

ISSN 2450 – 8640

# ACTA CARPATHICA

№ 2 (40)



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2023

**University of Rzeszow**  
**Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University**  
**Жешувський університет**  
**Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка**

**ACTA CARPATHICA**

Збірник наукових праць

**№ 2 (40), 2023**

**Збірник наукових праць**

**Заснований в 2013 р.**

**2 рази на рік**

**Головний редактор** – Волошанська Світлана  
**Заст. головного редактора** – Кавецький Тарас  
**Науковий редактор** – Лесик Ярослав  
**Відповідальний секретар** – Гойванович Наталія

**Члени редакційної колегії:**

Дрозд Інеса (Україна), Згарджинська Божена (Польща), Ків Арік (Ізраїль), Клепач Галина (Україна), Климишин Олександр (Україна), Коломійчук Віталій (Україна), Коніщук Василь (Україна), Кузьмін Юрій (Україна), Кухаж Юлія (Україна), Лупак Оксана (Україна), Смуток Олег (США), Сосинович Святослав (Швеція)

**Editor-in-Chief** – Voloshanska Svitlana  
**Deputy Editor-in-Chief** – Kavetskyi Taras  
**Scientific Editor** – Lesyk Yaroslav  
**Executive Secretary** – Hoivanovych Nataliia

**Members of the Editorial board:**

Drozdz Inesa (Ukraine), Zgardzińska Bożena (Poland), Kiv Arik (Israel), Klepach Halyna (Ukraine), Klymyshyn Oleksandr (Ukraine), Kolomiichuk Vitalii (Ukraine), Konishchuk Vasyl (Ukraine), Kuzmin Yuriy (Ukraine), Kukhazh Yuliia (Ukraine), Lupak Oksana (Ukraine), Smutok Oleh (USA), Sasinovich Sviataslau (Sweden)

**Founders:** University of Rzeszow, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University

**Засновники:** Жешувський університет, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

**Адреса редакції**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Івана Франка, 24, м. Дрогобич, Львівська область, Україна, 82100  
Тел.: + 38 (063) 679 8320  
E-mail: actacarpatica@dspu.in.ua

**Editorial office address**

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ivana Franka Str., 24, Drohobych, Lviv region, Ukraine, 82100  
Tel.: + 38 (063) 679 8320  
E-mail: actacarpatica@dspu.in.ua

У збірнику наукових праць *Acta Carpathica* друкуються оригінальні статті, засновані на експериментальних дослідженнях, та спеціалізовані огляди актуальних питань у галузях біології, сільського господарства, лісництва, екології, прикладної фізики й наноматеріалів, туризму та інших сфер, пов'язаних із Карпатським регіоном.

*Acta Carpathica* publishes original scientific articles, prepared on the basis of the scientific experiments and systematic reviews on specific issues in the field of biology, agriculture, forestry, ecology, tourism and others concerning to the Carpathian region.

**Фото з обкладинки:**

Фітопопуляція *STELLARIA HOLOSTEA L.* Лісопарк ім. Б. Хмельницького (м. Дрогобич, Львівщина).  
Автор: С. Волошанська.

**Cover image:**

The plant population of *STELLARIA HOLOSTEA L.* Recreation park named after B. Khmelnytsky (Drohobych, Lviv region).  
Author: S. Voloshanska.

*Рекомендовано до друку Вченою радою Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка (протокол № 3 від 02.11.2023)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації, Серія KB № 25132-15072P від 30.11.2021.*

*На підставі Наказу МОН України № 894 від 10.10.2022 р. (додаток 2) та Наказу МОН України № 1166 від 23.12.2022 р. (додаток 3) журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б» зі спеціальностей «101 Екологія», «091 Біологія».*

© Жешувський університет, 2023

© Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2023

## ЗМІСТ

### **Григорова Наталя Володимирівна**

Порівняльні дослідження вмісту магнію у клітинах панкреатичних острівців та імунної системи.....	5
Comparative studies of magnesium content in pancreatic islet and immune system cells.....	11

### **Віталій Ілліч Шейко, Юлія Іванівна Куц, Олена Борисівна Кучменко, Валентина Миколаївна Гавій, Лаура Сократовна Мхітарян**

Показники клітинної ланки системного імунітету на тлі набуті короткозорості різного ступеня.....	12
Indicators of the cellular link of systemic immunity on the background of various degrees of nautical shortness.....	19

### **Галина Миколаївна Клепач, Іванна Володимирівна Новіченко, Світлана Ярославівна Волошанська**

Оцінка вмісту деяких біологічно активних речовин у шишкоягодах рослин <i>Juniperus communis</i> із природних популяцій Українських Карпат.....	21
Evaluation of the content of some biologically active substances in berries of <i>Juniperus communis</i> plants from natural populations of the Ukrainian Carpathians.....	33

### **Наталія Василівна Донець, Світлана Олександрівна Приплавко**

Вплив метаболічно активних речовин на процес схожості насіння та ріст проростків гінкго дволопатевого ( <i>Ginkgo biloba</i> L.) у ненасінний рік.....	34
The influence of metabolic active substances on the process of seed similarity and growth of <i>Ginkgo biloba</i> L. seedlings in the non-seed year.....	43

### **Артур Юрійович Івасенко**

Показники ліпідного обміну в осіб з набуті короткозорістю.....	44
Indicators of lipid metabolism in individuals with acquired myopia.....	50

### **Наталія Костянтинівна Гойванович, Галина Володимирівна Кречківська, Василина Дмитрівна Задільська, Ірина Василівна Паращак**

Біомоніторинг стану навколишнього середовища міста Трускавця.....	51
Environmental biomonitoring of Truskavets city.....	60

### **Людмила Юрійівна Роман, Леся Сергіївна Михалко**

Моніторинг якості води річки Стрий.....	62
Monitoring of the water quality of the Stryi river.....	68

### **Світлана Василівна Піда, Олена Василівна Тригуба, Оксана Богданівна Мацюк, Ольга Ігорівна Дух, Вікторія Олегівна Козак**

Ефективність використання біологічних препаратів при вирощуванні <i>Lens culinaris</i> Medikus.....	69
Efficiency of using biopreparations in growing <i>Lens culinaris</i> Medikus.....	78

<b>Ольга Федорівна Литвин, Іван Франкович Дудар, Оксана Миколаївна Лунак, Микола Петрович Шпек</b>	
Взаємозв'язок урожайності, крохмалистості та вмісту нітратів у бульбах міжсорткових гібридів картоплі.....	79
Correlation between yielding capacity, starchiness and content of nitrates in tubers of intervarietal hybrids of potato.....	88
<b>Ірина Юрійвна Борецька, Ольга Іванівна Романюк, Джура Наталія Миронівна</b>	
Використання гуматів для підвищення стійкості енергетичних культур на нафтозабруднених ґрунтах.....	89
Use of humates to increase the resistance of energy crops grown in oil-contaminated soils.....	98
<b>Ольга Володимирівна Черба</b>	
Комплексне оцінювання впливу сільського господарства на стан ґрунтів України.....	99
Comprehensive assessment of the impact of agriculture on the condition of land resources and soils of Ukraine.....	106
<b>Alina Vinkovskaya, Yurii Bondaruk, Dietmar Fink, Taras Kavetskyu, Dmytro Dyachok, Ivan Donchev, Lyudmyla Pankiv, Yuliia Kukhazh, Oksana Zubrytska, Oles Matskiv, Mariana Kravtsiv, Roman Leshko, Nataliia Hoivanovych, Arnold Kiv</b>	
Features of chemical etching of track structures.....	108
Особливості хімічного травлення трекових структур.....	113

*Григорова Наталія Володимирівна,*

кандидат біологічних наук, доцент кафедри фізіології,  
імунології і біохімії з курсом цивільного захисту та медицини

Запорізький національний університет, Україна

orcid.org/0009-0001-6195-7717, Scopus Author ID: 6505578573, e-mail: nvgrigorova@ukr.net

## ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ МАГНІЮ У КЛІТИНАХ ПАНКРЕАТИЧНИХ ОСТРІВЦІВ ТА ІМУННОЇ СИСТЕМИ

**Анотація.** Робота присвячена проведенню порівняльних досліджень вмісту магнію в панкреатичних  $\beta$ -клітинах, тимусних епітеліальних клітинах і лімфоцитах крові тварин за активації, пригнічення та блокування інкреторної функції підшлункової залози. Актуальність досліджень вмісту внутрішньоклітинного магнію зумовлена значенням цього металу для функціонування інсулярного апарату й імунної системи, а також залученням останньої в механізми розвитку інсулінозалежного цукрового діабету. Розробка в нашій лабораторії цитохімічної реакції люмомагнезону на магній у клітинах крові, підшлункової та вилочкової залоз дозволила провести такі дослідження. Досліди проводилися на безпородних мишах і щурах віком 6 місяців. Стан пригнічення секреторної функції  $\beta$ -клітин панкреатичних острівців одержували введенням тваринам атропіну, адреналіну, преднізолону та гострим голодуванням. Посилення секреторної активності цих клітин викликали ін'єкціями глюкози, пілокарпіну та холецистокініну. Експериментальні дані обробляли за допомогою t-критерію Стьюдента. Обчислювали коефіцієнт кореляції Пірсона ( $r$ ) для оцінки ступеня зв'язку між змінами досліджених показників. Стан гіпофункції острівцевого апарату підшлункової залози моделювали введенням тваринам діабетогенної речовини стрептозоточину. Було встановлено, що пригнічення секреторної активності інсулінпродукуючих клітин спричиняло збільшення вмісту магнію на 17% ( $P < 0,05$ ) – 39% ( $P < 0,001$ ), а активація цієї функції – навпаки, зменшення його вмісту на 25% ( $P < 0,05$ ) – 37% ( $P < 0,001$ ) у панкреатичних клітинах  $\beta$ , епітеліальних клітинах тимуса, лімфоцитах крові мишей і щурів. Блокування функції інсулярного апарату після ін'єкції стрептозоточину призводило до розвитку вираженого дефіциту металу в досліджених клітинах, який коливався в межах 44–54% ( $P < 0,001$ ). У всіх випадках спостерігалась позитивна кореляція змін вмісту магнію у  $\beta$ -клітинах острівців, клітинах вилочкової залози та лімфоцитах крові піддослідних тварин, що свідчить на користь існування тісних функціональних зв'язків між інсулярним апаратом та імунною системою.

**Ключові слова:** магній, функціональний стан, інсулярний апарат, тимус, лімфоцити крові.

### ВСТУП

Як відомо, одним із найбільш важливих і незамінних хімічних елементів для життєдіяльності живого організму є магній. У функціонуванні різних систем і органів, зокрема й підшлункової залози, він відіграє важливу роль [1–3]. Іони магнію перебувають в антагоністичних відносинах з іонами кальцію. Останні активують у клітинах панкреатичних острівців мікротубулярно-мікрофіламентну систему, відповідальну за транспорт і екзоцитоз секреторних гранул [4; 5]. Переведення гормону в активний стан відбувається шляхом з'єднання металу з інсуліном. Баланс магнію модулює трансмембранний потік глюкози в гепатоцити, м'язи, нейрони й інші енерговмісні,

насичені мітохондріями клітини організму, перешкоджаючи тим самим формуванню інсулінорезистентності [6; 7]. Магній укріплює й імунну систему. Прискорення інволюції тимуса, зменшення активності В- і Т-клітин спостерігається в разі браку цього металу [8; 9]. Гіпомагнезіємія виявляється практично в усіх хворих на діабет [10–13]. У разі розвитку експериментального діабету у тварин встановлено аналогічні зміни концентрації магнію у крові [14]. Головною причиною деструкції β-клітин у ході інсулінозалежного цукрового діабету є клітинні механізми аутоімунної агресії [15–17]. Становлять інтерес порівняльні дослідження вмісту магнію в панкреатичних β-клітинах, тимусних епітеліальних клітинах (далі – ТЕК) і лімфоцитах крові тварин за активації, пригнічення та блокування функції інсулярного апарату, з огляду на той факт, що в аутоімунній реакції клітинного ланцюга імунітету беруть участь лімфоцити та тимус – центральний орган імуногенезу [18]. Розробка в нашій лабораторії цитохімічної реакції люмомагнезону на магній дозволила провести такі дослідження.

**Мета дослідження** – вивчити зміни вмісту магнію в панкреатичних острівцях, тимусі та лімфоцитах крові тварин за різного функціонального стану інсулярного апарату.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Досліди проводилися на безпородних мишах і щурах віком 6 місяців. Стан пригнічення секреторної функції β-клітин панкреатичних острівців одержували введенням тваринам адреналіну, преднізолону та гострим голодуванням. Посилення секреторної активності цих клітин викликали ін'єкціями глюкози, пілокарпіну та холецистокініну. Преднізолон вводили тваринам внутрішньом'язово, а пілокарпін і адреналін – підшкірно, у дозах 10, 1 і 0,05 мг/кг відповідно. У дослідах з голодуванням мишей позбавляли їжі на 12 годин, щурів – на 1 добу. Тваринам внутрішньочеревинно вводили глюкозу в дозі 10 г/кг у вигляді 40% розчину, а холецистокінін – 15 нмоль на 1 кг ваги тіла в 1 мл 0,9% розчину хлориду натрію. Стан гіпофункції острівцевого апарату підшлункової залози моделювали внутрішньочеревним уведенням мишам і щурам діабетогенної речовини стрептозотоцину в дозі 200 мг/кг. У всіх експериментах інтактні тварини слугували контролем, тому що після дослідження контрольної групи тварин (тварини, яким вводили фізіологічний розчин) та інтактною групи (тварини без втручання) були отримані дані, які статистично не відрізнялися одне від одного. Після закінчення терміну голодування, через 2 години після введення адреналіну, преднізолону, холецистокініну, 0,5–1 години після ін'єкції пілокарпіну, 5 діб – після ін'єкції стрептозотоцину у тварин прижиттєво брали кров із хвоста для приготування мазків периферичної крові, а після декапітації вилучали шматочки підшлункової та вилочкової залоз. У дослідах дотримувалися вимог ст. 26 Закону України «Про захист тварин від жорсткого поводження», Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986 р.) і принципів біоетики.

Для виявлення магнію в лімфоцитах крові на предметне скло наносили шар яєчного білка, готували мазки, підсушували на повітрі, промивали дистильованою водою. Забарвлювали мазки 0,05% спиртовим розчином люмомагнезону. Промивання забарвлених мазків проводили 0,1н розчином гідроксиду натрію та підсушували на повітрі. На мазок наносили краплю імерсійної олії та розглядали його під люмінесцентним мікроскопом. Для збудження люмінесценції використовували світлофільтр ФС-1, а як захисний (окулярний) – світлофільтр ЖС-18.

Для цитохімічного визначення магнію у клітинах підшлункової та виличкової залоз шматочки цих органів фіксували в 70° холодному (4 °С) спирті, насиченому сірководнем. Потім шматочки проводили через спирти зростаючої міцності (80°, 90°, 96°, 100° – по 4 години в кожному), суміш 50%-го ксилолу та 50%-го парафіну (по 30 хвилин за температури 40 °С), два ксилоли (по 15 хвилин у кожному), суміш 50%-го ксилолу та 50%-го парафіну (по 30 хвилин за температури 40 °С), два рідкі парафіни (по 1,5 години в кожному за 50 °С) та заливали у парафін.

Парафінові зрізи 5 мкм завтовшки обробляли впродовж 3 хвилин послідовно у двох ксилолах і спиртах. Потім флуорохромували 1% водним розчином люмомагнезону впродовж 3 годин і вивчали під люмінесцентним мікроскопом з використанням масляної імерсії (світлофільтри ФС-1 і ЖС-18). Оцінку інтенсивності рожевого забарвлення цитоплазми лімфоцитів, інсулоцитів і ТЕК проводили за допомогою мікрофлуориметра. Інтенсивність флуоресценції виражали в умовних одиницях (ум. од.). Експериментальні дані обробляли за допомогою t-критерію Стьюдента, що пояснюється нормальним характером розподілу варіант у вибірках (критерій Колмогорова – Смирнова, Statistica, 6.0). Обчислювали коефіцієнт кореляції Пірсона (r) для оцінки ступеня зв'язку між змінами досліджених показників.

## РЕЗУЛЬТАТИ

У таблиці 1 містяться результати досліджень вмісту магнію в острівцевих  $\beta$ -клітинах, клітинах тимуса та крові в мишей, які зазнали впливу регуляторів інкреторної функції підшлункової залози та діабетогенного агента стрептозоточину.

