., Zhou Y., Liu Z., Liu R. Pharmacological mechanism of natural drugs and their active ingredients in the treatment of arrhythmia via calcium channel regulation. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2023. Vol. 160. P. 114413. URL: https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114413.

O. V. Soroka, M. Z. Prokopiak, L. R. Hrytsak, N. M. Drobyk
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

APPLICATION OF *CARLINA* L. PLANTS IN TRADITIONAL AND FOLK MEDICINE

The present article offers a comprehensive review of the biological, chemical, and pharmacological properties of the genus *Carlina L.* (family *Asteraceae*). This genus has long been used in traditional and folk medicine across Europe, Asia, and North Africa. In Ukraine, the following species are listed in the Red Data Book of Ukraine (2009): *Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawł. and *Carlina cirsioides* Klokov. The status of *Carlina acaulis L.* is designated as regionally rare due to the decline of its natural populations.

The paper under scrutiny herein highlights the historical aspects of the medicinal use of *Carlina* species, dating back to ancient times. The utilisation of these plants in traditional medicine has been traced back to various cultures, including Slavic, Mediterranean, and Central European, where they have been employed for their diuretic, antiparasitic, wound-healing, and antiseptic properties. It is evident that *Carlina* species constitute a significant component of 'Swedish Bitters', a renowned European herbal elixir that emerged during the 18th century and continues to be utilised in contemporary phytotherapy.

Contemporary research has validated the extensive pharmacological activities of *Carlina* extracts, encompassing antibacterial, anti-inflammatory, anthelmintic, antioxidant, antiviral, and anticancer properties. These properties are associated with the presence of a complex of biologically active compounds (BAC), including flavonoids, phenolic acids, triterpenes, polyacetylenes, essential oils, inulin, and other secondary metabolites. This study focuses on carlina oxide, a furan derivative that has been shown to possess significant antimicrobial, fungicidal, antiparasitic, and antiviral properties. Its cytotoxic effect against tumour cells has also been demonstrated, along with its potential use in the development of environmentally friendly insecticidal and acaricidal agents. The significance of *Carlina* species is underscored not only in folk medicine but also in contemporary pharmaceutical and cosmetic industries. Examples of popular medicinal and cosmetic products containing *Carlina* extracts are provided. It is evident that root and leaf extracts are components of therapeutic and preventive preparations, as well as cosmetic creams. This is due to the fact that they possess antiseptic, healing, and anti-inflammatory properties.

In light of the observed decline in natural populations, the article underscores the imperative for the conservation of *Carlina* species and the integration of biotechnological approaches, including in vitro culture and micropropagation. These methodologies are designed to ensure a sustainable supply of biologically active compounds and to contribute to the conservation of rare species.

The integration of ethnomedicinal knowledge with modern phytochemical research provides a scientific foundation for the rational and sustainable use of Carlina species in medicine, pharmacy and cosmetology.

Keywords: Carlina L. *species, medicinal plants, folk medicine, phytotherapy, biologically active compounds, pharmacological activity, in vitro culture.*

Надійшла 19.08.2025.

ІСТОРІЯ НАУКИ. ПЕРСОНАЛІЇ

УДК 57(092) Бутницький doi: 10.25128/2078-2357.25.3.9

С. В. ПИДА, Н. В. МОСКАЛЮК, О. Б. КОНОНЧУК, Р. Л. ЯВОРІВСЬКИЙ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: pyda@chem-bio.com.ua, moscalyuk@chem-bio.com.ua, kononchuk@chem-bio.com.ua, forik-botan@i.ua

ШЛЯХ УЧЕНОГО І НАСТАВНИКА: ДО 90-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ ІВАНА МИКОЛАЙОВИЧА БУТНИЦЬКОГО

Хто сіє знання, той пожинає мудрість,
а хто плекає сад – дарує світу майбутнє.
Народна мудрість

Стаття присвячена визначній даті – 90-річчю від дня народження відомого українського вченого у галузі фізіології рослин, досвідченого педагога та авторитетного організатора вищої школи, кандидата біологічних наук, доцента Івана Миколайовича Бутницького. У роботі проаналізовано життєвий шлях, наукову та громадську діяльність ювіляра, чиє ім'я нерозривно пов'язане зі становленням та розвитком Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.

Авторами проаналізовано біографію вченого: від часу народження на Івано-Франківщині та навчання у Чернівецькому державному університеті до періоду активного наукового пошуку. Особливу увагу приділено внеску І. М. Бутницького як адміністратора на посадах проректора з навчальної роботи та ректора Тернопільського педагогічного інституту (1982–1984 рр.). Висвітлено його зусилля, спрямовані на модернізацію освітнього процесу, зміцнення матеріально-технічної бази лабораторій фізіології рослин і мікробіології, що сприяло якісній підготовці фахівців.

Науковий доробок вченого розглянуто крізь призму його фундаментальних досліджень полярності та фізіолого-біохімічних основ сексуалізації дводомних рослин (*Actinidia*, *Ginkgo biloba*, *Humulus* та ін.). Розкрито значення його експериментів із вивчення життєстійкості чоловічих та жіночих особин, а також досліджень фізіологічної активності нових хімічних сполук. Окремим блоком виділено результати роботи в галузі біологічної азотфіксації бобових культур, що проводилася у тісній координації з Інститутом фізіології рослин і генетики НАН України та мала важливе значення для розуміння підвищення родючості ґрунтів.

Педагогічний стиль І. М. Бутницького охарактеризовано як інноваційний для свого часу, зокрема зроблено акцент на впровадження ним проблемного навчання та залучення студентів до активного наукового пошуку. Стаття також висвітлює громадську позицію вченого як керівника Тернопільського відділення Українського товариства фізіологів рослин та його роль у вихованні наукової зміни. У висновках наголошено на важливості ціннісних орієнтирів вченого. Порядність, працьовитість та любов до професії, що притаманні Івану Миколайовичу, визначають його як авторитетного наставника, чий досвід залишається актуальним для розбудови сучасної наукової і педагогічної спільноти.

Ключові слова: І. М. Бутницький, історія біологічної науки, фізіологія рослин, біологічна азотфіксація, наукова спадщина.

9 вересня 2025 року виповнилося 90 років з дня народження відомого українського вченого в галузі фізіології рослин і педагогіки вищої школи, ректора Тернопільського педагогічного інституту (1982–1984 рр.), кандидата біологічних наук, доцента Івана Миколайовича Бутницького.

Народився Іван Миколайович у родині Бутницьких Миколи Івановича та Парасковії Іванівни, які були селянами від діда-прадіда у мальовничому селі Вікно тодішнього Городенківського повіту (нині Коломийського району) Станіславської (тепер Івано-Франківської) області. Батьки були середньо заможні, мали 2,5 га орної землі [1]. У ті часи, за панської Польщі, зароблені кошти селяни вкладали на придбання орної землі. Це і визначало їх майновий рівень. Народна мудрість говорить: щоб бути щасливим, важливо народитись здоровим і в розумних батьків. Батьки Івана Миколайовича мали лише початкову освіту, але були працьовитими, мали відчуття обов'язку, поважали односельчан і користувались пошаною в селі.

Дитинство Івана Миколайовича проходило у складний період. У 1939 році Східну Галичину було приєднано до Української Радянської Соціалістичної Республіки (УРСР), невдовзі розпочалася Друга світова війна. Після важких воєнних часів наступив голод. Батько, Микола Іванович, з перших днів Другої світової війни пішов на фронт і воював до перемоги над фашистською Німеччиною, був поранений, за мужність нагороджений медаллю «За відвагу» та Орденом Великої Вітчизняної війни II ступеня [1].

У 1943 році Іван Бутницький вступив до першого класу Вікнянської семирічної школи, у якій закінчив 5 класів. Навчання здібному хлопцю давалося легко. Щоб син отримав хороші і глибокі знання, батько, порадившись з дідом (батьком мами), відправив його на навчання до Коломийської середньої школи № 1 (відстань 30 км від с. Вікно), де він вчився упродовж трьох років з 6 по 8 клас [9]. Батьки вважали, що в колишній гімназії буде більш ґрунтовніше навчання і це посприяє отриманню майбутньої професії із заробітною оплатою, а не з трудоднями.