Після голодування в мишей вміст магнію підвищувався на 36% ( $P < 0,001$ ) у панкреатичних клітинах  $\beta$ , 24% ( $P < 0,05$ ) – клітинах виличкової залози, 34% ( $P < 0,05$ ) – лімфоцитах крові. Призначення глюкози викликало у тварин зниження вмісту металу в інсулоцитах на 27% ( $P < 0,01$ ), ТЕК – на 25% ( $P < 0,05$ ), лімфоцитах крові – на 26% ( $P < 0,05$ ). Після ін'єкції атропіну вміст внутрішньоклітинного металу достовірно підвищувався на 17% в інсулоцитах, 24% – ТЕК, 26% – клітинах крові мишей. Призначення адреналіну викликало суттєве зростання вмісту магнію в інсулінпродукуючих і тимусних клітинах мишей на 36%, лімфоцитах крові – на 34%. У разі введення преднізолону підвищення рівня металу в досліджених клітинах мишей становило відповідно 27, 24 і 27% ( $P < 0,05$ ). Після ін'єкції пілокарпіну, навпаки, вміст магнію зменшувався на 37% ( $P < 0,001$ ) у панкреатичних клітинах  $\beta$ , 25% ( $P < 0,01$ ) – ТЕК, 34% ( $P < 0,001$ ) – клітинах крові.

У тварин, яким вводили холецистокінін, зміни цього показника становили відповідно 27% ( $P < 0,01$ ), 25 і 24% ( $P < 0,05$ ). Ін'єкція стрептозоточину мишам викликала високостовірне зниження вмісту металу на 54% у панкреатичних острівцях і лімфоцитах крові, 51% – у тимусі.

Аналогічні зміни вмісту магнію отримані в дослідах на щурах (табл. 2).

Результати досліджень вказують на те, що у щурів під впливом гострого голодування збільшення вмісту магнію становило 39% ( $P < 0,001$ ) у  $\beta$ -клітинах панкреатичних острівців, 30% ( $P < 0,05$ ) – у клітинах тимуса, 26% ( $P < 0,05$ ) – у лімфоцитах крові. У разі навантаження глюкозою у тварин спостерігалось зменшення вмісту металу в інсулоцитах і ТЕК на 30% ( $P < 0,01$ ), лімфоцитах крові – на 25% ( $P < 0,05$ ). Уведення атропіну щурам викликало вірогідне збільшення вмісту магнію в інсулінпродукуючих клітинах на 23%, клітинах виличкової залози – на 20%, лімфоцитах крові – на 19%.

Таблиця 1

**Вміст магнію ( $M \pm m$ ) в інсулоцитах, ТЕК, лімфоцитах крові та їх взаємозв'язок ( $r$ ) у мишей у разі активації, пригнічення та блокування функції інсулярного апарату**

Група тварин	Вміст магнію, ум. од.			$r_1$	$r_2$
	Інсулоцити	ТЕК	Лімфоцити крові		
Контроль (n = 14)	92 ± 6,7	67 ± 5,0	125 ± 10,8	0,65*	0,57*
Тварини, які голодували (n = 12)	125 ± 8,3***	83 ± 7,5*	167 ± 13,3*	0,54*	0,61*
Тварини, які отримали глюкозу (n = 15)	67 ± 5,0**	50 ± 4,2*	92 ± 7,5*	0,82***	0,67*
Тварини, які отримали атропін (n = 10)	108 ± 3,3*	83 ± 5,8*	158 ± 10,0*	0,75**	0,53*
Тварини, які отримали адреналін (n = 12)	125 ± 10,0*	92 ± 7,5*	167 ± 14,2*	0,68*	0,66*
Тварини, які отримали преднізолон (n = 10)	117 ± 8,3*	83 ± 6,7*	158 ± 10,8*	0,83***	0,69*
Тварини, які отримали пілокарпін (n = 11)	58 ± 4,2***	50 ± 2,5**	83 ± 6,7**	0,90***	0,77***
Тварини, які отримали холецистокінін (n = 10)	67 ± 7,5**	50 ± 3,3*	92 ± 5,8*	0,81***	0,79***
Тварини, які отримали стрептозотин (n = 10)	42 ± 5,8***	33 ± 1,7***	67 ± 4,2***	0,90***	0,85***

*Примітка:* тут і далі: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$  порівняно з контролем;  $r_1$  – коефіцієнт кореляції змін вмісту магнію в інсулоцитах і ТЕК;  $r_2$  – коефіцієнт кореляції змін вмісту магнію в інсулоцитах і лімфоцитах крові.

Таблиця 2

**Вміст магнію ( $M \pm m$ ) в інсулоцитах, ТЕК, лімфоцитах крові та їх взаємозв'язок ( $r$ ) у щурів за активації, пригнічення та блокування функції інсулярного апарату**

Група тварин	Вміст магнію, ум. од.			$r_1$	$r_2$
	Інсулоцити	ТЕК	Лімфоцити крові		
Контроль (n = 16)	108 ± 7,5	83 ± 5,8	133 ± 12,5	0,75**	0,76***
Тварини, які голодували (n = 12)	150 ± 9,2***	108 ± 9,2*	167 ± 10,8*	0,62*	0,84***
Тварини, які отримали глюкозу (n = 13)	75 ± 6,7**	58 ± 5,0**	100 ± 6,7*	0,80***	0,77***
Тварини, які отримали атропін (n = 10)	133 ± 9,2*	100 ± 5,8*	158 ± 10,8*	0,65*	0,82***
Тварини, які отримали адреналін (n = 12)	150 ± 8,3***	108 ± 7,5*	175 ± 15,0*	0,67*	0,75**
Тварини, які отримали преднізолон (n = 10)	133 ± 10,0*	100 ± 5,0*	167 ± 11,7*	0,72**	0,74**
Тварини, які отримали пілокарпін (n = 11)	67 ± 5,0***	50 ± 4,2***	92 ± 5,0**	0,87***	0,79***
Тварини, які отримали холецистокінін (n = 10)	75 ± 8,3*	58 ± 3,3**	89 ± 4,2**	0,84***	0,86***
Тварини, які отримали стрептозотин (n = 10)	50 ± 4,2***	42 ± 2,5***	75 ± 5,1***	0,91***	0,78***



Після ін'єкції адреналіну вміст внутрішньоклітинного металу підвищувався на 39% ( $P < 0,001$ ) в інсулоцитах, 30% ( $P < 0,05$ ) – ТЕК, 26% ( $P < 0,05$ ) – клітинах крові. У разі введення преднізолону підвищення рівня металу в досліджених клітинах становило відповідно 23, 20 і 26% ( $P < 0,05$ ). Вміст магнію зменшувався після ін'єкції пілокарпіну: на 38% ( $P < 0,001$ ) у панкреатичних клітинах  $\beta$ , 30% ( $P < 0,001$ ) – ТЕК, 31% ( $P < 0,01$ ) – лімфоцитах. У тварин, яким вводили холецистокінін, зміни цього показника становили відповідно 30% ( $P < 0,05$ ), 30% ( $P < 0,01$ ) і 33% ( $P < 0,01$ ). Призначення стрептозоточину щурам призводило до високодостовірного зниження вмісту металу на 54% у панкреатичних острівцях, 49% – тимусі та 44% – лімфоцитах крові.

Отже, пригнічення секреторної активності інсулінпродукуючих клітин у разі голодування, введення атропіну, гормонів надниркових залоз спричиняло накопичення магнію, а активація цієї функції в умовах навантаження глюкозою, призначення пілокарпіну, холецистокініну – навпаки, зменшення його вмісту в панкреатичних клітинах  $\beta$ , ТЕК, лімфоцитах крові мишей і щурів. Блокування функції інсулярного апарату після ін'єкції стрептозоточину призводило до розвитку вираженого дефіциту металу в досліджених клітинах. У всіх випадках спостерігалась позитивна кореляція змін вмісту магнію в острівцевих  $\beta$ -клітинах, клітинах вилочкової залози та лімфоцитах крові піддослідних тварин, що свідчить на користь існування тісних функціональних зв'язків між інсулярним апаратом та імунною системою.

## ВИСНОВКИ

1. Вміст магнію в панкреатичних клітинах  $\beta$ , ТЕК і лімфоцитах крові мишей і щурів збільшувався на 17% ( $P < 0,05$ ) – 39% ( $P < 0,001$ ) після голодування, ін'єкцій атропіну, адреналіну та преднізолону – чинників, які пригнічують інкреторну функцію підшлункової залози.

2. Зменшення вмісту магнію на 25% ( $P < 0,05$ ) – 37% ( $P < 0,001$ ) у клітинах панкреатичних острівців, тимуса та лімфоцитів крові тварин спостерігалось під впливом активаторів секреції острівцевих  $\beta$ -клітин.

3. Блокування функції інсулярного апарату тварин унаслідок введення стрептозоточину супроводжувалося розвитком у досліджених клітинах дефіциту магнію, який коливався в межах 44–54% ( $P < 0,001$ ).

4. Перспективою подальших досліджень є визначення вмісту міді в  $\beta$ -клітинах панкреатичних острівців і клітинах імунної системи за різного функціонального стану інсулярного апарату.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вміст магнію в панкреатичних клітинах  $\beta$ , ТЕК і лімфоцитах крові мишей і щурів збільшувався на 17% ( $P < 0,05$ ) – 39% ( $P < 0,001$ ) після голодування, ін'єкцій атропіну, адреналіну та преднізолону – чинників, які пригнічують інкреторну функцію підшлункової залози. *Lazarou T.S., Buccella D. Advances in imaging of understudied ions in signaling: a focus on magnesium. Curr. Opin. Chem. Biol.* 2020. Vol. 57. P. 27–33.
2. The assessment of intracellular magnesium: different strategies to answer different questions / G. Picone et al. *Magnes Res.* 2020. Vol. 33. № 1. P. 1–11.
3. Lima F.D.S, Fock R.A.A. Review of the action of magnesium on several processes involved in the modulation of hematopoiesis. *Int. J. Mol. Sci.* 2020. Vol. 21. Issue 19. P. 70–84.
4. Role of magnesium in insulin action, diabetes and cardiometabolic syndrome X / M. Barbaggio et al. *Mol. Aspects Med.* 2003. Vol. 24. Issue 1–3. P. 39–52.
5. Participation of magnesium in the secretion and signaling pathways of insulin: an updated review / S.R. de Sousa Melo et al. *Biol. Trace Elem. Res.* 2022. Vol. 200. Issue 8. P. 3545–3553.

6. Magnesium in man: implication for health and disease / J.H. De Baaij et al. *Physiol. Rev.* 2015. Vol. 95. P. 1–46.
7. The role of magnesium in the pathogenesis of metabolic disorders / M. Pelczyńska et al. *Nutrients.* 2022. Vol. 14. Issue 9. P. 1711–1714.
8. Possible roles of magnesium on the immune system / M. Tam et al. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2003. Vol. 57. Issue 10. P. 1193–1197.
9. Role of magnesium in the intensive care unit and immunomodulation: a literature review / F. Soglietti et al. *Vaccines (Basel).* 2023. Vol. 11. Issue 6. P. 1112–1122.
10. Batar P.K. Study of serum magnesium level in diabetes mellitus and it's correlation with micro and macro complications. *J. Assoc. Physicians India.* 2022. Vol. 70. Issue 4. P. 11–12.
11. Vitamin B12, folic acid, vitamin D, iron, ferritin, magnesium, and HbA1c levels in patients with diabetes mellitus and dental prosthesis / S. Ciftel et al. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2022. Vol. 26. Issue 19. P. 7135–7144.
12. Total plasma magnesium, zinc, copper and selenium concentrations in type-I and type-II diabetes / A.I.S. Sobczak et al. *Biometals.* 2019. Vol. 32. Issue 1. P. 123–138.
13. Van Laecke S. Hypomagnesemia and hypermagnesemia. *Acta Clin. Belg.* 2019. Vol. 74. Issue 1. P. 41–47.
14. De Valk H.W. Magnesium in diabetes mellitus. *Neth. J. Med.* 1999. Vol. 54. P. 39–52.
15. Lernmark A., Torre D.Le. Immunology of  $\beta$ -cell destruction. *Islets of Langergans.* 2015. Vol. 7. P. 1047–1080.
16. The heterogeneous pathogenesis of type 1 diabetes mellitus / J. Ilonen et al. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2019. Vol. 15. Issue 11. P. 635–650.
17. Type 1 diabetes mellitus as a disease of the  $\beta$ -cell (do not blame the immune system?) / B.O. Roep et al. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2021. Vol. 17. Issue 3. P. 150–161.
18. Importance of a thymus dysfunction in the pathophysiology of type 1 diabetes / V. Geenene et al. *Kev. Med. Liege.* 2005. Vol. 60. Issue 5–6. P. 291–296.

## REFERENCES

1. Lazarou, T.S., Buccella, D. (2020). Advances in imaging of understudied ions in signaling: a focus on magnesium. *Curr. Opin. Chem. Biol.*, Vol. 57, 27–33.
2. Picone, G., Cappadone, C., Farruggia, G., Malucelli, E., Iotti, S. (2020). The assessment of intracellular magnesium: different strategies to answer different questions. *Magnes Res.*, 1, Vol. 33, 1–11.
3. Lima, F.D.S, Fock, R.A.A. (2020). Review of the action of magnesium on several processes involved in the modulation of hematopoiesis. *Int. J. Mol. Sci.*, 19, Vol. 21, 70–84.
4. Barbagallo, M., Dominquez, L.J., Galioto, A., Ferlisi, A., Cani, C., Malfa, L, Pineo, A., Busardo, A., Paolisso, G. (2003). Role of magnesium in insulin action, diabetes and cardio-metabolic syndrome X. *Mol. Aspects Med.*, 1–3, Vol. 24, 39–52.
5. de Sousa Melo, S.R., Dos Santos, L.R., da Cunha Soares, T., Cardoso B.E.P, da Silva Dias, T.M., Morais, J.B.S., de Paiva Sousa, M., de Sousa, T.G.V., da Silva, N.C., da Silva, L.D., Cruz, K.J.C., do Nascimento Marreiro, D. (2022). Participation of magnesium in the secretion and signaling pathways of insulin: an updated review. *Biol. Trace Elem. Res.*, 8, Vol. 200, 3545–3553.
6. De Baaij, J.H., Hoenderop, J.G., Bindels, R.J. (2015). Magnesium in man: implication for health and disease. *Physiol. Rev.* Vol. 95, 1–46.
7. Pelczyńska, M., Moszak, M., Bogdański, P. (2022). The role of magnesium in the pathogenesis of metabolic disorders. *Nutrients*, 9, Vol. 14, 1711–1714.
8. Tam, M., Gomez, S., Gonzales-Gross, M., Marcos, A. (2003). Possible roles of magnesium on the immune system. *J. Clin. Nutr.*, 10, Vol. 57, 1193–1197.
9. Soglietti, F., Girombelli, A., Marelli, S., Vetrone, F., Balzanelli, M.G., Tabae Damavandi, P. (2023). Role of magnesium in the intensive care unit and immunomodulation: a literature review. *Vaccines (Basel)*, 6, Vol. 11, 1112–1122.

10. Batar, P.K. (2022). Study of serum magnesium level in diabetes mellitus and it's correlation with micro and macro Complications. *J. Assoc. Physicians India*, 4, Vol. 70, 11–12.
11. Ciftel, S., Bilen, A., Yanikoglu, N.D., Mercantepe, F., Dayanan, R., Ciftel, E., Capoglu, I., Kasali, K., Bilen H. (2022). Vitamin B12, folic acid, vitamin D, iron, ferritin, magnesium, and HbA1c levels in patients with diabetes mellitus and dental prosthesis. *Rev. Med. Pharmacol. Sci.*, 19, Vol. 26, 7135–7144.
12. Sobczak, A.I.S., Stefanowicz, F., Pitt, S.J., Ajjan, R.A., Stewart, A.J. (2019). Total plasma magnesium, zinc, copper and selenium concentrations in type-I and type-II diabetes. *Biom- etals*, 1, Vol. 32, 123–138.
13. Van Laecke, S. Hypomagnesemia and hypermagnesemia. (2019). *Acta Clin. Belg.*, 1, Vol. 74, 41–47.
14. De Valk, H.W. (1999). Magnesium in diabetes mellitus. *Neth. J. Med.*, Vol. 54, 39–52.
15. Lernmark, A., Torre, D.Le. (2015). Immunology of  $\beta$ -cell destruction. *Islets of Langergans*, Vol. 7, 1047–1080.
16. Ilonen, J., Lempainen, J., Veijola, R. (2019). The heterogeneous pathogenesis of type 1 diabetes mellitus. *Nat. Rev. Endocrinol.*, 11, Vol. 15, 635–650.
17. Roep, B.O., Thomaidou, S., van Tienhoven, R., Zaldumbide, A. (2021). Type 1 diabetes mellitus as a disease of the  $\beta$ -cell (do not blame the immune system?). *Nat. Rev. Endo- crinol.*, 3, Vol. 17, 150–161.
18. Geenene, V., Brilot, F., Lonis, Hansenne, C.I., Renard, Ch., Martens, H. (2005). Importance of a thymus dysfunction in the pathophysiology of type 1 diabetes. *Kev. Med. Liege*, 5–6, Vol. 60, 291–296.

## ABSTRACT

### COMPARATIVE STUDIES OF MAGNESIUM CONTENT IN PANCREATIC ISLET AND IMMUNE SYSTEM CELLS

The work is devoted to conducting comparative studies of magnesium content in pancreatic  $\beta$ -cells, thymic epithelial cells and blood lymphocytes of animals during activation, suppression and blocking of the secretory function of the pancreas. The relevance of studies of the content of intracellular magnesium is due to the importance of this metal for the functioning of the insular apparatus and the immune system, as well as the involvement of the latter in the mechanisms of the development of insulin-dependent diabetes mellitus. The development in our laboratory of the cytochemical reaction of lumomagnesone to magnesium in cells of the blood, pancreas and thymus allowed us to conduct such studies. Experiments were conducted on outbred mice and rats aged 6 months. The state of suppression of the secretory function of  $\beta$ -cells of pancreatic islets was obtained by administering atropine, adrenaline, prednisone and acute starvation to the animals. An increase in the secretory activity of these cells was caused by injections of glucose, pilocarpine, and cholecystokinin. Experimental data were processed using Student's t-test. The Pearson correlation coefficient ( $r$ ) was calculated to assess the degree of relationship between changes in the studied indicators. The state of hypofunction of the islet apparatus of the pancreas was modeled by introducing the diabetogenic substance streptozotocin to the animals. It was established that suppression of the secretory activity of insulin-producing cells caused an increase in magnesium content by 17% ( $P < 0,05$ ) – 39% ( $P < 0,001$ ), and activation of this function, on the contrary, decreased its content by 25% ( $P < 0,05$ ) – 37% ( $P < 0,001$ ) in pancreatic  $\beta$  cells, epithelial cells of the thymus, blood lymphocytes of mice and rats. Blocking the function of the insular apparatus after streptozotocin injection led to the development of pronounced metal deficiency in the studied cells, which varied between 44–54% ( $P < 0,001$ ). In all cases, there was a positive correlation of changes in magnesium content in islet  $\beta$ -cells, thymus cells, and blood lymphocytes of experimental animals, which indicates the existence of close functional connections between the insular apparatus and the immune system.

**Key words:** magnesium, functional state, insular apparatus, thymus, blood lymphocytes.

*Віталій Ілліч Шейко,*

доктор біологічних наук, професор, професор кафедри біології  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Україна  
orcid.org/0000-0001-7932-4478, e-mail: interlyicin@ukr.net

*Юлія Іванівна Куц,*

доктор філософії за спеціальністю «091 Біологія»,  
викладач кафедри біології людини, хімії та методики навчання хімії  
Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка, Україна  
orcid.org/0000-0003-0382-8877, e-mail: ioliya.sumy@gmail.com

*Олена Борисівна Кучменко,*

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

*Валентина Миколаївна Гавій,*

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

*Лаура Сократовна Мхітарян,*

доктор медичних наук, професор, завідувач навчально-наукової лабораторії  
з біохімічних досліджень  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Україна  
orcid.org/0000-0002-2347-0107, e-mail: laura\_mkhitaryan@ukr.net

## **ПОКАЗНИКИ КЛІТИННОЇ ЛАНКИ СИСТЕМНОГО ІМУНІТЕТУ НА ТЛІ НАБУТОЇ КОРОТКОЗОРОСТІ РІЗНОГО СТУПЕНЯ**

**Анотація.** Набута короткозорість розвивається протягом життя як адаптаційна реакція зорової сенсорної системи у відповідь на довготривалу роботу на близькій відстані, зазвичай не призводить до важких патологічних ускладнень. Проте високі значення короткозорості значно підвищують ризик макулопатій, глаукоми й інших пов'язаних ускладнень, що можуть надалі призвести до втрати зорової функції та навіть сліпоти. Саме тому медичні та соціально-економічні наслідки короткозорості є суттєвими для суспільства. Варто зазначити, що стан короткозорості позначається не лише на якості зорових функцій. Установлено, що за умов короткозорості спостерігаються відмінності в діяльності вісцеральних систем організму (зокрема, імунної), а також функціонуванні центральної нервової системи.

Мета – дослідити показники клітинної ланки системного імунітету в людей, що страждають на короткозорість набутої форми різного ступеня.

Дослідження проведено на групі волонтерів у кількості 120 осіб, віком 18–35 років, яку розподілили на чотири підгрупи: перша – контроль, практично здорові люди, друга – люди, які страждали на набуту короткозорість слабого ступеня, третя – люди, які страждали на короткозорість середнього ступеня, четверта – люди, які страждали на короткозорість високого ступеня.

Отже, нами встановлено, що в осіб із набутою короткозорістю віком 18–35 років слабого, середнього та високого ступеня виявлено формування імунодефіцитного стану за Т-клітинним типом (через зменшення Т-хелперів/індукторів).

**Ключові слова:** короткозорість, системний імунітет, клітинна ланка імунітету.

## ВСТУП

Перспективними для сучасної медико-біологічної науки є дослідження, спрямовані на вивчення функціональних станів людського організму на тлі дисрегуляторних і преморбідних станів. Найбільш поширене функціональне порушення в сучасному суспільстві – різноманітні дисфункції зору, серед яких лідерство належить набутій короткозорості. Дисфункція зорової сенсорної системи має значний вплив на діяльність людини та якість життя [4; 5; 10–12; 14; 15].

Формування набутої короткозорості відбувається під час інтенсивного навчання людини, це шкільний вік та навчання в коледжах, університетах. За даними Центру медичної статистики Міністерства охорони здоров'я України, в останні десять років короткозорість входить у трійку найпоширеніших офтальмологічних захворювань населення. Виявлено щорічне збільшення кількості дитячого населення, яке страждає на набуто короткозорість [6–8].

Випадки короткозорості фіксуються у 3–31% школярів; за іншими даними – від 5–10% у дошкільнят, до 40% у підлітків, або від 4–8% у перших класах до 46–52% у випускних [8–10]. Серед студентів поширеність набутої короткозорості ще вища і становить 5–42% [8; 10].

Згідно з літературними джерелами, набута короткозорість розвивається протягом життя як адаптаційна реакція зорової сенсорної системи у відповідь на довготривалу роботу на близькій відстані, зазвичай не призводить до важких патологічних ускладнень. Проте високі значення короткозорості, як свідчать дослідження, значно підвищують ризик макулопатій, глаукоми й інших пов'язаних ускладнень, що можуть надалі призвести до втрати зорової функції та навіть сліпоти. Саме тому медичні та соціально-економічні наслідки короткозорості є суттєвими для суспільства [6–8].

Варто зазначити, що стан короткозорості позначається не лише на якості зорових функцій. Досліджено, що за умов короткозорості спостерігаються відмінності в діяльності вісцеральних систем організму (зокрема, імунної), а також у функціонуванні центральної нервової системи (далі – ЦНС). Дані зміни можуть бути пояснені через наявність ретино-епіфізарно-гіпоталамічних і прямих ретино-гіпофізарних взаємозв'язків, зв'язки неокортексу з нейроструктурами зорової сенсорної системи, а також спряжене функціонування спеціалізованих елементів нервової й імунної систем на всіх рівнях регуляції функціонування організму. Проте дослідження присвячені або розрізненим віковим періодам, або окремим значенням короткозорості, тому не дають змогу повноцінно схарактеризувати стан організму людини на тлі короткозорості з позицій системного підходу [4; 16].

Актуальність нашого дослідження зумовлена насамперед необхідністю детального вивчення імунного статусу насамперед клітинної ланки системного імунітету в осіб із набутою формою короткозорості слабого, середнього та високого ступеня, що є важливим для розуміння як нейроімунних взаємозв'язків в організмі людини, так і в сенсі отримання нових даних про імунологічні аспекти набутої короткозорості.

*Мета* – дослідити показники клітинної ланки системного імунітету в людей, що страждають на короткозорість набутої форми різного ступеня.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження проведено на групі волонтерів кількістю 120 осіб, віком 18–35 років. Усі учасники дослідження були розподілені на чотири підгрупи: перша – контроль, практично здорові люди, друга підгрупа – люди, які страждали на набуту короткозорість слабого ступеня, третя – люди, які страждали на набуту короткозорість середнього ступеня, четверта – люди, які страждали на набуту короткозорість високого ступеня. Діагноз «набута короткозорість» був установлений лікарем-фахівцем (офтальмологом) під час профілактичного медичного обстеження з дотриманням стандартних медичних протоколів. Групи волонтерів включали осіб без гострих чи хронічних захворювань, а також таких, які в період проведення дослідження не вживали лікарські препарати та не проходили лікувальні процедури, які б могли вплинути на результати.

Імунологічний статус клітинної ланки системного імунітету оцінювали за станом Т- і В-систем. Досліджувалися такі показники: кількість лейкоцитів у периферійній крові, лейкоцитарна формула, відносна й абсолютна кількість нейтрофілів, моноцитів, лімфоцитів, Т-лімфоцитів усіх популяцій і В-лімфоцитів за методикою моноклональних антитіл до мембранних рецепторів (CD3+, CD4+, CD8+, CD22+) [3]. Імунофенотипування лімфоцитів проводили методами проточної цитофлюориметрії в реакціях із зв'язуванням моноклональних антитіл (далі – МкАТ) до антигенних детермінант у зразках цільної венозної крові за допомогою наборів МкАТ AQUIOS Tetra Tests на проточному цитометрі AQUIOS CL згідно з інструкціями виробника [13].

Взяття й обробка біологічного матеріалу (зразки крові) проведено із залученням кваліфікованих працівників Лабораторії медичного центру «МедСоюз» (м. Суми) та лабораторного центру «Сінево» (м. Ніжин).

Робота виконана на базі кафедри біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя та кафедри біології людини, хімії і методики навчання хімії Сумського державного педагогічного університету імені А.С.Макаренка.

Дослідження виконано згідно з біоетичними нормами з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України. Усі волонтери дали письмову згоду на участь у дослідженні [1].

Статистичну обробку отриманих даних методами математичної статистики проведено з використанням комп'ютерної програми Excel 10.

## РЕЗУЛЬТАТИ

У результаті проведеного аналізу отриманих даних, зазначених у таблиці 1, ми дійшли таких висновків. У групі людей, які страждають на слабку набуту короткозорість, ми зафіксували зменшення вмісту лейкоцитів (11%), яке було наслідком зниження рівня лімфоцитів (16,8%), у порівнянні з контрольними показниками.

Установлено, що у групі осіб із слабкою короткозорістю спостерігається достовірне зменшення абсолютної та відносної кількості Т-лімфоцитів (33,7 і 18,9% відповідно) та субпопуляції Т-хелперів/індукторів (22 та 0% відповідно). Варто відзначити,

Таблиця 1  
Стан показників клітинного імунітету практично здорових людей і осіб із набутотою короткозорістю різного ступеня

Показник	Клінічна норма	Контрольна група (n = 60), M ± m	Група осіб із набутотою короткозорістю слабого ступеня (n = 30), M ± m	Група осіб із набутотою короткозорістю середнього ступеня (n = 30), M ± m	Група осіб із набутотою короткозорістю високого ступеня (n = 30), M ± m
Лейкоцити, *10 <sup>9</sup> /л	4–12	6,80 ± 0,12	6,03 ± 0,16***	6,60 ± 0,13	5,89 ± 0,20***
Лімфоцити, *10 <sup>9</sup> /л	1–5	2,20 ± 0,06	1,83 ± 0,15*	1,97 ± 0,13	1,78 ± 0,14**
Лімфоцити, %	20–40	32,87 ± 0,07	30,29 ± 0,12***	30,63 ± 0,15***	32,67 ± 0,14
T-лімфоцити (CD3+), *10 <sup>9</sup> /л	0,9–2,01	1,81 ± 0,04	1,2 ± 0,13***	1,33 ± 0,09***	1,29 ± 0,10***
T-лімфоцити (CD3+), %	61–85	82,27 ± 0,36	66,7 ± 0,37***	69,4 ± 0,35***	70,67 ± 0,32***
T-хелпери/індуктори (CD4+), *10 <sup>9</sup> /л	0,6–1,3	0,86 ± 0,04	0,67 ± 0,08*	0,68 ± 0,07*	0,61 ± 0,06***
T-хелпери/індуктори (CD4+), %	35–55	47,51 ± 0,14	38,0 ± 0,30***	37,13 ± 0,27***	36,33 ± 0,27***
T-супресори/цитотоксичні (CD8+), *10 <sup>9</sup> /л	0,3–0,97	0,32 ± 0,02	0,41 ± 0,06	0,4 ± 0,06	0,33 ± 0,06
T-супресори/цитотоксичні (CD8+), %	17–35	17,68 ± 0,07	25,0 ± 0,42***	21,88 ± 0,33***	21,22 ± 0,40***
V-лімфоцити (CD22+), *10 <sup>9</sup> /л	0,12–1,48	0,34 ± 0,04	0,40 ± 0,06	0,41 ± 0,08	0,42 ± 0,05
V-лімфоцити (CD22+), %	17–31	17,5 ± 0,38	22,14 ± 0,37***	22,88 ± 0,36***	25,78 ± 0,29***

Примітка: \* – значення ступеня вірогідності (p) згідно з t-критерієм Стьюдента; \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001

що зафіксоване значне зростання кількості субпопуляції Т-клітин – Т-супресорів/цитотоксичних (CD8+): абсолютна та відносна кількість цих клітин була більша на 8 та 41,4% відповідно, у порівнянні з контрольною групою.

Кількісні зміни зазначених субпопуляцій Т-лімфоцитів призвели до зниження в 1,8 разів ( $p < 0,001$ ) імунорегуляторного індексу (CD4+/CD8+) у групі осіб із набутою короткозорістю слабого ступеня, порівняно з контролем.

Що стосується популяції лімфоцитів із маркером CD 2+ (В-лімфоцити), їх абсолютний вміст на тлі набутої короткозорості слабого ступеня не мав достовірних змін порівняно з контролем. Відносна кількість клітин даної популяції мала достовірне збільшення порівняно з такими показниками практично здорових людей (контрольна група).

У групі осіб із набутою короткозорістю середнього ступеня зафіксовано тенденцію до зменшення абсолютного числа лейкоцитів (3%) через зменшення числа лімфоцитів (10,5%).

Аналіз отриманих даних показує, що у групі короткозорих осіб із середнім ступенем зафіксовано зменшення загальної кількості Т-лімфоцитів (CD3+): їх абсолютні та відносні величини достовірно менші (відповідно 26,5 і 15,6%, ніж у контрольній групі. Водночас вміст основних субпопуляцій Т-лімфоцитів зазнав різноспрямованих змін. У порівнянні з даними практично здорових людей за середнього ступеня короткозорості рівень Т-хелперів/індукторів (CD4+) є нижчим (21 і 1,8% абсолютні та відносні величини відповідно), а кількість Т-супресорів/цитотоксичних (CD8+), навпаки, вища (25 і 3,8% абсолютні та відносні значення відповідно).

Кількісні зміни CD4+- та CD8+-клітин супроводжувались достовірним зниженням імунорегуляторного індексу у групі осіб із середнім ступенем короткозорості (в 1,6 раз), порівняно із практично здоровими людьми.

Стосовно популяції В-лімфоцитів, їх абсолютне число на тлі набутої короткозорості середнього ступеня не зазнало достовірних змін, хоча спостерігалась тенденція до незначного їх збільшення. Відносне число В-лімфоцитів у людей з набутою короткозорістю середнього ступеня було достовірно більше контрольних показників.

Аналіз результатів вивчення стану системного імунітету дозволяє зробити висновок про те, що у групі осіб з набутою короткозорістю високого ступеня виявлено найменшу серед короткозорих осіб кількість лейкоцитів і лімфоцитів. Так, абсолютне число лейкоцитів є меншим, ніж у групі осіб із нормальним зором, на 13,4%, лімфоцитів – на 19,1%.

Нами встановлено, що на тлі високого ступеня набутої короткозорості відбулось достовірне зменшення числа Т-лімфоцитів (CD3+) (28,7 і 14%, абсолютні та відносні величини відповідно) та їх субпопуляції Т-хелперів/індукторів (CD4+) (29 і 3,5%, абсолютні та відносні величини відповідно). Абсолютне число клітин субпопуляції цитотоксичних Т-супресорів (CD8+) не мало достовірної різниці з контрольними величинами, а от відносна кількість більша на 0%.

Кількісні зміни субпопуляцій Т-лімфоцитів призвели до зменшення показників імунорегуляторного індексу на 35% щодо рівня практично здорових людей.

Абсолютне число В-лімфоцитів на тлі набутої короткозорості високого ступеня не мало достовірних змін, хоча спостерігалась тенденція до збільшення їх числа. Стосовно відносного числа В-лімфоцитів, нами виявлено достовірне його зростання порівняно з контрольними показниками.