У післявоєнний період Іван Миколайович став свідком утвердження радянської влади на Прикарпатті. У 1947 році в селі організували колективне господарство (колгосп), внаслідок чого землю усуспільнили, межі особистих землеволодінь переорали і приватне господарювання селяни втратили.

У 1950 році Іван Бутницький повернувся додому із Коломийської середньої школи і вступив у 9 клас середньої школи сусіднього села Тишківці. З учнями-односельцями щоденно долали 3 км (відстань між селами). У 1952 році успішно з хорошими і відмінними оцінками закінчив цю школу [2].

Тяга до знань та освіти визначила подальшу долю юнака. У тому ж році він вступив на перший курс агрономічного відділення біологічного факультету Чернівецького державного університету (нині Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича). У червні 1955 року університетом здійснено перший і єдиний випуск агрономів. У тому ж місяці рада міністрів УРСР ухвалила постанову про переведення агрономічного відділення з Чернівецького університету до Львівського сільськогосподарського інституту [3]. Після оголошення постанови декан біологічного факультету запропонував Івану Бутницькому перевестись на біологічну спеціальність. Він прийняв пропозицію і після написання відповідної заяви залишився студентом Чернівецького університету. Для ліквідації академічної різниці в навчальних планах біологічного і агрономічного відділень за три попередні роки здібний студент склав близько десяти заліків та екзаменів, не гаючи часу, наполегливо щоденно освоював визначені деканатом предмети і продовжив навчання на 4 курсі біологічного факультету. Одночасно подав клопотання про бажання спеціалізуватись на кафедрі фізіології рослин, яку очолював відомий учений, професор Георгій Хрисанфович Молотковський. У цей період ближче познайомився зі студентом Кузьмою Векірчиком (народився у с. Задубрівці Снятинського району Івано-Франківської області, 15.09.1929 – 03.11.2009 рр.), який спеціалізувався на цій же кафедрі і закінчив університет у 1957 р. за спеціальністю «Біолог-фізіолог рослин». З 1959 по 1962 рр. К. М. Векірчик був аспірантом кафедри фізіології рослин і мікробіології Чернівецького університету. Доля двох юнаків із Івано-Франківщини поєднала їх на все життя.

Після закінчення в 1957 р. університету І. М. Бутницького направлено на вчительську роботу у Волинську область, де він пропрацював 3 роки, а в 1960 р. отримав листа з пропозицією Г. Х. Молотковського обійняти посаду лекційного асистента кафедри фізіології рослин Чернівецького університету та зайнятись науковою роботою на правах аспіранта для виконання дисертаційних досліджень [9]. Відтак, з 1 вересня 1960 р. Івана Миколайовича призначено лекційним асистентом з терміном перебування на зазначеній посаді 4 роки. Робота лекційного асистента полягала в оснащенні лекцій і практичних занять демонстраційними та допоміжними матеріалами. Його праця, на відміну від аспірантів, зараховувалася в педагогічний стаж вищої школи. З цього часу І. М. Бутницький почав наукові дослідження під керівництвом доктора біологічних наук, професора Г. Х. Молотковського [6].

У вересні 1964 р. Іван Миколайович пройшов за конкурсом на посаду старшого викладача загальнонаукового факультету Чернівецького університету, філіал якого було створено в Івано-Франківську. Згодом цей філіал був підпорядкований Івано-Франківському педінституту (тепер Карпатський національний університет імені Василя Стефаника). Протягом 1968–1970 рр. учений виконував обов'язки завідувача кафедри агробіології в Івано-Франківському педагогічному інституті на заочному відділенні, де на високому науково-методичному рівні проводив лекційні і практичні заняття з фізіології рослин, мікробіології та ботаніки (анатомії і морфології рослин, систематики нижчих рослин), брав активну участь в оснащенні лабораторій та кабінетів, громадському житті інституту, систематично виступав з лекціями перед вчителями міста та області, керував школою юних біологів. Саме в Івано-Франківському педагогічному інституті І. М. Бутницький знову зустрівся з товаришем студентського періоду, на той час старшим викладачем (1965 р.), потім в. о. доцента кафедри агробіології (з грудня 1966 р. по вересень 1967 р.) Кузьмою Миколайовичем Векірчиком. Проте тоді Міністерство вищої і середньої спеціальної освіти видало постанову про ліквідацію загальнонаукових факультетів у вищих навчальних закладах і перед Іваном Миколайовичем постало питання про працевлаштування.

У цей же період відбулося перебазування Кременецького педагогічного інституту до Тернополя, у якому вже на той час працював доцентом кафедри кандидат біологічних наук К. М. Векірчик, який познайомив І. М. Бутницького із завідувачкою кафедри ботаніки, доцентом Валентиною Омелянівною Шиманською і 14 січня 1970 р. за конкурсом Івана Миколайовича було обрано на посаду асистента кафедри ботаніки Тернопільського педагогічного інституту [8]. Отже, з 1970 р. розпочалася наукова і педагогічна діяльність І. М. Бутницького в колективі цього навчального закладу.

Іван Миколайович працював в атмосфері постійного наукового пошуку й пізнання. Як наголошує народна мудрість: *«Природа – це книга, яку треба вміти читати, а серце вчителя – це ґрунт, у якому зерна науки стають могутніми деревами»*. У 1970–1974 рр. І. М. Бутницький вивчав фізіологічну активність нових сполук, синтезованих доцентом Б. М. Гоцуляком в хімічних лабораторіях Івано-Франківського педагогічного інституту, і за результатами дослідження опублікував 4 статті. У 1975 р. захистив кандидатську дисертацію на тему: «Полярність і фізіолого-біохімічні особливості сексуалізації деяких дводомних рослин». Науковим керівником роботи був завідувач кафедри фізіології рослин Чернівецького університету, професор Георгій Хрисанфович Молотковський [9]. Рішенням вченої ради Чернівецького державного університету від 29 грудня 1975 року (протокол № 5) Бутницькому Івану Миколайовичу присуджено науковий ступінь кандидата біологічних наук за спеціальністю – фізіологія рослин. З 1975 до 1978 рр. Іван Миколайович працював старшим викладачем, а з 1978 р. – доцентом кафедри ботаніки Тернопільського пединституту [10].

У центрі наукової уваги Івана Миколайовича перебували дводомні рослини: від знайомих усім хмелю та кропиви до реліктового ґінкго дволопатевого й актинідії. Учений детально вивчав «життєстійкість» чоловічих та жіночих особин, експериментуючи з їхнім укоріненням та шукаючи способи передбачити стать рослини ще з насінини. Його цікавило, як тривалість світлового дня впливає на ріст конопель та які приховані фізіолого-біохімічні процеси керують розвитком їхніх надземних і підземних органів. Ці ґрунтовні дослідження дозволили глибше зрозуміти природу формування статі у рослинному світі.

Сьогодні живим свідченням невтомної праці Івана Миколайовича є дві особини ґінкго дволопатевого, що прикрашають внутрішній дворик дендрарію ТНПУ. Ці дерева, дбайливо посаджені вченим, стали не лише частиною ландшафту, а й символом його відданості ботанічній науці. Окрім практичного внеску в озеленення університету, Іван Бутницький провадив активну міждисциплінарну наукову роботу. Зокрема, у співпраці з колегами – доцентом Б. М. Гоцуляком (перейшов на роботу з педагогічного інституту до Івано-Франківського інституту нафти і газу (нині Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)) та викладачем В. І. Возняком (Івано-Франківський медичний інститут (тепер Івано-Франківський національний медичний університет)) – він займався дослідженням фізіологічної активності нових сполук на основі похідних лепідинію.