Отже, виходячи з отриманих нами результатів, зазначимо, що набута короткозорість будь-якого ступеня супроводжується дисфункцією клітинної ланки системного імунітету, що проявляється у зменшенні загальної кількості лейкоцитів, лімфоцитів через зменшення всіх субпопуляцій Т-лімфоцитів. Зазначені зміни у клітинній ланці системного імунітету супроводжуються формуванням імунних порушень і проявами вторинного імунодефіциту.

## ВИСНОВКИ

Нами встановлено, що максимальні відхилення від норми (зменшення числа Т-лімфоцитів CD3+, CD4+) спостерігались на тлі високого ступеня набутої короткозорості, а мінімальні відхилення від норми були виявлені на тлі слабого ступеня набутої короткозорості. Середні значення зменшення числа лімфоцитів CD3+, CD4+ були виявлені на тлі середнього ступеня набутої короткозорості.

В осіб із набутою короткозорістю віком 18–35 років слабого, середнього та високого ступеня виявлено формування імунодефіцитного стану за Т-клітинним типом (унаслідок зменшення Т-хелперів/індукторів).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини як об'єкта дослідження». Документ 990-005, редакція від 01.10.2008. Доступно на: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990\\_005](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005).
2. Загальна декларація про біоетику та права людини / Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури, відділ етики науки і технології, сектор соціальних і гуманітарних наук. 2005, жов. 19. 12 с. Доступно на: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>.
3. Клінічна лабораторна діагностика : підручник / Л.Є. Лаповець та ін. Київ : ВСВ «Медицина», 2021. 472 с.
4. Аналіз показників вищої нервової діяльності в залежності від ступеня короткозорості / Ю.І. Колесник та ін. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2019. № 4 (4). С. 268–273. DOI: 10.26693/jmbs04.04.268.
5. Колесник Ю.І., Шейко В.І. Показники уваги осіб з набутою короткозорістю слабого та високого ступеню на фоні процесів гальмування. *Молодий вчений*. 2018. № 2 (54). С. 1–5.
6. Офтальмологічна допомога в Україні за 2014–2017 рр. : аналітично-статистичний довідник / Р.О. Моїсеєнко та ін. Київ, 2018. 314 с.
7. Орлова Н.М., Костецька А.О. Стан офтальмологічного здоров'я школярів та організаційна технологія його медико-соціального моніторингу. *Україна. Здоров'я нації*. 2014. № 1 (29). С. 7–11.
8. Статистичні дані системи МОЗ / Центр медичної статистики МОЗ України. Доступно на: <http://medstat.gov.ua/ukr/statdan.html>.
9. Стан здоров'я учнів середнього шкільного віку однієї з гімназій м. Києва / О.В. Тяжка та ін. *Неонатологія, хірургія та перинатальна медицина*. 2015. № 1 (5). С. 19–23. DOI: 10.24061/2413-4260.V.1.15.2015.3.
10. Ціборовський О.М. Здоров'я населення і фактори ризику, що впливають на його стан, як об'єкт управління : огляд літератури. *Україна. Здоров'я нації*. 2015. № 2. С. 13–19.
11. Шейко В.І., Колесник (Куш) Ю.І. Біологічний вплив комп'ютера та його складників як фактор погіршення здоров'я людини та міопізації ока. Publishing House “Baltija Publishing”, 2021. С. 91–114.

12. Щорічна доповідь про стан здоров'я населення, санітарно-епідемічну ситуацію та результати діяльності системи охорони здоров'я України. 2017 р. Київ : ДУ «УІСД МОЗ України», 2018. 458 с.
13. AQUIOS Tetra Software System Guide. PN B26364AB. Beckman Coulter Ireland Inc. 2015 Apr. Available from: <https://www.beckmancoulter.com/wsrportal/techdocs?docname=B26364AB.pdf>.
14. Global data on visual impairments 2010 / World Health Organization.. Geneva, 2012 [cited 018 Nov 5]. 14 p. Available from: <https://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf>.
15. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050 / B.A. Holden et al. *Ophthalmol.* 2016. № 123 (5). P. 1036–1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.
16. Comparison of indicators of cellular and humoral immunity in acquired myopia mild and high degree / Vitalii Sheiko et al. *Zdravotnicke listy.* 2020. V. 8. № 4. S. 36–42.

## REFERENCES

1. Gelsinska dtklaracij Vsesvitnoi medicnoi asociacii (2008). Etichni principii medicnih doslidgen za uchastj lydini u ykosti obekta doslidgen [Declaration of Helsinki of the World Medical Association “Ethical principles of medical research with the participation of a person as an object of research”]. Ethical principles of medical research involving a person as a research object. document 990-005. dostup [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990\\_005](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005) [in Ukrainian].
2. Zagalna deklaracij pro bioetiku ta prava lydini (2005). General Declaration on Bioethics and Human Rights. Organizacij Obednanih Nacii z pitan osviti, nauki I kulturi: viddil etiki nauki I tehnologij: stktor socialnih I gumanitarnih nauk [General Declaration on Bioethics and Human Rights. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Science and Technology Ethics Division: Social Sciences and Humanities Sector]. Dostup: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> [in Ukrainian].
3. Lapovec, L.E., Lebid, G.B., Jstremaska, O.O. (Eds.). (2021). *Klinichna laboratorna diagnostika pidruchnik* [Clinical laboratory diagnostics: textbook]. K.: Medecina [in Ukrainian].
4. Kolesnik, Y.I., Sheiko, V.I., Lvov, O.S. (2019). Analiz pokaznikov vishoi nervovoi diylnosti v zfhgnosti vid stupenj korotkozorosni [Analysis of indicators of higher nervous activity depending on the degree of myopia]. *Ukrainskiy gurnal medicine, biologii ta sportu – Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports.* 4. 68–273 [in Ukrainian].
5. Kolesnik, Y.I., Sheiko, V.I. (2018). Pokazniki uvagi osib z nabutoy korotkozoristy slabkogo ta visokogo stupenj na foni procesiv galmuvannj [Indicators of attention of persons with acquired myopia of a weak and high degree against the background of inhibition processes]. *Molodij vchenij – A young scientist.* (54). 1–5 [in Ukrainian].
6. Moiseenko, R.O., Golubchikov, M.V., Mihalchuk, V.M. (Eds.). (2018). *Oftalmologichna dopomoga v Ukraini za 2014–2017 roki (analitichno-statistichna dovidka)* [Ophthalmological care in Ukraine for 2014–2017 (analytical and statistical guide)]. K. [in Ukrainian].
7. Orlova, N.M., Kostecka, A.O. (2014). Stan oftalmologichnogo zdorovij shkoljriv ta organizaciina tehnologij jogo mediko-socialnogo monitirimgu [The state of ophthalmic health of schoolchildren and the organizational technology of its medical and social monitoring]. *Ukraina. Zdorovii nacii – Ukraine. The health of the nation.* (29): 7–11 [in Ukrainian].
8. Statistichni dani system MOZ. Centr medicnoi statistiki MOZ Ukraina [Statistical data of the system of the Ministry of Health. Center for Medical Statistics of the Ministry of Health of Ukraine]. dostup: <http://medstat.gov.ua/ukr/statdan.html> [in Ukrainian].
9. Tjgka, O.V., Kazakova, M.M., Vasykova, L.M. (Eds.) (2015). Stan zdorovij uchniv serednogo shkilnogo viku odniei z gimnazii m. Kieva [The state of health of secondary school

- students of one of the Kyiv gymnasiums]. Neonatologij, hirurgij ta prenatalna medicina – Neonatology, surgery and perinatal medicine. 1 (5): 19–23. DOI: 10.24061/2413-4260.V.1.15.2015.3.
10. Cibrovska, O.M. (2015). Zdorovie naseleonnj I faktori riziru, cho volivayt nf jogo stan, jk obekt upravlinnj (ogljd literaturi) [Population health and risk factors affecting its condition as an object of management (literature review)]. Ukraina. Zdorovii nacii – Ukraine. The health of the nation. 13–19.
  11. Cibirovskij, O.M. (2015). Zdorovie naseleonnj I faktori rizru, cho vplivayt na jogo stan, jk obekt upravlinnj (ogljd literaturi) [Population health and risk factors affecting its condition as an object of management (literature review)]. Uraina. Zdorovie nacii – Ukraine. Health of the nation. 13–19 [in Ukrainian].
  12. Sheiko, V.H., Kolesnyk (Kush), Y.I. (2021). Biologschnii vpliv kompytera ta yogo skladnikiv jk faktor pogirshennj zdorovj lydini ta miopizacij oka [Biological influence of the computer and its components as a factor of deterioration of human health and myopisation of the eye] (pp. 91–114). Publishing House “Baltija Publishing” [in Baltija].
  13. Shorichna dopovid pro stan zdorovij naseleonnj, sanitarno-tpidemilogichnu situaciy ta rezultati dijlnosti sistemi ohoroni zdorovij Ukraini 2017 rik (2018) [Annual report on the state of health of the population, the sanitary-epidemic situation and the results of the health care system of Ukraine 2017 year]. Kyiv MOZ Ukraina – Kyiv Ministry of Health of Ukraine. 2018. 458 [in Ukrainian].
  14. AQUIOS Tetra Software System Guide. PN B26364AB. Beckman Coulter Ireland Inc [Internet]. 015 Apr. Available from: <https://www.beckmancoulter.com/wsrportal/techdocs?docname=B26364AB.pdf> [in USA].
  15. Global data on visual impairments 2010. World Health Organization. [Internet]. Geneva; 2012 [cited 2018 Nov 5]. 14 p. Available from: <https://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf>.
  16. Sheiko Vitalii, Dereka Tetiana, Kolesnyk Yuliia. Comparison of indicators of cellular and humoral immunity in acquired myopia mild and high degree. Zdravotnicke listy. 2020. V. 8. № 4, s. 36–42 [in Slovakia].

## ABSTRACT

### INDICATORS OF THE CELLULAR LINK OF SYSTEMIC IMMUNITY ON THE BACKGROUND OF VARIOUS DEGREES OF NAUTICAL SHORTNESS

Acquired myopia develops during life as an adaptive response of the visual sensory system in response to long-term work at a close distance and, as a rule, does not lead to complex pathological complications. However, high values of myopia significantly increase the risk of maculopathy, glaucoma and other related complications, which can later lead to loss of visual function and even blindness. That is why the medical and socio-economic consequences of myopia are significant for society. It should be noted that the condition of myopia affects not only the quality of visual functions. It has been established that, under the conditions of myopia, there are differences in the activity of the visceral systems of the body (in particular, the immune system), as well as in the functioning of the central nervous system.

The purpose of the study: to investigate the indicators of the cellular link of systemic immunity in people suffering from acquired myopia of various degrees.

The study was conducted on a group of volunteers, a total of 120 people, aged 18–35, who were divided into four groups: the first group – control practically healthy people, the second group – people who suffered from acquired myopia of a weak degree, the third group – people

who suffered from myopia of an average degree, the fourth group – people who suffered from myopia of a high degree. The immunological status of the cellular link of systemic immunity was assessed by the state of the T- and B-systems.

In this way, we established that in persons with acquired myopia aged 18–35 years of weak, medium and high degree, the formation of an immunodeficiency state according to the T-cell type (due to a decrease in T-helpers/inducers) was detected.

**Key words:** myopia, systemic immunity, cellular link of immunity.

*Галина Миколаївна Клепач,*

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
orcid.org/0000-0003-0784-8373, Scopus Author ID: 6508046859, Scopus Author ID:  
35490960800, ResearcherID: JGC-9834-2023, e-mail: h.klepach@ddpu.edu.ua

*Іванна Володимирівна Новіченко,*

магістр спеціальності 014 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини)  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
e-mail: ivanna.novichenko@ddpu.edu.ua

*Світлана Ярославівна Волошанська,*

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
orcid.org/0000-0003-4589-6376, e-mail: s.voloshanska@ddpu.edu.ua

## **ОЦІНКА ВМІСТУ ДЕЯКИХ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН У ШИШКОЯГОДАХ РОСЛИН *JUNIPERUS COMMUNIS* ІЗ ПРИРОДНИХ ПОПУЛЯЦІЙ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ**

**Анотація.** Шишкоягоди *Juniperus communis* є важливою лікарською рослинною сировиною завдяки високому вмісту біологічно важливих речовин, які зумовлюють її терапевтичний ефект, а також фармакологічну активність препаратів, екстрактів, біологічно активних добавок (БАДів), фіточаїв, виготовлених на її основі. Якісний і кількісний склад лікарської сировини може змінюватись залежно від генетичної структури популяції та ґрунтово-кліматичних умов зростання рослин, через що вміст біологічно важливих речовин у кожному зборі потрібно постійно контролювати.

Оцінено вміст деяких біологічно-активних речовин у шишкоягодах рослин *J. communis*, які зростають на території Львівської області у п'яти різних локаціях нижнього гірського поясу Українських Карпат. Здійснено порівняльний аналіз загального вмісту поліфенолів, аскорбінової кислоти та каротину в шишкоягодах *J. communis* 2019–2023 років збору. Виявлено, що сумарний вміст поліфенолів і аскорбінової кислоти в шишкоягодах *J. communis* має сезонну варіативність. Визначено, що сумарний вміст поліфенолів (метод Фоліна – Чокальтеу, у перерахунку на галову кислоту (GA)), екстрагованих 70% етанолом із подрібнених шишкоягід, варіює в широкому діапазоні – від  $200 \pm 10$  до  $340 \pm 20$  мг GA/г абсолютно сухої маси (АСМ). Вміст аскорбінової кислоти в шишкоягодах ялівцю варіює у вужчому діапазоні значень – від  $1,11 \pm 0,05$  до  $1,48 \pm 0,07$  мг/г АСМ. Вміст каротину у зборах шишкоягід *J. communis* 2019–2023 років є незначним, у середньому становить  $2,36 \pm 0,11$  мкг/г АСМ, сезонна та популяційна мінливість не спостерігається. З'ясовано, що шишкоягоди рослин *J. communis*, які зростають на території Львівської області в різних локаціях Українських Карпат, різняться вмістом поліфенолів в 1,25–1,7 рази й аскорбіновою кислотою – в 1,33 рази, але не каротином.

**Ключові слова:** *Juniperus communis*, шишкоягоди, екстракти, біологічно активні речовини, сезонна варіативність, популяційна мінливість.

## ВСТУП

Серед відомих лікарських рослин, які використовуються не тільки у фармакології та лікувальній практиці, є ялівець звичайний (*Juniperus communis* L.) – представник родини кипарисових (*Cupressaceae*) класу Хвойні (*Pinopsida*) [1]. *J. communis* є ефіроолійною, фітонцидною та смолоносною рослиною з високим терапевтичним потенціалом, завдяки чому знаходить застосування в косметології, фізіотерапії й ароматерапії. Шишкоягоди (fruits) цієї рослини є компонентами деяких оздоровчих фіточаїв, біологічно активних добавок (далі – БАД), у кулінарії використовуються як пряність, у фармакології – джерело біоактивних сполук, ефірної олії [2; 3].

Ареал поширення *J. communis* є значним та простягається від 70° північної широти на південь приблизно до 28–30° північної широти. Вид трапляється у Скандинавії, Сибіру, північних регіонах Азії, Європи, Північної Америки, а також у деяких природних популяціях південної півкулі. В Азії *J. communis* зростає у природних умовах Гімалаїв на висоті 3 000–4 000 м від Афганістану до Південно-Західного Китаю [4; 5]. В Україні *J. communis* L. поширений у нижньому гірському поясі Українських Карпат, Прикарпатті на території Івано-Франківської та Львівської областей, а також на Поліссі (Волинська область) [3; 6].

*J. communis*, будучи поширеним у великому ареалі з різноманітними екологічними умовами, є досить мінливим. Для нього описано кілька підвидів, різновидів і форм. Серед представників *J. communis* L. трапляються як деревні, так і чагарникові форми, як однодомні, так і дводомні рослини [4].

*J. communis* є видом, стійким до бідних ґрунтів, посухи, низьких температур, але потребує доброго освітлення, тому трапляється на відкритих ділянках, скелях, або у змішаних насадженнях із широколистяними чи хвойними деревами. Зростають представники *J. communis* на різних типах ґрунту, частіше за все – сухих, бідних піщаних і підзолистих, які за помірної вологості є найбільш сприятливими; трапляються також на надлишково проточно-вологих, незначно заболочених ґрунтах [7].

У природних популяціях України *J. communis* L. зростає у вигляді вічнозеленого куща заввишки 1–3 м, або невеликого дерева із прямим стовбуром заввишки 4–6 м, що має яйце- чи конусоподібну крону [3]. Шишкоягоди *J. communis* L. дозрівають упродовж 2 років. На пагонах рослин одночасно є зрілі, синьо-чорного забарвлення, та сформовані, але незрілі зелені (діаметром 7–9 мм), а також маленькі шишкоягоди [4].

Завдяки добре відомому терапевтичному ефекту плодів, хвої та кори *J. communis* їхній хімічний склад і біологічні властивості отриманих екстрактів досліджуються з метою оптимального використання їх у лікувальній практиці, фармакології, ветеринарній медицині, парфумерно-косметичній і харчовій промисловості [5; 8–13]. У складі шишкоягід, хвої, кори та коріння представників роду *Juniperus* описано чимало різних біоактивних речовин, які чинять седативну, протизапальну, антифунгальну, антимікробну, розслабляючу й імуномодулюючу дії [2; 4; 10; 11; 14; 15].

Основною діючою речовиною шишкоягід *J. communis* є ефірна олія (0,5–2%), у складі якої  $\alpha$ -терпінеол,  $\alpha$ -пінен, камфен, дитерпен, кадинен, борнеол, ізоборнеол, дубильні речовини, флавоноїди, смоли (9%), органічні кислоти (яблучна, гліколева, мурашина, оцтова), інвертований цукор (30–40%), інозит, пектини, солі калію [4; 10]. Окрім того, шишкоягоди *J. communis* містять речовину юніперин із фарбувальними властивостями, а також пектинові, гіркі, смолисті (до 9,5%) та інші речовини. Ефірні олії, що містяться в шишкоягодах ялівцю, є здебільшого сумішшю аліфатичних і циклічних терпеноїдів

(переважно моно- і сесквітерпенів), їх спиртів і кетонів зі супутніми похідними бензойної кислоти та фенілпропану [10]. Проте найбільш цінною складовою частиною ефірних олій *J. communis* є оксигенвмісні сполуки, особливо спирти й ефіри, які мають приємний запах і потужну терапевтичну дію [2; 10].

Екстракти шишкоягід, хвої та кори рослин *J. communis* використовують у деяких фармацевтичних і технічних препаратах, косметичних засобах, а також як харчові добавки [2; 5; 8]. Шишкоягоди *J. communis* у традиційній медицині використовуються для лікування захворювань шкіри завдяки терапевтичному ефекту флавоноїду (гіполаєтин 7-О-β-D-ксилопіранозиду), який здатний інгібувати клітинну тирозиназу, що веде до уповільнення синтезу меланіну [16]. У дослідженнях N. Miceli et al. (2009 р.) показано, що підвиди *J. communis* L. var. *communis* (Jcc) і *J. communis* L. var. *saxatilis*. (Jcs) із Туреччини різняться загальним вмістом поліфенолів, флавоноїдів і біфлавоноїдів, антиоксидантною активністю, хелатною здатністю Fe (2+), а також антимікробним потенціалом стосовно грампозитивних бактерій [11].

Відомо, що антиоксидантні властивості лікарської рослинної сировини (далі – ЛРС) визначаються значною мірою вмістом поліфенольних сполук і аскорбіновою кислотою, синтез і накопичення яких залежать від низки чинників. Зокрема, хімічний і якісний склад ЛРС залежить від ґрунтово-кліматичних умов зростання та генетичного потенціалу сорту чи популяції рослин, змінюється він також із віком рослини [8]. Тому вивчення якісного та кількісного складу ЛРС, визначення найбільш продуктивної популяції чи сорту в обраних умовах їх зростання є завжди важливим і актуальним питанням.

**Метою дослідження** є оцінка вмісту деяких біологічно активних речовин (далі – БАР) і їхньої сезонної мінливості в шишкоягодах рослин *J. communis*, які зростають на території Львівської області у природних популяціях нижнього гірського поясу Українських Карпат.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

**Об'єкт дослідження.** Матеріалом для дослідження слугували шишкоягоди рослин *J. communis*, які зростають на території Львівської області в різних локаціях нижнього гірського поясу Українських Карпат: 1) околиці с. Сторона (Дрогобицький район); 2) околиці с. Лопушанка (Самбірський район); 3) околиці с. Верхня Стинава (Стрийський район); 4) околиці с. Довге-Гірське (Дрогобицький район); 5) околиці с. Бориня (Самбірський район).

Природні популяції рослин *J. communis* у зазначених локаціях характеризувались різною віковою структурою та представлені здебільшого деревами з конусоподібною кроною заввишки 4–6 м.

Локації популяцій рослин *J. communis* розташовані в північно-східному регіоні країни. Територія, на якій зростають рослини *J. communis*, розташована на висоті 300–400 м над рівнем моря та характеризується помірно континентальним кліматом. На територіях місць зростання рослин *J. communis* переважають буро-підзолисті поверхнево-оглеєні ґрунти, які є сприятливими для їхнього росту та розвитку [3].

Збір шишкоягід проводився щорічно наприкінці вересня (за сприятливих умов погоди) у 2019–2023 рр., у період їх повної зрілості. Шишкоягоди *J. communis* округлої форми (7–10 мм у діаметрі), чорні з легким восковим нальотом. Насінини довгасті та мають тверду оболонку.

Плоди *J. communis* висушували повітряно-темновим способом за  $25 \pm 3^\circ\text{C}$  у приміщенні з доброю вентиляцією до стабільної маси (повітряно-суха). Частина плодів висушувалась до абсолютно-сухої маси в сухожаровій шафі за  $105^\circ\text{C}$ .

**Приготування 70% (m/v) етанольних екстрактів шишкоягід *J. communis*.** Наважку повітряно-сухих шишкоягід масою 10 г подрібнювали на лабораторному млині до лінійних розмірів 0,5–2 мм. До подрібненого матеріалу вносили 70% етанол і витримували 10 діб за температури  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  у темному місці, застосовували щоденне триразове перемішування. Екстракт шишкоягід отримували фільтруванням через стерильну марлю, вологий залишок матеріалу відтискали, промивали невеликою кількістю екстрагенту, знову відтискали та доводили отриману витяжку екстрагентом до необхідного об'єму (до 100 мл). Профільтровану витяжку очищали від дрібних залишок сировини центрифугуванням.

Отримані спиртові екстракти використовували для визначення загального вмісту фенольних сполук у шишкоягодах *J. communis* у перерахунку на їх абсолютно-суху масу (далі – АСМ).

**Визначення загального вмісту фенольних сполук у спиртових екстрактах шишкоягід здійснювали із застосуванням реактиву Фоліна – Чокальтеу.** Колориметричний метод визначення загального вмісту фенольних речовин заснований на їхній здатності відновлювати фосфорно-вольфрамову та фосфорно-молібденову кислоти (складники реактиву Фоліна – Чокальтеу) до суміші оксидів. Останні набувають блакитного забарвлення, інтенсивність яких пропорційна кількості відновлених фенольних речовин, що детектуються спектрофотометрично за 765 нм [17].

**Хід аналізу.** У дослідні проби вносили по 0,2 мл розведеного ( $n = 10, 50$  і  $100$ ) спиртового екстракту шишкоягід *J. communis*, 0,4 мл реактиву Фоліна – Чокальтеу, через кілька хвилин – 2,4 мл 5% натрію гідрокарбонату. Далі проби перемішували, доводили їхній об'єм дистильованою водою до 5 мл та інкубували 40 хвилин за кімнатної температури.

Визначали оптичну густину проб на спектрофотометрі UNICO 2150E (United Products & Instruments, США) за довжини хвилі 765 нм стосовно до контролю, який містив дистильовану воду замість досліджуваного екстракту.

Для обчислення вмісту поліфенолів у досліджуваних зразках будували калібрувальний графік. Стандартом порівняння слугував розчин галової кислоти (GA) з концентрацією 0,2 г/л. Вміст суми поліфенольних сполук (у перерахунку на галову кислоту, мг GA-одиниць) у шишкоягодах *J. communis* обчислювали за формулою (1):

$$X = \frac{c \cdot V_p \cdot n \cdot k}{V_p \cdot m}, \quad (1)$$

де  $X$  – вміст суми поліфенольних сполук в АСМ сировини, мг GA/г АСМ;  $c$  – масова концентрація галової кислоти, знайденої за калібрувальним графіком, мг GA/л;  $V_E$  – об'єм спиртового екстракту, мл;  $n$  – розведення екстракту;  $V_p$  – об'єм фотометрованої проби, мл;  $m$  – маса сухої наважки сировини, г;  $k$  – коефіцієнт перерахунку на АСМ сировини.

**Визначення вмісту аскорбінової кислоти (далі – АК) у шишкоягодах спектрофотометричним методом за Муррі.** Метод заснований на редуруючих властивостях аскорбінової кислоти, під дією якої 2,6-дихлорфеноліндофенол (розчин Тільманса) синього забарвлення відновлюється до безбарвної сполуки [18].



**Приготування екстракту.** Наважку рослинного матеріалу (свіжі шишкоягоди *J. communis*) масою 5 г гомогенізували розтиранням у фарфоровій чашці за присутності 2% метафосфорної кислоти та доводили об'єм до 100 мл цією ж кислотою. Гомогенат охолоджували та центрифугували до повного осадження залишків матеріалу. Супернатант (далі – екстракт) використовували для визначення вмісту АК в сировині.

**Хід аналізу.** У дослідні проби вносили по 5 мл розведеного (у 100, 500 і 1 000 разів) екстракту й у точно фіксований час додавали 0,5 мл 0,025% розчину 2,6-дихлорфеноліндофенолу. Через 35 секунд дослідну пробу фотометрували за 530 нм у кварцовій 10 мм кюветі проти 2% кислоти (контрольна проба). Контролем слугувала проба, що містила 5 мл 2% кислоти та 0,5 мл барвника. Зміна інтенсивності забарвлення дослідного розчину пропорційна кількості АК.

Для обчислення вмісту АК в досліджуваних зразках будували калібрувальний графік. Стандартом порівняння слугував розчин аскорбінової кислоти з концентрацією 0,3 мг/л. Вміст АК в шишкоягодах *J. communis* обчислювали за формулою (2):

$$X = \frac{A \cdot V_p \cdot n \cdot k}{V_e \cdot m}, \quad (2)$$

де  $X$  – масова концентрація АК, мг/г АСМ;  $A$  – вміст АК, мг/мл екстракту, знайденої за калібрувальним графіком;  $V_e$  – об'єм екстракту, мл;  $n$  – розведення екстракту;  $V_p$  – об'єм фотометрованої проби, мл;  $m$  – маса повітряно-сухої наважки сировини, г;  $k$  – коефіцієнт перерахунку на АСМ сировини.

**Визначення вмісту каротину в шишкоягодах спектрофотометричним методом за Попандопуло [19].** Наважку свіжих шишкоягід масою 5 г гомогенізували у ступці з додаванням петролейного ефіру. Перенесли отриманий гомогенат у конічну колбу (на 200 мл), на дно якої поміщали 1,5 см шар натрій сульфату та заливали петролейним ефіром до повного покриття рослинного матеріалу. Настоявали матеріал за кімнатної температури в темряві упродовж доби. Отримували екстракт шляхом поступового фільтрування настою за допомогою скляного фільтра Шота № 3, з'єднаного з колбою Бунзена. Осад матеріалу ретельно промивали петролейним ефіром. Вимірювали загальний об'єм отриманого екстракту та визначали його оптичну густину за  $\lambda = 440$  нм. Обчислювали вміст каротину в шишкоягодах (мкг/г АСМ) за формулою (3):

$$X = \frac{D_{440} \cdot V \cdot k}{V_p \cdot m}, \quad (3)$$

де  $X$  – масова концентрація каротину, мкг/г АСМ;  $D_{440}$  – значення оптичної густини екстракту за 440 нм;  $V$  – загальний об'єм екстракту, мл;  $m$  – маса наважки, г;  $k$  – коефіцієнт перерахунку на АСМ рослинного матеріалу.

**Статистичний аналіз експериментальних даних.** Досліди проводили в п'яти аналітичних повторях. Отримані результати опрацьовували статистично з використанням програми *Microsoft Office Excel*. Для кожної вибірки показників визначали середнє арифметичне ( $M$ ), стандартну похибку середнього ( $m$ ), коефіцієнт Стюдента ( $t$ ) і достовірність ( $p$ ). Статистичний і математичний аналіз отриманих даних здійснювали шляхом застосування дисперсійного та кореляційного аналізів. Дані вважали достовірними за рівня значущості  $p \leq 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТИ

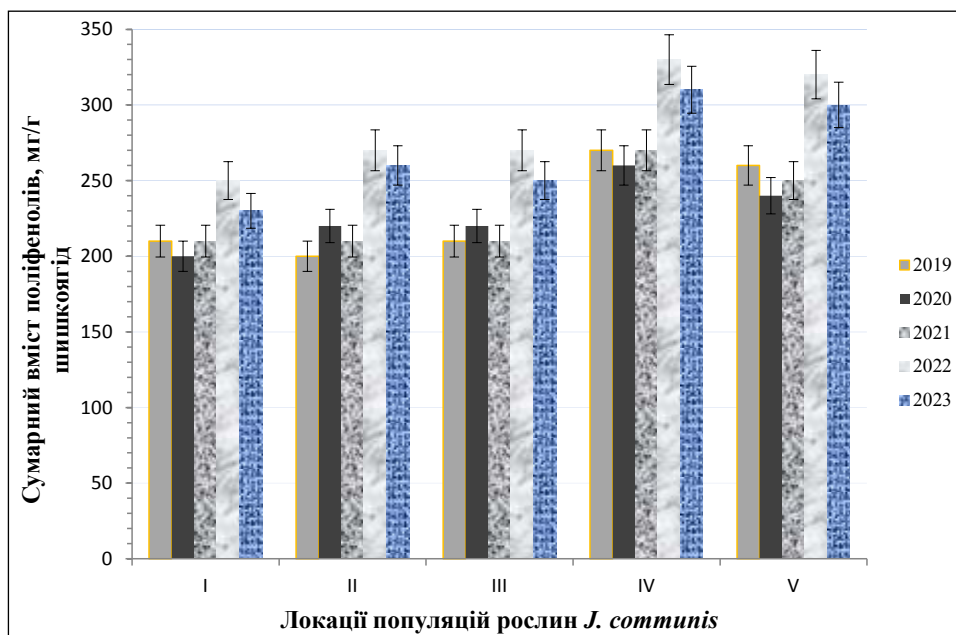
Шишкоягоди *J. communis* є важливою лікарською сировиною, яку використовують як окремо, так і у складі фітокомполітів лікувального призначення завдяки наявності в їхньому складі значних кількостей БАР [8]. Кількісний і якісний склад діючих речовин є важливим показником якості ЛРС, тому їхній вміст контролюють у кожному зборі. У низці досліджень показано, що вміст деяких БАР у складі шишкоягід може змінюватись залежно від ґрунтово-кліматичних умов зростання та генетичної структури популяцій, виявляючи сезонну мінливість [20]. Тому ми здійснили аналіз вмісту деяких БАР у складі шишкоягід *J. communis*, які зібрані на території Львівської області в різних локаціях нижнього гірського поясу Українських Карпат у 2019–2023 рр.

Для визначення вмісту БАР шишкоягоди *J. communis* піддавали механічному подрібненню до лінійних розмірів 0,5–2 мм. У попередніх дослідженнях ми встановили, що настоювання подрібнених плодів *J. communis* у 70% (m/V) етанолі є ефективним і оптимальним способом отримання біологічно активних екстрактів. Для їх отримання досить семидобового настоювання подрібненої сировини *J. communis* за умов кімнатної температури в поєднанні зі щоденним (3–5 разів) перемішуванням. Отримані таким способом спиртові екстракти шишкоягід мають найвищий вміст поліфенолів і аскорбінової кислоти, а також володіють високою бактерицидною дією стосовно тест-культур *Escherichia coli* та *Streptococcus epidermidis* [12]. У подальших дослідженнях ми застосували зазначений спосіб подрібнення сировини *J. communis* для екстрагування поліфенолів і визначення їх вмісту у зборах шишкоягід.

**Оцінка загального вмісту поліфенолів у шишкоягодах *J. communis*.** Сумарний вміст поліфенолів (за галовою кислотою) у плодах *J. communis* (у перерахунку на абсолютно суху біомасу) визначали за їх кількістю, екстрагованих 70% етанолом. Як бачимо (рис. 1), вміст поліфенолів у шишкоягодах *J. communis*, зібраних у різних локаціях Українських Карпат, характеризується сезонною варіативністю та популяційною мінливістю. Варто зауважити, що найвищий вміст поліфенолів притаманний для шишкоягід рослин із локації IV (околиці с. Довге-Гірське, Дрогогобицький район). До того ж їхній вміст у зборах шишкоягід демонструє сезонну варіативність у діапазоні 260–330 мг ГА/г АСМ. Сезонна варіативність за вмістом поліфенолів у зборах шишкоягід притаманна всім дослідженим популяціям *J. communis*. Зокрема, у шишкоягодах рослин локації I вміст ПФ варіює в діапазоні 200–250 і становить у середньому  $220 \pm 10$  мг ГА/г АСМ; з локації II – у діапазоні 200–270 і в середньому становить  $230 \pm 10$  мг ГА/г АСМ; з локації III – у діапазоні 210–270 і становить  $230 \pm 10$  мг ГА/г АСМ; з локації V – у діапазоні 260–320, становить  $270 \pm 10$  мг ГА/г АСМ.