Значна частина професійного життя Івана Миколайовича пов’язана з Тернопільським національним педагогічним університетом імені Володимира Гнатюка, де він пройшов шлях до досвідченого педагога та відповідального керівника. Зокрема, у 1978 році його обирають секретарем Вченої ради Тернопільського педагогічного інституту. Протягом 1979–1982 рр. він обіймав посаду проректора з навчальної роботи, а з 1982 до 1984 рр. очолював інститут на посаді ректора [5]. У цей період Іван Миколайович доклав значних зусиль для зміцнення матеріально-технічної бази навчального закладу та підвищення якості фахової підготовки майбутніх учителів. Пізніше, упродовж 1988–2002 рр., він керував кафедрою ботаніки (світлина 1), а упродовж наступного десятиліття (2002–2012 рр.) продовжував ділитися досвідом із молодим поколінням на посаді доцента цієї ж кафедри (світлина 2).

Світлина 1. Колектив кафедри ботаніки (1996 р.).

Громадська активність та організаторський талант Івана Миколайовича виявилися у багатьох сферах життя установи. У 1978 році на нього було покладено відповідальну місію – роботу на посаді відповідального секретаря приймальної комісії інституту [8]. Окрім цього, він неодноразово очолював профспілковий комітет працівників, дбаючи про інтереси колективу. Попри значне адміністративне навантаження, Іван Бутницький завжди приділяв увагу власному професійному вдосконаленню. Його фахове становлення проходило у провідних наукових центрах, зокрема у Київському державному університеті імені Т. Г. Шевченка (тепер Київський національний університет імені Тараса Шевченка), а управлінський досвід він збагачував на спеціалізованих курсах для керівного складу.

Світлина 2. Колектив кафедри ботаніки (2010 р.).

Іван Миколайович увійшов в історію нашого університету як талановитий організатор вищої школи та взірець відданості своїй справі. Його завжди вирізняли принциповість, виняткова працьовитість та наполегливість у досягненні поставлених цілей. Виважений підхід до управління університетом у поєднанні з глибокою відданістю фізіологічній науці дозволили Івану Миколайовичу сформувати міцне підґрунтя для розвитку кафедри та факультету на десятиліття вперед. Глибокі теоретичні знання вченого стали джерелом натхнення для багатьох поколінь: він щедро ділився досвідом не лише зі студентами, а й із вчителями-практиками на курсах підвищення кваліфікації та в лекторіях товариства «Знання». Особливою заслугою Івана Миколайовича є вибудовування міцного зв’язку між академічною наукою та загальноосвітніми школами області, що дозволило гармонійно поєднати підготовку майбутніх фахівців із реальними потребами сучасної школи.

Неоціненним є внесок Івана Миколайовича в розбудову технічного потенціалу факультету, зокрема в оснащення лабораторії фізіології рослин і мікробіології. Завдяки його особистому сприянню було сформовано солідну інструментальну базу: придбано термостати, дистилятори, фотоелектроколориметри, гомогенізатори тканин та інше обладнання, яке й донині надійно служить студентам хіміко-біологічного факультету та науковцям кафедри [7]. Викладаючи курс «Фізіологія рослин», Іван Бутницький не лише розкривав сучасні наукові досягнення та їхню роль у землеробстві, а й виховував у студентів гордість за вітчизняну науку, акцентуючи увагу на відкриттях українських учених. Його лабораторні заняття та навчальні практики завжди мали дослідницький характер, спонукаючи молодь до самостійного наукового пошуку. Особливий педагогічний стиль Івана Миколайовича базувався на впровадженні проблемного навчання. Перед студентами часто ставилися складні дослідницькі завдання, вирішення яких вимагало глибокого опанування методик польового, вегетаційного та лабораторного експериментів.

Наукова діяльність Івана Миколайовича була спрямована на вирішення стратегічного завдання – підвищення родючості ґрунтів та врожайності бобових культур природним шляхом. Він став одним із провідних фахівців у галузі вивчення біологічної азотфіксації. Його дослідження допомогли знайти способи «приручити» бактерії, щоб вони активніше допомагали рослинам (люпину, люцерні, козлятнику) засвоювати азот з повітря. Ця праця була проведена спільно з провідними вченими Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. Як авторитетний науковець Іван Бутницький об'єднував колег з усієї країни, організовуючи масштабні заходи, серед яких – ІІІ з'їзд фізіологів рослин України, що відбувся у Тернополі в 2001 р.

Науковий доробок І. М. Бутницького нараховує понад 130 праць, серед яких – два патенти на винаходи. Держава високо оцінила його багаторічну працю: Іван Миколайович нагороджений медаллю «Ветеран праці», значком «Відмінник народної освіти УРСР» та численними почесними грамотами [11]. Його авторитет визнаний і громадою міста, де він обирався депутатом міської ради, а також професійною спільнотою – через багаторічне керівництво Тернопільським відділенням Українського товариства фізіологів рослин.

Важливою складовою діяльності Івана Миколайовича є підготовка наукової зміни. Як авторитетний фахівець, він неодноразово виступає офіційним опонентом та рецензентом кандидатських дисертацій. Особливу увагу вчений приділяє роботі з молоддю, керуючи написанням дипломних робіт та першими науковими публікаціями студентів. Такий підхід дозволяє вчасно розгледіти обдарованих випускників та дати їм путівку у велику науку через рекомендації до аспірантури. Завдяки тісній співпраці з науковцями Інституту фізіології рослин і генетики НАН України здібні випускники ТНПУ (Михальський М., Михальська Л., Левчук О., Михалків Л., Нижник Т., Стахів М., Тарасюк О., Зая Н., Василюк В., Веселовська Л.) стали аспірантами інституту, а відтак успішно захистили дисертаційні роботи і нині плідно працюють у НАН України, науково-дослідних інститутах, аграрних компаніях та закладах вищої освіти.

Багаторічна праця Івана Миколайовича в університеті – це не лише дати та посади, а, насамперед, тисячі вдячних випускників-біологів, для яких він став мудрим наставником. Його життєвий шлях є прикладом безкорисливого служіння освіті, науці та рідному університету. І сьогодні Іван Миколайович Бутницький продовжує брати активну участь у наукових заходах хіміко-біологічного факультету та університету (світлина 3).

Світлина 3. Іван Миколайович Бутницький – учасник VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2025» (1–2 травня 2025 р.).

Життєве кредо Івана Миколайовича Бутницького – це самовіддане служіння освіті і науці, що ґрунтується на засадах демократичності, чесності та рішучості. Привабливість його образу – у надзвичайній порядності, тонкому гуморі та щирому прагненні робити добро. Для

молодих науковців постать Івана Миколайовича є справжнім орієнтиром у виборі життєвого шляху, взірцем того, як відданість справі поєднується з людяністю.

Особливе місце у житті Івана Миколайовича завжди посідала його родина. Багато років надійним товаришем, вірною супутницею та джерелом підтримки була його дружина – Ольга Йосипівна. Разом вони вибудували міцний сімейний фундамент і виховали двох чудових синів, Юрія та Романа. Сьогодні світла пам'ять про дружину та любов чотирьох онуків – Андрія, Олега, Софії й Іванка – зігрівають серце ювіляра, даруючи йому сили та наснагу продовжувати свій життєвий шлях.

Щиросердечно вітаючи Івана Миколайовича з Днем народження, ми висловлюємо йому почуття глибокої поваги та вдячності. Бажаємо ювіляру міцного здоров'я, душевного спокою та родинного затишку в колі дітей та онуків. Нехай творча енергія залишається невичерпною, а кожен день дарує радість і натхнення (світлина 4).

Світлина 4. Іван Миколайович Бутницький у колі родини, друзів та колег під час святкування 90-річчя від дня народження (9 вересня 2025 р.).

Іван Миколайович Бутницький – Людина з великої літери, чий життєвий шлях доводить, що щире служіння науці та освіті є найвищим його покликанням.