Отже, вміст ПФ у зборах шишкоягід *J. communis* є досить високим, демонструє сезонну варіативність і популяційну мінливість, що узгоджується з даними літератури. Зокрема, у дослідженнях J. Fejér et al. (2022 р.) показано, що вміст поліфенолів та інших БАР в екстрактах шишкоягід *J. communis*, зібраних у різних локаціях Північно-Східної Словаччини, також має сезонну варіативність [20].

**Оцінка аскорбінової кислоти в шишкоягодах *J. communis*.** Згідно з даними літератури, шишкоягоди *J. communis* містять значну кількість аскорбінової кислоти (АК) – біологічно активної речовини, важливої для рослин і здоров'я людини [2; 3; 10]. АК, відома як вітамін С, належить до похідних поліокси-γ-лактонів ненасичених карбонових (α-гулонової) кислот і володіє антиоксидантними властивостями. Завдяки



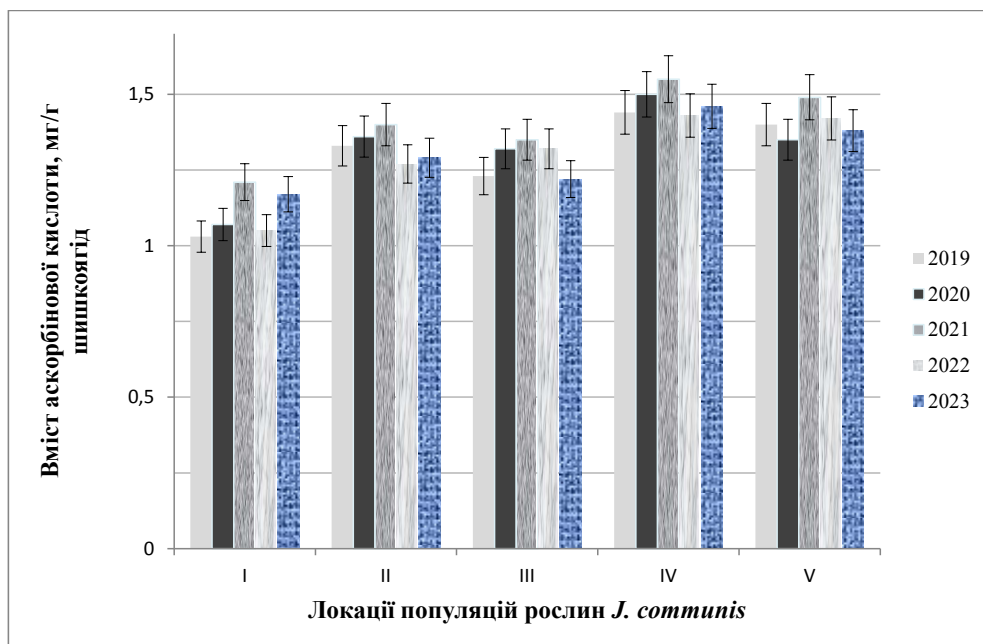
**Рис. 1.** Сезонна варіативність сумарного вмісту поліфенолів у шишкоягодах рослин *J. communis*, які зростають на території Львівської області в різних локаціях (I–V) нижнього гірського поясу Українських Карпат: I) околиці с. Сторона (Дрогобицький район); II) околиці с. Лопушанка (Самбірський район); III) околиці с. Верхня Стинава (Стрийський район); IV) околиці с. Довге-Гірське (Дрогобицький район); V) околиці с. Бориня (Самбірський район)

останнім АК бере участь у захисті клітин від руйнівного впливу вільних радикалів, які можуть призвести до окислювального стресу й ушкоджень клітинних структур [21]. Біологічна роль АК є багатогранною: вона посилює стресостійкість, репаративні процеси, збільшує стійкість до інфекцій, покращує засвоєність йонів кальцію та феруму. Тому багато видів рослин синтезують і накопичують АК у вегетативних і генеративних органах [8].

Ми оцінили вміст АК у шишкоягодах *J. communis*, зібраних у досліджуваних локаціях нижнього гірського поясу Українських Карпат. Як бачимо (рис. 2), її вміст є високим і узгоджується з даними літератури [21]. Необхідно зауважити, що вміст АК у зборах шишкоягід рослин *J. communis* з усіх досліджених локацій виявляє деяку сезонну варіативність. Зокрема, у зборах шишкоягід з локації I вміст АК варіює в діапазоні 1,03–1,21 і становить у середньому  $1,11 \pm 0,05$  мг/г АСМ; з локації II – варіює в діапазоні 1,27–1,40 і в середньому становить  $1,33 \pm 0,06$  мг/г АСМ; з локації III – варіює в діапазоні 1,22–1,35 і становить  $1,29 \pm 0,06$  мг/г АСМ; з локації IV – варіює в діапазоні 1,43–1,55 і становить  $1,48 \pm 0,07$  мг/г АСМ; з локації V – варіює в діапазоні 1,35–1,49 і становить  $1,41 \pm 0,07$  мг/г АСМ.

Отже, вміст АК у плодах *J. communis* 2019–2023 рр. збору має деяку сезонну мінливість і варіює в діапазоні значень від 1,03 до 1,55 мг/г, що в середньому становить  $1,32 \pm 0,06$  мг/г АСМ. Зокрема, вміст АК у шишкоягодах *J. communis* 2021 р. збору з усіх досліджених локацій був дещо вищим і становив  $1,40 \pm 0,06$  мг/г АСМ, на противагу

вмісту АК у шишкоягодах інших років збору (у 2019 р. –  $1,29 \pm 0,06$ ; 2020 р. –  $1,32 \pm 0,07$ ; 2022 р. –  $1,30 \pm 0,07$ ; 2023 р. –  $1,30 \pm 0,07$  мг/г АСМ). Зауважено, що вміст АК в шишкоягодах рослин з різних локацій виявляє й популяційну мінливість. Зокрема, найвищий вміст АК (у середньому по сезонах) мають шишкоягоди ялівцю рослин з локації IV ( $1,48 \pm 0,07$  мг/г АСМ), найменший – з локації I ( $1,11 \pm 0,05$  мг/г АСМ), що в 1,33 раз менше. Отже, у шишкоягодах *J. communis* 2019–2023 рр. збору вміст АК виявляє сезонну варіативність і популяційну мінливість.



**Рис. 2.** Сезонна варіативність вмісту аскорбінової кислоти в шишкоягодах рослин *J. communis*, які зростають на території Львівської області в різних локаціях нижнього гірського поясу Українських Карпат: I) околиці с. Сторона (Дрогобицький район); II) околиці с. Лопушанка (Самбірський район); III) околиці с. Верхня Стинава (Стрийський район); IV) околиці с. Довге-Гірське (Дрогобицький район); V) околиці с. Бориня (Самбірський район)

**Оцінка вмісту каротину в шишкоягодах *J. communis*.** З даних літератури відомо, що шишкоягоди *J. communis* містять також незначну кількість каротину [21]. Останній є оранжевим пігментом, представником природних каротиноїдів, які часто трапляються в лікарських рослинах, овочевих і плодово-ягідних культурах. Цей пігмент є важливим для здоров'я людей, оскільки є попередником вітаміну А, має антиоксидантні та генопротекторні властивості. Антиоксидантні властивості каротиноїдів зумовлюють їхню фотозахисну, антимуtagenну та канцерогенну дії [21]. Ми оцінили вміст каротину у зборах шишкоягід *J. communis* за методом Попандопуло [19].

Як свідчать результати досліджень (табл. 1), вміст каротину в шишкоягодах *J. communis* різних років збору є незначним і в середньому становить  $2,36 \pm 0,11$  мкг/г АСМ, сезонна варіативність не спостерігається. Зокрема, вміст каротину у зборах

**Сезонна варіативність вмісту каротину в шишкоягодах *J. communis*,  
зібраних на території Львівської області в різних локаціях нижнього гірського  
поясу Українських Карпат**

Локації	Вміст каротину, мкг/г шишкоягід (АСМ)					
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	M ± m
I	2,34 ± 0,11	2,31 ± 0,11	2,36 ± 0,12	2,35 ± 0,12	2,33 ± 0,11	2,34 ± 0,11
II	2,32 ± 0,11	2,35 ± 0,11	2,37 ± 0,12	2,34 ± 0,11	2,33 ± 0,11	2,34 ± 0,11
III	2,35 ± 0,11	2,34 ± 0,11	2,38 ± 0,12	2,35 ± 0,11	2,34 ± 0,11	2,35 ± 0,11
IV	2,37 ± 0,12	2,38 ± 0,12	2,42 ± 0,12	2,40 ± 0,12	2,39 ± 0,12	2,39 ± 0,12
V	2,36 ± 0,12	2,39 ± 0,12	2,40 ± 0,12	2,39 ± 0,12	2,37 ± 0,12	2,38 ± 0,12
M ± m	2,35 ± 0,11	2,35 ± 0,11	2,39 ± 0,12	2,37 ± 0,12	2,35 ± 0,11	2,36 ± 0,11

шишкоягід із локації I (у середньому по сезонах) становить  $2,34 \pm 0,11$  мкг/г АСМ; з локації II –  $2,34 \pm 0,11$  мкг/г АСМ; з локації III –  $2,35 \pm 0,11$  мкг/г АСМ; з локації IV –  $2,39 \pm 0,12$  мкг/г АСМ; з локації V –  $2,38 \pm 0,12$  мкг/г АСМ. Порівняльний аналіз вмісту каротину не виявив достовірної різниці ( $p \approx 0$ ) у зборах шишкоягід *J. communis* із досліджуваних популяцій. Отже, його вміст у плодах *J. communis*, зібраних на території Львівської області в нижньому гірському поясі Українських Карпат, у середньому по сезонах становить  $2,36 \pm 0,11$  мкг/г АСМ.

### ВИСНОВКИ

Виявлено, що сумарний вміст поліфенолів і аскорбінової кислоти у зборах шишкоягід рослин *J. communis*, які зростають на території Львівської області в різних локаціях нижнього гірського поясу Українських Карпат, має сезонну мінливість. Установлено, що сумарний вміст поліфенолів (метод Фоліна – Чокальтеу, у перерахунку на галову кислоту), екстрагованих 70% етанолом із подрібнених шишкоягід, характеризується широким діапазоном мінливості та становить  $200 \pm 10\text{--}340 \pm 20$  мг ГА/г АСМ сировини. Вміст аскорбінової кислоти у зборах шишкоягід різних років (2019–2023 рр.) варіює у вужчому діапазоні значень і становить  $1,11 \pm 0,05\text{--}1,48 \pm 0,07$  мг/г АСМ шишкоягід. Вміст каротину у зборах шишкоягід *J. communis* 2019–2023 рр. є незначним, у середньому становить  $2,36 \pm 0,11$  мкг/г АСМ, сезонна мінливість не спостерігається. Дисперсійним аналізом виявлено, що шишкоягоди рослин *J. communis*, які зростають на досліджуваних територіях Українських Карпат, різняться вмістом поліфенолів в 1,25–1,7 рази, аскорбіновою кислотою – в 1,33 раз, але не каротином. Порівняльним аналізом встановлено, що у зборах шишкоягід рослин *J. communis*, які зростають в одній із досліджених популяцій, вміст поліфенолів і аскорбінової кислоти є достовірно найвищим.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лікарські рослини : енциклопедичний довідник / за ред. А.М. Гродзінського. Київ : Українська енциклопедія ім. М.П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. С. 490–491.
2. Біологічно активні речовини і лікувальні препарати з Ялівцю звичайного / О.Г. Малик та ін. *Біологія тварин*. 2010. Т. 12 (1). С. 37–43.
3. Фармакологічні властивості Ялівцю звичайного (*Juniperus communis*) та екологічні особливості його поширення на Дрогобиччині / С.Я. Волошанська та ін. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2014. Вип. 24.4. С. 179–184. URL: [https://nv.ntu.edu.ua/Archive/2014/24\\_4/179\\_Vol.pdf](https://nv.ntu.edu.ua/Archive/2014/24_4/179_Vol.pdf).
4. Adams R.P. *Junipers of the World: The Genus Juniperus*. 4<sup>th</sup> ed. Bloomington, IN, USA : Trafford Publishing Company, 2014. 436 p. URL: <http://surl.li/mlami>.
5. Potential of *Juniperus communis* L as a nutraceutical in human and veterinary medicine / R. Raina et al. *Heliyon*. 2019. Vol. 5 (8) : e02376. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02376.
6. Біологічна дія та застосування фітопрепаратів на основі ялівцю звичайного. Biological effects and application on the basis of herbal *Juniper* usual. / М. Козар та ін. *Acta Carpathica*. 2013. № 10. С. 97–102. URL: <http://surl.li/mkoue>.
7. Euforgen. *Juniperus communis*. URL: <https://www.euforgen.org/species/juniperus-communis>.
8. Preparation and study of Juniper berry and seed extracts / M. Torosyan et al. *Proceedings of the YSU B: Chemical and Biological Sciences*. 2023. Vol. 57. P. 177–181. DOI: 10.46991/PYSU:B/2023.57.2.177.
9. Antioxidant and antimicrobial activities of branches extracts of five *Juniperus* species from Turkey. *Pharm Biol* / M.F. Taviano et al. 2011. Vol. 49 (10). P. 1014–1022. DOI: 10.3109/13880209.2011.
10. Chemical composition and antioxidant properties of *Juniper* berry (*Juniperus communis* L.) essential oil. Action of the essential oil on the antioxidant protection of *Saccharomyces cerevisiae* model organism / M. Höferl et al. *Antioxidants*. 2014. Vol. 3 (1). P. 81–98. <https://doi.org/10.3390/antiox3010081>.
11. Comparative analysis of flavonoid profile, antioxidant and antimicrobial activity of the berries of *Juniperus communis* L. var. *communis* and *Juniperus communis* L. var. *saxatilis* Pall. from Turkey / N. Miceli et al. *J Agric Food Chem*. 2009. Vol. 57 (15). P. 6570–6577. DOI: 10.1021/jf9012295. PMID: 19580284.
12. Assessment of the methods for obtaining alcoholic extracts from *Juniper berry* (*Juniperus communis* L.) / H.M. Klepach et al. *Acta Carpathica*. 2017. 28. P. 63–72. URL: <http://journals.dspu.in.ua/index.php/actacarthica/issue/view/27>.
13. Biologically active properties of the ethanol and aqueous extracts from the needles / H. Klepach et al. *Juniperus communis* / *PNAP (Scientific Journal of Polonia University)*. 2019. Vol. 34 (3). P. 104–112. DOI: <http://dx.doi.org/10.23856/3413>.
14. Modulatory effect of standardised amentoflavone isolated from *Juniperus communis* L. against Freund's adjuvant induced arthritis in rats (histopathological and X Ray anaysis) / S. Bais et al. *Biomed Pharmacother*. 2017. Vol. 86. P. 381–392. DOI: 10.1016/j.biopha.2016.12.027.
15. Antioxidant and Hepatoprotective Potential of Phenol-Rich Fraction of *Juniperus communis* Linn. Leaves / A. Ved et al. *Pharmacogn Mag*. 2017. Vol. 13 (49). P. 108–113. DOI: 10.4103/0973-1296.197648.
16. Tyrosinase inhibitory flavonoid from *Juniperus communis* fruits / J. Jegal et al. *Biosci Biotechnol Biochem*. 2016. Vol. 80 (12). P. 2311–2317. doi.org/10.1080/09168451.2016.1217146.

17. Analysis of total phenols and other oxidations substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent / V.L. Singleton et al. *Methods in enzymology*. 1999. Vol. 299. P. 152–178. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
18. Davies S.H.R., Masten S.J. Spectrophotometric method for ascorbic acid using dichlorophenolindophenol: elimination of the interference due to iron. *Anal. Chim. Acta*. 1991. Vol. 248 (1). P. 225. URL: <https://zlibrary.to/dl/analytica-chimica-acta-1991-vol-248-index>.
19. Сучасні методи біохімічного аналізу рослин : навчальний посібник / Л.В. Шупранова та ін. Дніпро : Вид-во ДНУ, 2011. 80 с.
20. Seasonal variability of *Juniperus communis* L. berry ethanol extracts : 2. *In vitro* ferric reducing ability of plasma (FRAP) assay / J. Fejér et al. *Molecules*. 2022. Vol. 27 (24). P. 9027. DOI: 10.3390/molecules27249027. PMID: 36558161; PMCID: PMC9787287.
21. Антиоксидантна дія екстрактів окремих лікарських рослин / С.С. Монастирська та ін. *Вісник Львівського університету*. Серія «Біологічна». 2016. Вип. 73. С. 409–412. URL: <http://surl.li/mlvij>.