1. Архів Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль, спр. 2819. 119 арк.
2. Барна М. М., Барна Л. С. Розвиток ботанічної науки в Тернопільському національному педагогічному університеті імені Володимира Гнатюка. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2010. № 1 (42). С. 3–25.
3. Бібліографія наукових і науково-методичних праць викладачів хіміко-біологічного факультету Тернопільського державного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка 1962–2002 рр. / уклад.: Барна М. М. та ін.; за ред. М. М. Барни. Тернопіль : Видавничий відділ ТДПУ, 2002. 182 с.
4. Бутницький Іван Миколайович. *Вікіпедія*. URL: https://surl.li/kegxec (дата звернення: 28.08.2025).
5. Бутницький Іван Миколайович. *Тернопільський енциклопедичний словник* : у 4 т. / редкол.: Г. Яворський та ін. Тернопіль : Видавничо-поліграфічний комбінат «Збруч», 2004. Т. 1 : А–Й. С. 204.
6. Бутницький І. М., Векірчик К. М., Пида С. В., Конончук О. Б. Становлення і розвиток наукових досліджень з фізіології рослин в Тернопільському національному педагогічному університеті ім. Володимира Гнатюка. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2009. № 1–2 (39). С. 210–218.

7. Історія університету. Ректори. *Офіційний сайт Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. URL: https://tnpu.edu.ua/about/istoriya-universitetu/ (дата звернення: 28.08.2025).
8. Нариси історії хіміко-біологічного факультету Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка (1940–2010) / М. М. Барна та ін.; за ред. М. М. Барни. Тернопіль : Підручники і посібники, 2010. 312 с.
9. Пида С. В., Барна М. М., Барна Л. С. Бутницький Іван Миколайович – відомий вчений у галузі фізіології рослин та педагогіки вищої школи. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2016. № 3–4 (67). С. 133–146.
10. Пида С. В., Барна М. М., Барна Л. С. Відомий український вчений-біолог та педагог (до 85-річчя від дня народження). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2020. № 3–4 (80). С. 139–144.
11. Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка: 1940–2020 : [історія та сучасність] / [редкол.: Б. Буяк та ін.]. Тернопіль : ТНПУ, 2020. 340 с.

References

1. Arkhiv Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka, m. Ternopil, spr. 2819. 119 ark. [in Ukrainian]
2. Barna M. M., Barna L. S. Rozvytok Botanichnoi Nauky v Ternopilskomu natsionalnomu pedahohichnomu universyteti imeni Volodymyra Hnatiuka. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. Biolohiia*. 2010. № 1 (42). S. 3–25. [in Ukrainian]
3. Bibliohrafiia naukovykh i naukovo-metodychnykh prats vykladachiv khimiko-biolohichnoho fakultetu Ternopilskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka 1962–2002 rr. / uklad.: Barna M. M. ta in.; za red. M. M. Barny. Ternopil : Vydavnychyi viddil TDPU, 2002. 182 s. [in Ukrainian]
4. Butnytskyi Ivan Mykolaiovych. *Vikipediia*. URL: https://surl.li/kegxec (data zvernennia: 28.08.2025). [in Ukrainian]
5. Butnytskyi Ivan Mykolaiovych. *Ternopilskyi entsyklopedychnyi slovnyk* : u 4 t. / redkol.: H. Yavorskyi ta in. Ternopil : Vydavnycho-polihrafichnyi kombinat «Zbruch», 2004. T. 1 : A – Y. S. 204. [in Ukrainian]
6. Butnytskyi I. M., Vekirchyk K. M., Pyda S. V., Kononchuk O. B. Stanovlennia i rozvytok naukovykh doslidzhen z fiziolohii roslyn v Ternopilskomu natsionalnomu pedahohichnomu universyteti im. Volodymyra Hnatiuka. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. Biolohiia*. 2009. № 1–2 (39). S. 210–218. [in Ukrainian]
7. Istoriia universytetu. Rektory. *Ofitsiynyi sait TNPU im. V. Hnatiuka.* URL: https://tnpu.edu.ua/about/istoriya-universitetu/ (data zvernennia: 28.08.2025). [in Ukrainian]
8. Narysy istorii khimiko-biolohichnoho fakultetu Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka (1940–2010) / M. M. Barna ta in.; za red. M. M. Barny. Ternopil : Pidruchnyky i posibnyky, 2010. 312 s. [in Ukrainian]
9. Pyda S. V., Barna M. M., Barna L. S. Butnytskyi Ivan Mykolaiovych vidomyi vchenyi u haluzi fiziolohii roslyn ta pedahohiky vyshchoi shkoly. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia: Biolohiia*. 2016. № 3–4 (67). S. 133–146. [in Ukrainian]
10. Pyda S. V., Barna M. M., Barna L. S. Vidomyi ukrainskyi vchenyi-bioloh ta pedahoh (do 85-richchia vid dnia narodzhennia). *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia: Biolohiia.* 2020. № 3–4 (80). S. 139–144. [in Ukrainian]
11. Ternopilskyi natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni Volodymyra Hnatiuka: 1940–2020 : [istoriia ta suchasnist] / [redkol.: B. Buiak ta in.]. Ternopil : TNPU, 2020. 340 s. [in Ukrainian]

S. V. Pyda, N. V. Moskaliuk, O. B. Kononchuk, R. L. Yavorivskyi
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

THE PATH OF A SCIENTIST AND A TEACHER: TO THE 90TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF IVAN MYKOLAYOVYCH BUTNYTSKYI

This article is dedicated to a significant milestone – the 90th anniversary of Ivan Mykolaiovych Butnytskyi, a renowned Ukrainian scientist in the field of plant physiology, an experienced educator, and an authoritative organiser of higher education, PhD in Biological Sciences, and Associate Professor. The paper provides a comprehensive analysis of the life path, scientific and social activities of the celebrant, whose name is inextricably linked with the establishment and flourishing of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University.

The authors meticulously reconstruct the scientist's biographical chronicle, delineating his origins in the Ivano-Frankivsk region and his academic pursuits at Chernivtsi State University, culminating in the period of active scientific inquiry. This study places particular emphasis on the administrative contributions of I. M. Butnytskyi during his tenure as Vice-Rector for Academic Affairs and Rector of the Institute (1982–1984). His contributions are particularly noteworthy in the modernisation of the educational process, the enhancement of the material and technical infrastructure, and the systematic provision of contemporary instrumentation to the laboratories of plant physiology and microbiology. These endeavours laid the foundation for the high-quality training of future specialists.

The scientist’s scientific output is examined through the prism of his fundamental research on polarity and the physiological and biochemical foundations of sexualisation in dioecious plants (*Actinidia, Ginkgo biloba, Humulus,* etc.). The significance of his experiments on the viability of male and female individuals, as well as interdisciplinary studies of the physiological activity of new chemical compounds, is revealed. A separate section highlights the results of work in the field of biological nitrogen fixation of leguminous crops, conducted in close coordination with the Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, which had strategic importance for increasing soil fertility.

The pedagogical style of I. M. Butnytskyi is characterised as innovative for its time, with emphasis placed on the implementation of problem-based learning and the involvement of students in active scientific research. The article also covers the scientist's social position as the head of the Ternopil branch of the Ukrainian Society of Plant Physiologists and his role in nurturing a new generation of scientists. The conclusions emphasise the pivotal role of the scientist’s value orientations. The qualities of integrity, industriousness and a profound love of the profession that are embodied in Ivan Mykolaiovych are indicative of his role as an authoritative mentor, whose experience remains pertinent for the development of the modern scientific community.

Key words: I. M. Butnytskyi, history of biological science, plant physiology, biological nitrogenation, scientific heritage.

Надійшла 10.09.2025.

ПОВІДОМЛЕННЯ, РЕЦЕНЗІЇ, ХРОНІКА

УДК 581.1:582.926.2]:631.8 doi: 10.25128/2078-2357.25.3.10

РЕЦЕНЗІЯ НА МОНОГРАФІЮ

[Рецензія] [1]С. П. Машковська, [2]О. Б. Мацюк, [3]О. В. Тригуба Фізіологічні основи регуляції росту та продуктивності помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.) за впливу органо-мінеральних добрив : монографія / А. Дзендзель, С. Пида. Тернопіль : ФОП Осадца Ю. В., 2024. 140 с.

У рецензії проаналізовано зміст та структуру монографії «Фізіологічні основи регуляції росту та продуктивності помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.) за впливу органо-мінеральних добрив» науковців Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка А. Дзендзеля та С. Пиди. У монографії висвітлено сучасні підходи до регуляції фізіолого-біохімічних процесів, які сприяють формуванню продуктивності та високої якості плодів помідора їстівного за використання органо-мінеральних добрив.

Відзначено ґрунтовний аналіз вітчизняних і зарубіжних наукових праць, детальну характеристику складу, властивостей, механізмів дії та технології застосування рекультиванту композиційного TREVITAN® (RKT), а також високий рівень експериментальних досліджень, що охоплюють вегетаційні та польові умови. Показано наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, які підтверджують позитивний вплив RKT на морфогенез, фотосинтетичну активність, процеси водообміну, урожайність і біохімічний склад плодів помідора їстівного. Зроблено висновок про доцільність використання органо-мінеральних добрив як ефективного чинника регуляції фізіологічних процесів і підвищення якості овочевої продукції.

Рецензована монографія є фундаментальною науково-прикладною працею, рекомендована широкому колу науковців і практиків у галузі біології, фізіології рослин та сільського господарства, а також викладачам, аспірантам і студентам аграрних та біологічних спеціальностей.

[1]**Машковська Світлана Петрівна** – старший науковий співробітник Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України, м. Київ, Україна. E-mail: mashkovska@ukr.net

[2]**Мацюк Оксана Богданівна** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки та зоології Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль, Україна. E-mail: macjuk@chem-bio.com.ua

[3]**Тригуба Олена Василівна** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка, м. Кременець, Україна. E-mail: boratun1@ukr.net

Ключові слова: монографія, помідор їстівний, органо-мінеральні добрива, рекультивант композиційний TREVITAN®.

У видавництві тернопільського видавця ФОП Осадца Ю. В. у 2024 р. вийшла друком монографія доктора філософії Андрія Юрійовича Дзендзеля і докторки сільськогосподарських наук, професорки Світлани Василівни Пиди. Загальний обсяг монографії становить 140 сторінок друкованого тексту. Рецензентами монографії були доктор біологічних наук, професор, академік НАН України Віктор Валентинович Швартау та доктори біологічних наук, професори Володимир Григорович Кур'ята і Василь Васильович Грубінко.

У структурному відношенні монографія включає перелік умовних скорочень, україномовну та англомовну анотації, вступ, чотири розділи, список сучасної україномовної та іноземної літератури і додатки. В анотації зазначено, що монографія присвячена дослідженню морфогенезу, особливостей процесів росту, водообміну, параметрів фотосинтезу, формування продуктивності та якісного складу плодів помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.) за впливу органо-мінерального добрива рекультиванта композиційного TREVITAN® (RKT).

Автори зазначають, що одним із пріоритетних завдань сучасної біології та сільськогосподарської практики є розробка фізіологічних основ підвищення продуктивності овочевих культур з високою якістю плодів. Вагомим чинником, який регулює фізіологічні процеси, а відтак впливає на продуктивність рослин, є добрива. Оскільки помідор їстівний є однією з найбільш значущих у раціоні людини овочевою культурою, то використання мінеральних азотних добрив хоч сприяє підвищенню урожаю, проте погіршує їх якісний склад. Альтернативою виступають органо-мінеральні добрива (ОМД), застосування яких у технологіях вирощування рослин є складовою частиною органічного землеробства.

Особливо цінним є те, що автори у своїх дослідженнях для регуляції фізіологічних процесів з метою підвищення продуктивності *L. esculentum* та поліпшення якості плодів використали препарат органічного походження на основі гумінових кислот.

В анотації у стислій формі автори репрезентують результати досліджень, представлених у розділах монографії, та наводять перелік ключових слів.

У вступі показано актуальність вивчення фізіолого-біохімічних процесів і продуктивності томатів за застосування ОМД, наведено результати досліджень українських та іноземних вчених стосовно ефективності їх застосування і зроблено висновок, що питання впливу органічної технології вирощування на фізіологічні процеси, урожайність та якість плодів помідорів залишається не повністю з'ясованим.

Перший розділ монографії включає чотири підрозділи, присвячений питанням ефективності використання органо-мінеральних добрив для вирощування овочевих культур. Зокрема, на основі аналізу наукової літератури наведено загальну характеристику сучасних органо-мінеральних добрив, показано їхній вплив на родючість ґрунту, морфо-фізіологічні процеси в рослинах *L. esculentum*, розкрито механізми формування продуктивності овочевих культур за використання ОМД. Авторами детально описано якісний склад плодів помідора за різних систем вирощування та їх лікувально-профілактичну дію на організм людини.

У другому розділі монографії наведено загальну характеристику RKT та рекомендації стосовно його застосування у рослинництві. Препарат розроблений товариством з обмеженою відповідальністю «ТРЕВІТАН УКРАЇНА» згідно з ТУ У 20.1-44141048-002:2021, має органічне походження і представлений у трьох формах: для швидкої регенерації ґрунту з метою поліпшення його родючості, обробки насіння і посадкового матеріалу з метою реалізації генетичного потенціалу та прискорення росту і розвитку різноманітних сільськогосподарських культур. RKT зареєстровано в державній санітарно-епідеміологічній службі України та в Канаді. До складу препарату входять органічні речовини, масова частка яких становить 55,0–75,0 %, частка гумінових органічних речовин становить 2,0–7,0 % на суху речовину препарату, частка екстракту фульвових речовин – 0,8–3,0 %. Також розроблено технологію його застосування для вирощування помідора їстівного.

Автори вказують, що використання препаратів органічного походження під час вирощування культурних рослин знижуватиме забруднення природного навколишнього середовища, а також сприятиме відновленню родючості ґрунтів, підвищенню продуктивності

сільськогосподарських культур (оскільки забезпечуватиме рослини необхідними умовами росту і розвитку), поліпшенню мінерального живлення та екологічній стабільності агроекосистем, що відповідає тенденціям сільськогосподарської політики Європейського зеленого курсу.

У третьому розділі наведено результати дослідження впливу рекультиванту композиційного TREVITAN® на ростові процеси, продуктивність та якісний склад плодів помідора їстівного, представлено результати вегетаційних і польових досліджень. Авторами встановлено, що застосування RKT для обробки насіння та позакореневого підживлення рослин помідора їстівного впливає на морфогенез вегетативних органів і стимулює їх ростові процеси. Методом індукції флуоресценції хлорофілу виокремлено групу параметрів флуоресценції хлорофілу *a*, які виявились чутливими до позакореневого підживлення рослин RKT. Показано ефективність застосування RKT за параметрами продуктивності та якісного складу плодів помідора їстівного. Варто зазначити, що за результатами дослідження рослини помідора їстівного F1 Талент за впливу RKT у грунтово-кліматичних умовах Тернопільської області (Західний Лісостеп України) сформували вищий урожай плодів на 28,5–29,4 %, порівнюючи з контролем. Оцінка біохімічного складу плодів помідора їстівного F1 Талент за впливу RKT показала їх вищу харчову цінність у результаті більшого накопичення аскорбінової кислоти, каротиноїдів, флавоноїдів, дисахаридів та загального вмісту цукрів, зниження кислотності.

У четвертому розділі монографії проаналізовано та узагальнено результати дослідження ефективності використання RKT у технології вирощування помідора їстівного. Показано, що регулюючим чинником фізіологічних процесів, формування урожаю культури та якості її плодів можуть бути ОМД.

Список використаної літератури включає 293 джерела.

У додатках наведено документи, що засвідчують реєстрацію RKT в державній санітарно-епідеміологічній службі України та в Канаді, свідоцтво на торговельну марку TREVITAN та хімічний склад трьох форм препарату.