## REFERENCES

1. Likarski roslyny: entsyklopedychnyi dovidnyk (1992) / Grodzinsky A.M. (ed.). Kyiv : Ukrainska entsyklopediia im. M.P. Bazhana, Ukrainskyi vyrobnycho-komertsiinyi tsentr “Olimp” [Kyiv : Ukrainian encyclopedia named after M.P. Bazhan, Ukrainian Production and Commercial Center “Olympus”], 490–491. [in Ukrainian].
2. Malyk, O.G., Voloshans’ka, S.Y. & Kravtsiv, M.M. (2010). Biologichno aktivni rehovyny i likuvalni preparaty z Yalivtsiu zvychainoho [Biologically active substances and medicinal products made from juniper ordinary]. *Biologhiia tvaryn – Biology of animals*, 12 (1), 37–43. [in Ukrainian].
3. Voloshans’ka, S.Y., Kossak, G.M., Skrobach, T.B. & Harachko, T.I. (2014). Farmakologichni vlastyvyosti Yalivtsiu zvychainoho (*Juniperus communis*) ta ekolohichni osoblyvosti yoho poshyrennia na Drohobychchyni [Pharmacological properties of *Juniperus communis* L. and peculiarities of its extension within Drohobych region]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of UNFU*, 24.4, 179–184. URL: [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24\\_4/179\\_Vol.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_4/179_Vol.pdf). [in Ukrainian].
4. Adams, R.P. (2014). *Junipers of the World: The Genus Juniperus*, 4<sup>th</sup> ed.; Trafford Publishing Company: Bloomington, IN, USA, 436. URL: <http://surl.li/mlami>.
5. Raina, R., Verma, P.K., Peshin, R. & Kour, H. (2019). Potential of *Juniperus communis* L as a nutraceutical in human and veterinary medicine. *Heliyon*, 5 (8): e02376. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02376.
6. Kozar, M., Klyuchkovich, V. & Voloshans’ka, S. (2013). Biologichna diia ta zastosuvannya fitopreparativ na osnovi yalivtsiu zvychainoho [Biological effects and application on the basis of herbal *Juniper* usual]. *Acta Carpathica*, 10, 97–102. URL: <http://surl.li/mkoue>. [in Ukrainian].
7. Euforgen. *Juniperus communis*. URL: <https://www.euforgen.org/species/juniperus-communis>.
8. Torosyan, M., Vardapetyan, V., Shahinyan, G. & Martiryan A. (2023). Preparation and study of Juniper berry and seed extracts. *Proceedings of the YSU B: Chemical and Biological Sciences*, 57, 177–181. DOI: 10.46991/PYSU:B/2023.57.2.177.
9. Taviano, M.F., Marino, A., Trovato, A., Bellinghieri, V., La Barbera, T.M., Güvenç A., Hürkul, M.M., Pasquale, R.D. & Miceli, N. (2011). Antioxidant and antimicrobial activities of branches extracts of five *Juniperus species* from Turkey. *Pharm Biol.*, 49 (10), 1014–1022. DOI: 10.3109/13880209.2011.
10. Höferl, M., Stoilova, I., Schmidt, E., Wanner, J., Jirovetz, L., Trifonova, D., Krastev, L. & Krastanov, A. (2014). Chemical composition and antioxidant properties of *Juniper* berry

- (*Juniperus communis* L.) essential oil. Action of the essential oil on the antioxidant protection of *Saccharomyces cerevisiae* model organism. *Antioxidants*, 3 (1), 81–98. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox3010081>.
11. Miceli, N., Trovato, A., Dugo, P., Cacciola, F., Donato, P., Marino, A., Bellinghieri, V. La, Barbera, T.M, Güvenç, A. & Taviano, M.F. (2009). Comparative analysis of flavonoid profile, antioxidant and antimicrobial activity of the berries of *Juniperus communis* L. var. *communis* and *Juniperus communis* L. var. *saxatilis* Pall. from Turkey. *J Agric Food Chem*, 57 (15), 6570–6577. DOI: 10.1021/jf9012295. PMID: 19580284.
  12. Klepach, H.M., Voitkiv, O. & Voloshanska, S. (2017). Assessment of the methods for obtaining alcoholic extracts from *Juniper berry* (*Juniperus communis* L.). *Acta Carpathica*, 28, 63–72. URL: <http://journals.dspu.in.ua/index.php/actacarpatica/issue/view/27>.
  13. Klepach, H., Voloshanska, S., Kovalchuk, H. & Stopa, A. (2019). Biologically active properties of the ethanol and aqueous extracts from the needles of *Juniperus communis*. *PNAP (Scientific Journal of Polonia University)*, 34 (3), 104–112. DOI: <http://dx.doi.org/10.23856/3413>.
  14. Bais, S., Abrol, N., Prashar, Y., & Kumari, R. (2017). Modulatory effect of standardised amentoflavone isolated from *Juniperus communis* L. against Freund's adjuvant induced arthritis in rats (histopathological and X Ray analysis). *Biomed Pharmacother*, 86, 381–392. DOI: 10.1016/j.biopha.2016.12.027.
  15. Ved, A., Gupta, A. & Rawat A.K. (2017). Antioxidant and Hepatoprotective Potential of Phenol-Rich Fraction of *Juniperus communis* Linn. Leaves. *Pharmacogn Mag.*, 13 (49), 108–113. DOI: 10.4103/0973-1296.197648.
  16. Jegal, J., Park, S.A, Chung, K., Chung, H.Y., Lee, J., Jeong, E.J., Kim, K.H., & Yang, M.H. (2016). Tyrosinase inhibitory flavonoid from *Juniperus communis* fruits. *Biosci Biotechnol Biochem*, 80 (12), 2311–2317. doi.org/10.1080/09168451.2016.1217146.
  17. Singleton, V.L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidations substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299, 152–178. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
  18. Davies, S.H.R. & Masten, S.J. (1991). Spectrophotometric method for ascorbic acid using dichlorophenolindophenol: elimination of the interference due to iron. *Anal. Chim. Acta*. 1991, 248 (1), 225–226. URL: <https://zlibrary.to/dl/analytica-chimica-acta-1991-vol-248-index>.
  19. Shupranova, L.V., Bilchuk, V.S., Bohuslavska, L.V. et al. (2011). Suchasni metody biokhimichnoho analizu roslyn: navch. posibn. [Modern methods of biochemical analysis of plants : tutorial]. D.: Vydavnytstvo DNU [D.: DNU pub], 80 p. [in Ukrainian].
  20. Fejér, J., Gruľová, D., Eliašová, A., Kron, I. (2022). Seasonal variability of *Juniperus communis* L. berry ethanol extracts: 2. *In vitro* ferric reducing ability of plasma (FRAP) assay. *Molecules*, 27 (24): 9027. DOI: 10.3390/molecules27249027. PMID: 36558161; PMCID: PMC9787287.
  21. Monastyrska S., Voloshanska, S. & Stetsyk R. (2016). Antyoksydantna diia ekstraktiv okremykh likarskykh roslyn [Antioxidant action of extracts of some medical plants]. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*, 73, 409–412. URL: <http://surl.li/mlvij> [in Ukrainian].



## ABSTRACT

### EVALUATION OF THE CONTENT OF SOME BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN BERRIES OF *JUNIPERUS COMMUNIS* PLANTS FROM NATURAL POPULATIONS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

*Juniperus communis* berries are an important medicinal plant raw material due to the high content of biologically important compounds that determine its therapeutic effect, as well as the pharmacological activity of preparations, extracts, biologically active supplements (BASs), phytoteas made on its basis. The qualitative and quantitative composition of medicinal raw materials can change depending on the genetic structure of the population and the soil and climatic conditions of plant growth, that's why the content of pharmacologically important substances in each collection must be constantly monitored.

The content of some biologically active substances in the berries of *J. communis* plants, which grow in the territory of the Lviv region in five different locations of the lower mountain belt of the Ukrainian Carpathians, was evaluated. A comparative analysis of the total content of polyphenols, ascorbic acid, and carotene in the fruits of *J. communis* harvested in 2019–2023 was carried out. It was found that the total content of polyphenols and ascorbic acid in the berries of *J. communis* has seasonal variability. It was found that the total content of polyphenols (Folin – Chocalteu method, calculated on gallic acid (GA)), extracted with 70% ethanol from crushed berries, vary in limits from  $200 \pm 10$  to  $340 \pm 20$  mg GA/g absolutely dry mass (ADM). The content of ascorbic acid in juniper berries varies in a narrower range of values from  $1,11 \pm 0,05$  to  $1,48 \pm 0,07$  mg/g ADM. The carotene content in the 2019–2023 collections of *J. communis* berries is insignificant, on average it is  $2,36 \pm 0,11$  mg/g ADM, seasonal and population variability is not observed. It was found that the berries of *J. communis* plants, which grow in the territory of the Lviv region in different locations of the Ukrainian Carpathians, differ in the content of polyphenols by 1,25–1,7 times and ascorbic acid by 1,33 times, but not in carotene.

**Key words:** *Juniperus communis*, berries, extracts, biologically active substances, seasonal variability, population variability.

*Наталія Василівна Донець,*

аспірант кафедри біології, завідувачка навчально-дослідної агробіостанції  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Україна  
orcid.org/0000-0003-1187-6721, e-mail: Nataliavdonets@gmail.com

*Світлана Олександрівна Приплавко,*

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Україна  
orcid.org/0000-0002-4326-8547, e-mail: ngubiolog@ukr.net

## **ВПЛИВ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ПРОЦЕС СХОЖОСТІ НАСІННЯ ТА РІСТ ПРОРОСТКІВ ГІНГГО ДВОЛОПАТЕВОГО (*GINKGO BILOBA* L.) У НЕНАСІННИЙ РІК**

**Анотація.** Незважаючи на те, що *Ginkgo biloba* L. є реліктом, ця рослина є перспективною для озеленення населених пунктів України, оскільки має резистентність до полютантів різного походження. Матеріалом дослідження були проростки гінгго дволопатевого та метаболічно активні речовини, а саме: кудесан (убіхінон-10) (0,001%), вітамін Е ( $10^{-8}$  М), параоксibenзойна кислота (ПОбК) (0,001%), метіонін (0,001%), сульфат магнію ( $MgSO_4$ ) (0,001%) та їх комбінації: вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + кудесан (убіхінон-10) (0,001%); вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксibenзойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%); вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксibenзойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%) +  $MgSO_4$  (0,001%). Досліджуваними речовинами обробляли насіння перед посівом. Під час вивчення впливу препаратів на схожість насіння було встановлено, що 2022 рік для рослин гінгго був ненасінним. Метаболічно активні речовини, а також їх комбінації ефективно впливають на показник схожості плідного насіння, навіть якщо рік його утворення був несприятливим. Найбільш стимулюючий ефект на схожість насіння спостерігався у варіантах з попередньою обробкою насіння вітаміном Е та комбінаціями на основі вітаміну Е + ПОбК + метіонін та вітаміну Е + кудесан (убіхінон-10), які перевищували значення контролю на 180, 160 і 120% відповідно. Також позитивний вплив мав  $MgSO_4$ , який сприяв збільшенню показника схожості насіння на 100% порівняно з контролем.

На ріст надземної частини утворених проростків найкраще впливала комбінація сполук з вітаміну Е + ПОбК + метіонін +  $MgSO_4$ , яка на 4% перевищувала значення в контролі за показником висоти стебла та на 30% за показником середньої кількості листків. На ріст підземної частини найкращу дію мав кудесан (убіхінон-10) та багатокомпонентні комбінації на основі вітаміну Е + ПОбК + метіонін і вітаміну Е + ПОбК + метіонін +  $MgSO_4$ . Застосування цих речовин сприяло збільшенню лінійної довжини головного кореня та кількості бічних коренів.

Отже, використання для попередньої обробки насіння перед висівом метаболічно активних речовин та їх комбінацій є доцільним заходом для отримання більшої кількості садивного матеріалу рослин *Ginkgo biloba* у ненасінні роки.

**Ключові слова:** *Ginkgo biloba* L., релікт, насіння, метаболічно активні речовини, схожість, ненасінний рік.

## ВСТУП

В Україні інтродуковано й акліматизовано низку рідкісних декоративних рослин, більшість із яких є реліковими. Одним із таких представників є декоративна листопадна голонасінна деревна рослина гінкго дволопатева (*Ginkgo biloba* L.). Батьківщиною цього релікта вважається гірський Китай. Вид є ендемічним. Представники цього виду зараз поширені у природних гірських лісах провінцій тропічних широт Східного та Південного Китаю [1]. Відомо, що ця рослина росла ще у крейдяному періоді мезозою, про що свідчать відбитки листя даного виду в товщах древніх гірських порід [2–4].

За систематичним положенням гінкго дволопатева – єдиний сучасний представник класу Гінкговидні, або Гінкгопсида (*Ginkgopsida*), порядку Гінкгоподібні (*Ginkgoales*), родини Гінкгові (*Ginkgoaceae*), роду Гінкго (*Ginkgo*) [5].

Нині гінкго культивується по всьому світу як витончена декоративна рослина. Вона є пам'яткою природи світового значення та занесена до Червоної книги МСОП [6]. В Україні гінкго зростає переважно в ботанічних садах і дендрологічних парках [7]. Наприклад, у дендропарку «Софіївка» НАН України, Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка, Ботанічному саду імені академіка Олександра Фоміна й інших установах. Проте нині більшість аматорів цікавляться розмноженням даного релікта через його декоративність. Саме тому зараз можна побачити ці рослини не тільки в парках, а й у приватних домоволодіннях.

Необхідність вирощування гінкго полягає не тільки в застосуванні сировини для виготовлення ліків (плантаційне вирощування для потреб фармацевтичної промисловості), а й у ландшафтній архітектурі, в озелененні міст і сіл, у кулінарії, для заліснення девастрованих ландшафтів і навіть у промисловості з обробки деревини.

*Ginkgo* є цінною декоративною рослиною, яка має гарну резистентність до атмосферних викидів важких металів і радіоактивного забруднення. Заввишки дерево сягає 30–40 м. Завдяки добре розвиненій кореневій системі має добру вітростійкість. Рослина теплолюбна, проте має зимостійкість четвертої зони, тобто витримує морози навіть у межах  $-28,9^{\circ}\text{C}$  –  $-34,3^{\circ}\text{C}$  [8]. Для рослин гінкго характерна дводомність. У генеративну фазу ці рослини вступають у віці 25–30 років, відповідно визначення статі можливе тільки за настання репродуктивного віку. Розмноження відбувається переважно насінням, хоча вегетативне розмноження також є поширеним [9]. Особливість розмноження насінням полягає в тому, що гінкго має подібні ознаки розмноження до папоротей, що також є архаїчною ознакою [10]. Розвиток зародка, а часом і запліднення відбувається після опадання з дерева насінних зачатків [5].

Натепер потреби в садивному матеріалі релікта постійно збільшуються, але поширення гінкго стримується відсутністю достатньої кількості саджанців [11]. Для успішного вирощування посадкового матеріалу необхідне насіння належної якості, вчасно зібране та перероблене з попередньою якісною підготовкою до сівби. Але на варіативність посівної якості впливає низка чинників абіотичного характеру. Часто за насінневого розмноження трапляється насіння, яке є незаплідненим, навіть за сприятливих погодних умов і освітлення [12]. Як показала практика, навіть у насінний рік із належної кількості зібраного насіння не вдається отримати задовільний результат. Варто зазначити, що в ненасінний рік схожість зазвичай знижується щонайменше у 3–5 разів, а то і взагалі насіння не є життєздатним [13].

Більшість деревних рослин плодоносять не щорічно, а через визначені інтервали. На неоднакову схожість насіння в різні роки здебільшого впливають несприятливі умови, як-от дощова погода в періоди запилення чи запліднення, посушливе літо, часті опади протягом вегетаційного періоду й інші чинники. Оскільки через такі чинники в період формування насіння його якість погіршується, є потреба в застосуванні методів стимулювання проростання, росту та розвитку рослин [14].

Саме тому основним завданням даного дослідження було вивчення впливу метаболічно активних речовин і їх комбінацій на процеси схожості насіння та формування надземної та підземної частини проростків у ненасінний рік.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження були проведені на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя в умовах закритого ґрунту опалювальної стаціонарної скляної теплиці. Середня температура повітря в теплиці була на рівні 16 °С, а відносна вологість повітря – 75–90%.

Матеріалом дослідження було насіння, проростки гінґо білоба (*Ginkgo biloba* L.) та метаболічно активні речовини, як однокомпонентні, так і багатокомпонентні, у вигляді різних комбінацій. У дослідженнях використовували такі препарати: вітамін Е ( $10^{-8}$  М), параоксибензойну кислоту (далі – ПОБК) (0,001%), метіонін (0,001%), кудесан (убіхінон-10) ( $10^{-8}$  М) і  $MgSO_4$  (0,001%), їх комбінації: вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + кудесан (убіхінон-10) ( $10^{-8}$  М); вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксибензойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%); вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксибензойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%) +  $MgSO_4$  (0,001%). Щоб порівняти дію досліджуваних речовин використовували стимулятор росту широкого спектра дії – Стимпо, який успішно застосовується для обробки насіння сільськогосподарських, плодово-ягідних культур, декоративних і лісових дерев [15].