Матеріали, які представлені у монографії будуть корисні для біологів, фізіологів рослин, спеціалістів сільського господарства, викладачів, аспірантів і студентів профільних закладів вищої освіти.

S. P. Mashkovska, O. B. Matsiuk, O. V. Tryhuba
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

MONOGRAPH REVIEW

This review analyzes the content and structure of the monograph Physiological Foundations of Growth Regulation and Productivity of the Edible Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Under the Influence of Organo-Mineral Fertilizers, authored by researchers from Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University, A. Dzendzel and S. Pyda. The monograph elucidates contemporary approaches to the regulation of physiological and biochemical processes that facilitate productivity and high fruit quality in tomatoes through the application of organo-mineral fertilizers.

The review highlights a comprehensive analysis of domestic and international scholarly literature, a detailed characterization of the composition, properties, mechanisms of action, and application technology of the TREVITAN® (RKT) composite soil amendment, as well as the high standard of experimental research conducted in both pot experiments and field trials. It demonstrates the scientific novelty and practical significance of the findings, which confirm the positive impact of RKT on morphogenesis, photosynthetic activity, water exchange processes, yield, and the biochemical composition of tomato fruits. The conclusion underscores the efficacy of utilizing organo-mineral fertilizers as a potent factor in regulating physiological processes and enhancing the quality of vegetable crops.

The reviewed monograph represents a fundamental piece of applied scientific research and is recommended to a wide audience of scientists and practitioners in the fields of biology, plant physiology, and agriculture, as well as to faculty, PhD candidates, and graduate students specializing in agricultural and biological disciplines.

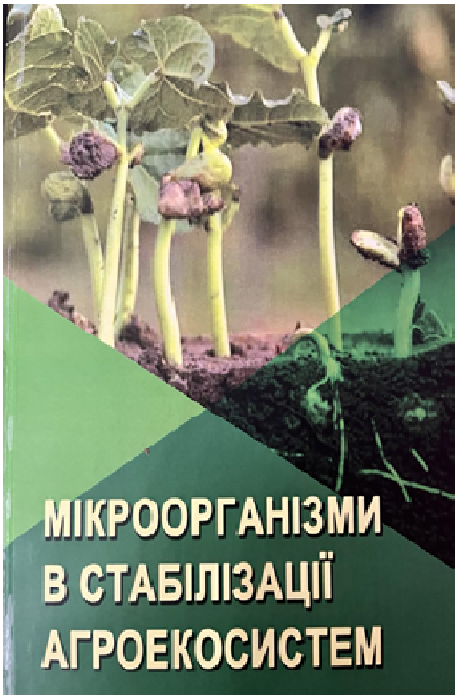
Key words: monograph, edible tomato, organo-mineral fertilizers, composite soil amendment TREVITAN®.

Надійшла 20.08.2025.

УДК 579:631.46 doi: 10.25128/2078-2357.25.3.11

РЕЦЕНЗІЯ НА МОНОГРАФІЮ «МІКРООРГАНІЗМИ В СТАБІЛІЗАЦІЇ АГРОЕКОСИСТЕМ»

[Рецензія] [1]С. В. Пида, [2]С. П. Машковська, [1]О. Б. Мацюк, [1]Н. В. Москалюк Мікроорганізми в стабілізації агроекосистем / за ред. В. П. Патики і В. В. Волкогона. Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2024. 352 с.



У рецензії подано аналітичний огляд колективної монографії «Мікроорганізми в стабілізації агроекосистем», що стала результатом спільної роботи провідних науковців України – Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України (м. Київ) та Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (м. Чернігів).

Монографія присвячена розв'язанню глобальної проблеми – подоланню екологічної кризи в агровиробництві, спричиненої інтенсивним забрудненням та кліматичними змінами. Метою видання є обґрунтування «біологічної революції» в землеробстві через оптимізацію функцій ґрунтових мікробіоценозів. Детально розкрито зміст монографії в десяти розділах. Особливу увагу приділено симбіотичним системам, зокрема механізмам формування високоефективних бобово-ризобіальних та асоціативних комплексів на основі азотфіксувальних бактерій і сапрофітних грибів (зокрема штамів *Chaetomium* та *Azospirillum*); біопрепаратам, зокрема огляду інноваційних засобів (*Ризогумін, Поліміксобактерин, Азогран, Фітовіт* та ін.), що забезпечують не лише живлення та ріст рослин, а й їхній імуномодулювальний захист; ековідновленню та технологіям очищення агросфери від стійких хлорорганічних пестицидів за допомогою мікроорганізмів-деструкторів, а також методам керованого компостування органічних відходів.

Окремої уваги заслуговує дев'ятий розділ, у якому автори монографії пропонують універсальну систему біоіндикації стану ґрунтів. Описано використання інтегральних показників і наочних методів графічної візуалізації даних («зірки», «амеби», «павутиння»), що дають змогу точно фіксувати антропогенні зміни в екосистемах.

Рецензована монографія є фундаментальною науково-прикладною працею. Вона доводить, що застосування мікробних технологій є економічно доцільним та екологічно необхідним кроком для забезпечення стабільності аграрного сектору й збереження природних ресурсів України.

[1]Пида Світлана Василівна – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри ботаніки та зоології Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль, Україна. E-mail: pyda@chem-bio.com.ua

[2]Машковська Світлана Петрівна – старший науковий співробітник Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України, м. Київ, Україна. E-mail: mashkovska@ukr.net

[1]Мацюк Оксана Богданівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки та зоології Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль, Україна. E-mail: macjuk@chem-bio.com.ua

[1]Москалюк Наталія Володимирівна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри ботаніки та зоології Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль, Україна. E-mail: moscalyuk@chem-bio.com.ua

Ключові слова: мікробіологія ґрунту, стале землеробство, біопрепарати, азотфіксація, біоіндикація, екологічна стабілізація, мікроорганізми.

У видавництві ніжинського видавця ПП Лисенка М. М. у 2024 р. вийшла друком колективна монографія провідних науковців Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України (м. Київ) й Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (м. Чернігів) «Мікроорганізми в стабілізації агроекосистем» за редакцією двох відомих українських учених-мікробіологів, академіків НААН Володимира Пилиповича Патики та Віталія Васильовича Волкогона.

Загальний обсяг монографії становить 352 сторінки друкованого тексту. Рецензентами монографії були академік НААН Тараріко Ю. О. і член-кореспондент НАН України Коць С. Я.

У структурному відношенні монографія включає передмову, зміст і десять розділів. До кожного розділу наведено список використаної сучасної української та іноземної літератури. Передмову написали академіки НААН Патика В. П. та Волкогон В. В., де зазначили, що тривале застосування агрохімікатів у поєднанні зі змінами клімату сприяють зростанню екологічного навантаження на агрофітоценози в усьому світі. Як вказують автори, щоб зберегти стійкість довкілля, а також забезпечити підвищення врожайності сільськогосподарських культур для вирішення майбутніх продовольчих проблем, потрібні нові екологічно обґрунтовані заходи для сільськогосподарської практики. Усе частіше звучать ідеї нової, «свіжої» зеленої революції (можливо, біологічної революції) у сільському господарстві, яка повинна базуватися на меншій кількості інтенсивних витрат і з меншим впливом на навколишнє середовище. При цьому є усвідомлення, що для підтримки функцій наземних екосистем вирішальне значення має оптимізація функціонування угруповань мікроорганізмів у ґрунтах через їхню провідну роль у колообігу, утриманні та вивільненні основних поживних для рослин речовин, а також забезпеченні контролю за розвитком фітопатогенів.

У цьому напрямі проводять дослідження фахівці двох відомих в Україні наукових центрів – Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України й Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. Завдяки їхнім зусиллям уже сьогодні у сільськогосподарську практику активно впроваджується низка наукових розробок, серед яких: мікробні препарати для покращення живлення рослин та їх захисту від захворювань і шкідників, технології біологічної очистки ґрунтів від хлорорганічних ксенобіотиків, технології керованого компостування органічної речовини за участі селекціонованих мікроорганізмів тощо.

Уже давно відчувалася необхідність у монографії, де на сучасному рівні були б висвітлені як екологічні, так і економічні аспекти застосування у виробництві розробок мікробіологів.

У першому розділі автори Волкогон В. В., Курдиш І. К., Москаленко А. М., Надкернична О. В., Козар С. Ф., Копилов С. П., Халеп Ю. М., Крутило Д. В., Токмакова Л. М., Дімова С. Б., Горбань В. П., Волкогон К. І., Шевченко Л. А. представили результати досліджень стосовно ефективності мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Автори зазначають, що в Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН розроблені мікробні препарати Ризобофіт і Ризогумін, у яких для кожного виду бобових культур використано специфічні селекціоновані штами бульбочкових бактерій. Застосування зазначених вище мікробних препаратів для інокуляції насіння перед сівбою сприяє формуванню активних бобово-ризобіальних систем, інтенсивнішому засвоєнню молекулярного азоту з атмосфери, інтенсифікації процесів азотного обміну, а відтак підвищенню урожайності та збільшенню вмісту білків у продукції. Для небобових культур на основі асоціативних азотфіксувальних бактерій створено також низку препаратів, зокрема Діазобактерин – для покращення азотного живлення та підвищення насіннєвої продуктивності жита озимого, гречки, пажитниці однорічної; Біогран – для картоплі, томатів, перцю, капусти, огірків та інших овочевих культур, Мікрогумін – для ячменю й вівса. На стадії передреєстраційних експертиз знаходяться препарати Азотобактерин та АБТ для обробки насіння овочевих культур. Автори вказують, що, окрім азоту, важливим елементом мінерального живлення є фосфор, сполуки якого в ґрунті є в

достатній кількості, але вони малодоступні для рослин. Для поліпшення фосфорного живлення на основі фосфатмобілізівних мікроорганізмів розроблено Поліміксобактерин для цукрових буряків, пшениці озимої, кукурудзи, льону-довгунцю, соняшнику та Альбобактерин для ріпаку і гірчиці. Ефективним для боротьби з низкою хвороб, поліпшення засвоєння поживних речовин рослинами і підвищення їх продуктивності є препарат широкого спектру дії Хетомік. В Інституті мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України розроблено комплексний бактеріальний препарат Азогран для покращення азотного і фосфорного живлення, стимуляції ростових процесів, покращення розвитку, фітоімунітету і підвищення продуктивності рослин.

У розділі наведено також результати високої ефективності застосування зазначених вище мікробних препаратів у технологіях вирощування різноманітних сільськогосподарських культур і вказано, що їх використання є економічно вигідним і екологічно доцільним.

Другий розділ репрезентує результати дослідження, що стосуються взаємодії мікро- і макросимбіонтів у ендофітних системах: ґрунтові гриби – азотфіксувальні бактерії-рослини (автори : Надкернична О. В., Копилов Є. П., Кислинська А. С., Шаховніна О. О.). Звернено увагу на особливості формування асоціативних симбіозів ґрунтового сапрофітного гриба *Chaetomium cochliodes* 3250 (біоагент мікробного препарату Хетоміка) із пшеницею ярою та гречкою посівною, азотфіксувальних бактерій роду *Azospirillum* зі злаковими сільськогосподарськими культурами та ефективних потрійних симбіозів «азотфіксувальні бактерії (*A. brasilense* 102) – сапрофітний гриб (*C. cochliodes* 3250) – рослина (пшениця яра, гречка)».

У третьому розділі колектив науковців (Титова Л. В., Іутинська Г. О., Голобородько С. П., Дубинська О. Д., Леонова Н. О., Шевчук Н. В., Білявська Л. О., Сергієнко В. Г.) представив результати досліджень стосовно біотехнологічних основ сталого розвитку агроекосистем і відновлення порушених ґрунтів. Ученими виявлено здатність біоагентів мікробних препаратів до синтезу фітогормонів ауксинового і цитокінінового типу, що покращує живлення і регулює ріст рослин; відібрано нові штами мікроорганізмів для розробки низки високоефективних поліфункціональних біопрепаратів (Ековітал, Ризобін^{к}, Екофосфорин та Азотобактерин-К), використання яких у рослинництві підвищує врожайність культур, поліпшує якість продукції і сприяє збереженню родючості ґрунту; обґрунтовано механізми формування продуктивності сої культурної за ендофітно-ризобіальної інокуляції в умовах зрошення Південного Степу України і розраховано економічну ефективність вирощування сортів сої різних груп стиглості за зазначених умов; показано позитивний вплив ендофітно-ризобіальної інокуляції на біологічну активність ризосферного ґрунту; зроблено висновок, що застосування препаратів на основі ендофітно-ризобіальних інокулянтів підвищує продуктивність сільськогосподарських культур, поліпшує функціональну структуру і біорізноманітність ризосферного мікробіому, покращує екологічну ситуацію завдяки зменшенню пресінгу несприятливих змін клімату та полютантів на довкілля.

У четвертому розділі «Бульбочкові бактерії та їх роль у підвищенні урожайності бобових культур» Крутило Д. В. характеризує різноманіття бульбочкових бактерій квасолі та сої у ґрунтових популяціях, акцентує увагу на скринінгу активних штамів *Rhizobium phaseoli*, їх симбіотичних властивостях та значенні у підвищенні врожайності рослини-господаря, наводить результати дослідження ефективності застосування рідкої і торф'яної форм мікробних препаратів Ризобофіту та Ризогуміну для квасолі за параметрами формування симбіотичних систем на коренях, нітрогеназної активності бульбочок, насіннєвої продуктивності та хімічного складу зерна квасолі різних сортів, показує результати впливу композицій двох селекціонованих штамів *Bradyrhizobum japonicum* на симбіотичні показники, азотфіксувальну активність та продуктивність 12-ти сортів сої. Автор рекомендує застосовувати бінарні композиції штамів бульбочкових бактерій *R. phaseoli* і *B. japonicum* як основу біопрепаратів для квасолі й сої.

Розділ п'ятий «Біотехнологічні продукти фітозахисної і рістстимулювальної дії на основі метаболітів ґрунтових стрептоміцетів» присвячений ґрунтовим стрептоміцетам – групі мікроорганізмів, які проявляють комплексну фітозахисну, рістрегулювальну та

імуномодулювальну активності. Автори Білявська Л. О., Іутинська Г. О., Лобода М. І. провели широкий скринінг ґрунтових стрептоміцетів, відібрали технологічно цінні штами, дослідили їх здатність накопичувати у біомасі та культуральній рідині комплекс біологічно активних речовин і розробили низку біопрепаратів (Фітовіт, Віолар, Аверком та Аверком нова), які містять у своєму складі синтезовані продуцентами антибіотики та інші метаболіти. Учені виявили високі біохімічні механізми стійкості рослин до фітопатогенів (мікроміцетів і паразитичних нематод), стимулювання процесів росту і розвитку, накопичення хлорофілів у листках в умовах біотичного стресу, підвищення продуктивності і поліпшення якості рослинної продукції за впливу зазначених вище метаболітних біопрепаратів.

Шостий розділ автори Копилов Є. П. і Цехмістер Г. В. присвятили репрезентації досліджень, що стосуються біологічного захисту сільськогосподарських культур. Він є логічним продовженням досліджень авторів попереднього розділу, хоч акцент зроблено на ґрунтових мікроміцетах родів *Chaetomium* і *Trichoderma* як біоагентів препаратів, що характеризуються антагоністичними та гіперпаразитичними властивостями відносно широкого спектру фітопатогенних грибів.

Перспективи та прикладні аспекти застосування ґрунтових мікроорганізмів для деструкції хлорорганічних сполук (автори Ямборко Н. А., Дімова М. І., Іутинська Г. О.) обґрунтовано у розділі 7. Автори зазначають, що сьогодні гостро стоїть питання накопичення залишкових кількостей хлорорганічних токсикантів в об’єктах навколишнього середовища, зокрема у ґрунті і воді. Найрозповсюдженішими хлорорганічними пестицидами є гексахлорбензол та гексахлорциклогексан, період напіврозпаду у ґрунті яких складає від 2-х до 6-ти років. Незважаючи на заборону виробництва зазначених вище речовин у багатьох країнах, вони у значних кількостях утворюються як проміжні продукти низки технологічних процесів, тому проблема деструкції хлорорганічних полютантів у забруднених ґрунтах є актуальною. Учені запропонували для очищення ґрунтів від пестицидного забруднення використовувати мікроорганізми, що здатні розкладати хлорорганічні речовини, відібрали ефективних деструкторів, розробили мікробні препарати на основі селекціонованих штамів та штучних поліфункціональних асоціацій (Біорем та Мікрос) і показали їх високу ефективність і перспективність для створення мікробних технологій з метою відновлення забруднених ґрунтів.

Розділ 8 «Особливості керованого компостування органічної речовини за участі селекціонованих мікроорганізмів» (автори Дімова С. Б., Волкогон В. В., М’ягка М. В., Деркач С. М., Шевченко Л. А.) присвячений проблемам мікробіологічних особливостей вермикомпостування гною великої рогатої худоби, збагаченого фосфоритами, та пташиного посліду за умов інтродукції до компостів фосфатмобілізувальних бактерій та активних штамів мікроміцетів роду *Trichoderma*. Автори показали, що застосування отриманих компостів у технологіях вирощування культурних рослин є економічно вигідним засобом, який суттєво підвищує їх продуктивність, а мікробіологічна конверсія має супутній екологічний ефект.

У дев’ятому розділі «Біологічні індикатори змін стану ґрунтів в агроценозах» автори Патика В. П. та Волкогон В. В. акцентують увагу на мікробіологічних показниках та методиках їх визначення, що слугують маркерами і характеризують зміни стану ґрунтів в агроценозах. Оскільки ґрунт є одним із найважливіших природних ресурсів, який визначає не лише життя рослин і тварин, але й забезпечує існування людської цивілізації, то збереження та догляд за ґрунтами є передумовою стабільності як агроекосистем, так і довкілля загалом. Особливо цінним є те, що автори пропонують застосовувати інтегральні показники оцінки мікробної біогенності та в цілому родючості ґрунтів, які є універсальними для різних ґрунтів і належним чином інформують про порушення їх змін, вимірювання яких є нескладним і точним при встановленні, наводять як власні, так і узагальнені на основі іноземної літератури методики визначення параметрів оцінки якості ґрунтів. На думку науковців, найбільш інформативними є визначення таких біоіндикаторів: загальної біологічної активності ґрунту за інтенсивністю емісії вуглекислого газу у системі ґрунт – атмосфера, вмісту в ґрунті біомаси мікроорганізмів газохроматографічним методом, потенційної нітрогеназної активності ґрунту, активності процесу амоніфікації в ґрунті, активності процесу нітрифікації в ґрунті, потенційної

денітрифікаційної активності ґрунту, чисельності азотобактера. З практичної точки зору важливим є опис методики відбору і підготовки зразків для мікробіологічних досліджень, також візуальне представлення складних результатів дослідження графічними методами, зокрема у формі «зірки», «амеби», «павутиння».

Розділ 10 «Ефективність використання мікробних препаратів у сучасних аграрних технологіях» (автори Халеп Ю. М., Москаленко А. М.) є логічним підведенням підсумків, представлених результатів експериментальних досліджень у попередніх розділах, оскільки доцільність інноваційних розробок ґрунтується на аналізі їх економічної, соціальної, екологічної та технологічної ефективності. Використання мікроорганізмів та продуктів їх метаболізму у технологіях сприяє збереженню біологічної рівноваги, суттєво впливає на родючість ґрунту, виробництво якісної продукції та зниження забруднення навколишнього середовища агрохімікатами. Автори зробили висновок, що в сучасних ринкових умовах застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування культурних рослин і тваринництві є не лише важливим засобом підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, але й необхідним чинником для підтримки його економічної стабільності.

У цілому монографія є фундаментальною науковою працею, у якій вдало поєднані теоретичні аспекти досліджень і детально описано особливості селекції агрономічно корисних мікроорганізмів, фундаментальні і прикладні сторони їхнього впливу на біологічні процеси у ґрунтах агроценозів, ріст і розвиток рослин, формування урожайності сільськогосподарських культур та якісні показники продукції, зниження антропогенного навантаження на агроекосистеми та поліпшення стану природнього навколишнього середовища. Монографія ілюстрована авторськими кольоровими світлинами і рисунками.

Матеріали, які представлено у монографії, будуть корисні для мікробіологів, фітопатологів, фізіологів рослин, ґрунтознавців, агрономів, селекціонерів, студентів, аспірантів і викладачів біологічних й аграрних закладів вищої освіти.

S. V. Pyda, S. P. Mashkovska, O. B. Matsiuk, N. V. Moskaliuk
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

REVIEW OF THE MONOGRAPH «MICROORGANISMS IN THE STABILIZATION OF AGROECOSYSTEMS»

The article presents an analytical review of the collective monograph «Microorganisms in the Stabilization of Agroecosystems», which is the result of joint work by leading Ukrainian scientists from the D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv) and the Institute of Agricultural Microbiology and Agro-Industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Chernihiv).

The monograph is devoted to addressing a global problem – the overcoming of the ecological crisis in agricultural production caused by intensive chemicalisation and climate change. The objective of the monograph is to provide a robust scientific basis for the concept of a ‘biological revolution’ in agriculture, with a focus on the optimisation of soil microbiome functions. The monograph’s contents are analysed in ten chapters. This text focuses on symbiotic systems, including the mechanisms of formation of highly efficient legume-rhizobial and associative complexes based on nitrogen-fixing bacteria and saprophytic fungi (in particular, strains of *Chaetomium and Azospirillum*). It also examines biopreparations, reviewing a wide range of innovative products (Rhizohumin, Polymyxobacterin, Azogran, Phytovit, etc.) that provide not only plant nutrition and growth stimulation but also immunomodulatory protection. Furthermore, it explores ecological restoration and technologies for the remediation of the agrosphere from persistent organochlorine pesticides using microorganism destructors, as well as methods of controlled composting of organic waste.

It is Chapter Nine that demands particular attention, insofar as it is here that the authors propose a universal system for soil bioindication. The utilisation of integral indicators and illustrative methods of graphical data visualisation (e.g. ‘stars’, ‘amoebas’, and ‘spider webs’) is described, thereby enabling the accurate detection of anthropogenic changes in ecosystems.

The monograph is considered a foundational scientific and applied work. The study provides compelling evidence that the implementation of microbial technologies is a financially viable and

ecologically essential measure to ensure the sustainability of the agricultural sector and the preservation of Ukraine's natural resources.

Key words: soil microbiology, sustainable agriculture, biopreparations, nitrogen fixation, bioindication, ecological stabilization, microorganisms.

Надійшла 03.09.2025.

TERNOPIL VOLODYMYR HNATIUK
NATIONAL PEDAGOGICAL UNIVERSITY

Підписано до друку 03.10.2025. Формат 60 х 84/18. Папір друкарський.
Умовних друкованих аркушів – 9,5. Обліково-видавничих аркушів – 7,3. Замовлення № 34
Наклад 300 прим.
Віддруковано у видавничому центрі «Вектор»
46018, м. Тернопіль, вул. Львівська, 12. Тел.: (0352) 40-18-12

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

Signed for printing 03.10.2025. Format 60 x 84/18. Printing paper.
Number of conventional printing sheets –9.5. Number of accounted and published pages – 7.3. Order № 34.
Edition 300 copies. Published in the publishing centre “Vector”
46018, Ternopil, st. Lvivska, 12. Phone: (0352) 40-18-12

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