Насінневий матеріал рослин гінґо було зібрано в Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка НАН України (м. Київ) в оптимальні строки (кінець жовтня). Погодні умови в рік формування насіння були малосприятливими, оскільки весна (період запилення) та осінь (період запліднення) були дощовими та прохолодними.

До висіву насіння готували відповідно до усталених методик [16–17]. Висів насіння здійснювали в кінці грудня 2022 р. в кількості 50 штук на кожен варіант.

Схема досліджень передбачала обробку насіння в таких варіантах:

1. Контроль.
2. Стимпо.
3. Вітамін Е ( $10^{-8}$  М).
4. Параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,001%).
5. Метіонін (0,001%).
6. Кудесан (убіхінон-10) ( $10^{-8}$  М).
7.  $MgSO_4$  (0,001%).
8. Вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + кудесан (убіхінон-10) ( $10^{-8}$  М).
9. Вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксибензойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%).
10. Вітамін Е ( $10^{-8}$  М) + параоксибензойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%) +  $MgSO_4$  (0,001%).

У контрольному варіанті для обробки насіння застосовували дистильовану воду. Висів здійснювали в ємкості з підготовленим субстратом, який складався з дернового ґрунту, торфу та листового перегною у співвідношенні 1:1:3.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Дослідження впливу метаболічно активних речовин та їх комбінацій на енергію проростання та схожість насіння в ненасінний рік проводили в період із січня по травень 2023 р.

Зазвичай перші сходи починають з'являтися через 2–3 тижні після висіву, але в рік проведення дослідження проростання насіння затягнулося на чотири місяці. У насінні роки терміни появи сходів відповідали нормі [13]. Насіння, зібране в ненасінному році, має низьку схожість. Кількість пророслого насіння в наших дослідженнях становила від 10 до 28% залежно від варіанту обробки досліджуваними речовинами. Але водночас метаболічно активні речовини та їх комбінації мали позитивний вплив на цей показник. Отримані результати з вивчення впливу метаболічно активних речовин на схожість насіння відображено в таблиці 1.

Таблиця 1

### Вплив метаболічно активних речовин і їх комбінацій на схожість насіння *Ginkgo biloba* L. у ненасінний рік

Варіант дослідження	Схожість насіння	
	% схожого насіння	% до контролю
Контроль	10	100
Стимпо	18	180
Кудесан (убіхінон-10)	14	140
Вітамін Е	28	280
MgSO <sub>4</sub>	20	200
Метіонін	18	180
ПОБК	14	140
Вітамін Е + кудесан (убіхінон-10)	22	220
Вітамін Е + ПОБК + метіонін	26	260
Вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO <sub>4</sub>	12	120

Найвищі показники схожості спостерігались у разі застосування для обробки насіння вітаміну Е та комбінацій із вітаміну Е + ПОБК + метіонін і вітаміну Е + кудесан (убіхінон-10), які перевищували значення, отримані в контролі, відповідно на 180, 160 і 120%. Таку дію речовин, що входять до складу комбінацій, можна пояснити тим, що вітамін Е й убіхінон-10 залучені до біоенергетичних процесів і виступають потужними антиоксидантами. Найбільше вітаміну Е зосереджено в насінні. Під час проростання він забезпечує захист проростка від згубної дії вільних радикалів [18].

Також позитивний вплив на схожість було зафіксовано у варіанті застосування MgSO<sub>4</sub>, який збільшував цей показник удвічі краще, ніж у контролі. Дія однокомпонентної речовини метіоніну за результативністю відповідала показникам регулятора росту Стимпо та перевищувала значення контролю на 80%. Інші препарати (однокомпонентні – кудесан (убіхінон-10), ПОБК та багатокомпонентна – вітамін Е +

ПОБК + метіонін + MgSO<sub>4</sub>) впливали на процеси проростання менш результативно, але значення показника схожості в цих варіантах перевищували значення в контролі в межах від 20 до 40%.

Варто відзначити, що вплив досліджуваних речовин на рослини є маловивченим. Відомо, що метаболічно активні речовини є природними метаболітами. Отримані результати узгоджуються з попередніми дослідженнями, у яких продемонстровано вплив цих речовин і їх комбінацій на процеси регуляції росту та розвитку рослин сої [19] і озимого жита [20].

У таблицях 2 та 3 наведено результати впливу досліджуваних речовин на ріст і розвиток проростків *Ginkgo biloba*, які утворились з насіння, що формувалось за несприятливих умов.

Таблиця 2

**Вплив метаболічно активних речовин і їх комбінацій на ріст і розвиток надземної частини проростків *Ginkgo biloba* L. у ненасінний рік**

Варіант дослідження	Висота стебла		Кількість листків	
	см	% до контролю	шт.	% до контролю
Контроль	13,20 ± 0,59	100	4,0 ± 0,41	100
Стимпо	14,10 ± 0,91	107	4,70 ± 0,53*	118
Кудесан (убіхінон-10)	12,90 ± 1,07*	98	4,75 ± 0,29*	119
Вітамін Е	10,77 ± 0,91	82	4,28 ± 0,76	107
MgSO <sub>4</sub>	13,54 ± 0,89	103	4,70 ± 0,37*	118
Метіонін	12,27 ± 0,79	93	4,89 ± 0,35*	123
ПОБК	11,0 ± 0,73*	83	4,0 ± 0,35	100
Вітамін Е + кудесан (убіхінон-10)	13,40 ± 0,87	102	4,0 ± 0,41	100
Вітамін Е + ПОБК + метіонін	13,33 ± 1,00	101	4,27 ± 0,19	107
Вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO <sub>4</sub>	13,76 ± 0,89	104	5,20 ± 0,36*	130

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

За результатами досліджень було встановлено, що найвищий показник середньої висоти стебла проростків забезпечила комбінація метаболічно активних речовин у складі вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO<sub>4</sub>, яка на 4% перевищувала значення в контролі. Однак на показник формування кількості листків дія цієї ж комбінації перевищувала контрольне значення аж на 30%. Варто відмітити позитивну дію на формування надземної частини проростка MgSO<sub>4</sub>, який збільшував висоту стебла на 3% порівняно з контролем. Також MgSO<sub>4</sub> ефективно вплинув на збільшення кількості листків і за цим показником був на рівні препарату Стимпо, перевищуючи значення в контролі на 18%. Майже всі досліджувані препарати, окрім ПОБК та комбінації речовин з вітаміну Е та кудесану, позитивно вплинули на збільшення кількості листків у проростків. Це, у свою чергу, дає можливість молодим рослинам накопичувати більшу кількість вуглеводів у процесах фотосинтезу, забезпечувати їм додаткові можливості для виживання за будь-яких несприятливих умов у майбутньому.

**Вплив метаболічно активних речовин та їх комбінацій на ріст і розвиток  
підземної частини проростків *Ginkgo biloba* L. у ненасінний рік**

Варіант дослідження	Довжина кореня		Кількість бічних коренів	
	см	% до контролю	шт.	% до контролю
Контроль	18,10 ± 1,03	100	26,60 ± 1,03	100
Стимпо	23,69 ± 0,99*	130	34,40 ± 0,98*	129
Кудесан (убіхінон-10)	23,51 ± 0,61*	129	33,38 ± 1,32*	125
Вітамін Е	21,02 ± 0,96*	116	28,57 ± 0,86*	107
MgSO <sub>4</sub>	20,10 ± 0,59*	111	30,70 ± 0,72*	115
Метіонін	20,46 ± 1,27*	113	25,89 ± 1,10	97
ПОБК	19,23 ± 0,96	106	23,57 ± 1,16	87
Вітамін Е + кудесан (убіхінон-10)	18,46 ± 1,13	102	26,90 ± 0,94	101
Вітамін Е + ПОБК + метіонін	23,57 ± 1,22*	130	29,54 ± 1,21*	111
Вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO <sub>4</sub>	23,50 ± 0,92*	129	30,80 ± 1,24*	116

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

За результатами досліджень впливу метаболічно активних речовин і їх комбінацій на довжину кореня було встановлено, що найкращий вплив мала комбінація сполук з вітаміну Е + ПОБК + метіонін, яка перевищувала значення в контролі на 30%. Варто зазначити, що всі досліджувані сполуки мали позитивний вплив на показник довжини кореня проростка, порівняно з контрольним варіантом. За показником кількості бічних коренів у всіх варіантах, окрім варіанту із застосуванням ПОБК та метіоніну, досліджувані сполуки сприяли збільшенню цього показника порівняно з контрольним варіантом, хоча жоден із варіантів не перевищив значення варіанту із застосуванням для обробки насіння препарату Стимпо. Найбільша кількість бічних коренів була відмічена у варіантах з використанням однокомпонентних препаратів кудесану (убіхінон-10) та MgSO<sub>4</sub>. Перевищення значень контролю в цих варіантах було на рівні 25 і 15% відповідно.

Позитивний вплив на утворення бічних коренів на головному також мали комбінації метаболічно активних речовин. Зокрема, найкраще на цей показник впливали комбінації на основі вітаміну Е + ПОБК + метіонін та вітаміну Е + ПОБК + метіонін + MgSO<sub>4</sub>. Показники в цих варіантах були кращими за контрольні значення на 11 та 16% відповідно. Як відомо, утворення головного кореня більшої лінійної довжини та збільшення кількості бічних коренів на головному дає можливість рослині активніше здобувати воду із ґрунту та забезпечує здатність кращого використання поживних речовин, за умови їх наявності у ґрунті.

## ВИСНОВКИ

За результатами досліджень було встановлено, що 2022 р. для рослин *Ginkgo biloba* відзначався ненасінністю, оскільки кількість схожого насіння цього року збору була низькою. Час проростання насіння значно збільшувався, сходи відзначались недружністю.

Застосування метаболічно активних речовин і їх комбінацій для обробки насіння перед висівом позитивно впливає на схожість насіння, формування стебла та кореня проростків гінґо, які утворились з насіння, зібраного в ненасінний рік. Найвищі показники схожості спостерігались у разі застосування для обробки насіння вітаміну Е та комбінацій із вітаміну Е + ПОВК + метіонін і вітаміну Е + кудесан (убіхінон-10). На ріст надземної частини проростків найкраще впливала комбінація сполук з вітаміну Е + ПОВК + метіонін + MgSO<sub>4</sub>. На ріст підземної частини найкращу дію мав кудесан (убіхінон-10) і багатокомпонентні комбінації на основі вітаміну Е + ПОВК + метіонін та вітаміну Е + ПОВК + метіонін + MgSO<sub>4</sub>.

У зв'язку із цим можна стверджувати, що використання для попередньої обробки насіння перед висівом метаболічно активних речовин і їх комбінацій є доцільним заходом для отримання більшої кількості садивного матеріалу рослин *Ginkgo biloba* в ненасінні роки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. The Ginkgo pages. URL: <https://kwanten.home.xs4all.nl/usage.htm#leaves> (дата звернення: 10.09.2023).
2. Остудімов А.О., Гузь М.М. Особливості насінного розмноження гінґо дволопатевого. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2010. Вип. 20.11. С. 8–16.
3. Mustoe G.E. Eocene Ginkgo leaf fossils from the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Botany*. 2002. № 80 (10). P. 1078–1087.
4. Draft genome of the living fossil Ginkgo biloba / Rui Guan et al. *GigaScience*. 2016. № 5 (1). P. 5–49.
5. Систематика вищих рослин. 1. Археґоніати / Л.Ф. Кучерява та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 1997. 136 с.
6. Біланич М.М. Гінґо дволопатеве як екзот Закарпатської області. *Науковий збірник Комунального закладу «Закарпатський обласний краєзнавчий музей імені Т. Легоцького» Закарпатської обласної ради*. 2022. Вип. 21. С. 122–136.
7. Фоменко В.В. Особливості використання гінґо білоба в ландшафтному дизайні України : матеріали Всеукраїнської студентської наукової конференції, м. Суми, 16–20 листопада 2020 р. С. 85. URL: [https://ur.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/2020\\_11.pdf](https://ur.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/2020_11.pdf) (дата звернення: 12.12.2022).
8. Bannister P., Neuner G. Frost resistance and the distribution of conifers. P. 3–22. *Conifer cold hardiness* / F.J. Bigras and S.J. Colombo (eds.). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9650-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9650-3_2).
9. Іванюк І.В., Завадська М.О. Вплив стимуляторів росту на схожість насіння та укорінення живців гінґо дволопатевого (*Ginkgo biloba* L.). *Лісівництво та декоративне садівництво*. 2013. Вип. 187 (2). С. 147–152. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau\\_lis\\_2013\\_187\\_2\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_lis_2013_187_2_25) (дата звернення: 24.10.2023).
10. Gifford E.M., Larson S. Developmental features of the spermatogenous cell in Ginkgo biloba. *Amer. J. Bot.* 1980. Vol. 67. № 1. P. 119–124. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07630.x>.



11. Остудімов А.О., Гузь М.М. Вирощування садивного матеріалу гінкго дволопатевого насінним шляхом : практичні рекомендації. Львів : РВВ НЛТУ України, 2011. 43 с.
12. Лісові культури : підручник / М.І. Гордієнко та ін. Львів : Камула, 2005. 608 с.
13. Донець Н.В., Приплавко С.О. Особливості проростання насіння *Ginkgo biloba* L. у ненасінний рік за дії метаболічно активних речовин. // *Всеукраїнські науково-практичні читання пам'яті професора І.І. Гордієнка* : збірник статей. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2022. С. 22–25.
14. Федько Р.М. Способи стимулювання розвитку *Ginkgo biloba* L. на початкових етапах онтогенезу. *Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень* : матеріали V Міжнародної наукової конференції, Березоточа, 2 квітня 2021 р. / ДСЛР ІАП НААН. Лубни : ВКФ «Інтер Парк», 2021. С. 89–91.
15. Стимпо. URL: <https://www.agrobiotech.com.ua/ua/stimpo> (дата звернення: 21.10.2023).
16. Методичні рекомендації з розмноження деревних декоративних рослин Ботанічного саду НУБіП України / уклад. : О.В. Колесніченко та ін. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2008. 55 с.
17. Методичні рекомендації з розмноження деревних та кущових рослин. Ч. 1 : Голонасінні / за ред. М.А. Кохна, С.І. Кузнецова. Київ, 1998. 48 с.
18. Miret J.A., Munné-Bosch S. Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci.* 2015. Vol. 1340 (1). P. 29–38. <https://doi.org/10.1111/nyas.12639>
19. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на окремі фізіологічні показники сої сорту Аннушка та її продуктивність / А.Г. Козючко та ін. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія «Біологія»*. 2020. Вип. № № 1–2 (79). С. 84–90.
20. Вплив передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних речовин на морфометричні показники озимого жита в умовах півдня Полісся України / А.О. Куриленко та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2021. Вип. 4. С. 25–32.

## REFERENCES

1. The Ginkgo pages. Retrieved from <https://kwanten.home.xs4all.nl/usage.htm#leaves>.
2. OstudImov, A.O., & Guz, M.M. (2010). Osoblivosti nasInnogo rozmnozhenyia GInkgo dvolopatevogo. [Features of seed reproduction of *Ginkgo bicolor*.] *Naukoviy vsnik NLTU UkraYini – Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*. Vol. 20.11, 8–16 [in Ukrainian].
3. Mustoe, G.E. (2002). Eocene *Ginkgo* leaf fossils from the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Botany*, 80 (10), 1078–1087.
4. Rui Guan, Yunpeng Zhao, He Zhang et al. (2016). Draft genome of the living fossil *Ginkgo biloba*. *GigaScience*. 5 (1), 5–49.
5. Kucheriava, L.F., Voitiuk, Yu.O., & Nechytailo, V.A. (1997). *Systematyka vyshchychk roslyn. 1. Arkhehoniaty*. [Systematics of higher plants. 1. Archegoniata]. Kyiv : Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].
6. Bilanych, M.M. (2022). Ginkho dvolopateve yak ekzot Zakarpatskoi oblasti. [Ginkgo biloba as an exotic of the Transcarpathian region]. *Naukovyi zbirnyk Komunalnoho zakladu "Zakarpatskyi oblasnyi kraieznavchyi muzei im. T. Lehotskoho" Zakarpatskoi oblasnoi rady – "Transcarpathian Regional Museum of Local Lore named after T. Lehotskyi" of the Transcarpathian Regional Council*. Vol. 21, 122–136 [in Ukrainian].
7. Fomenko, V.V. (2020). Osoblyvosti vykorystannia hinkho biloba v landshaftnomu dyzaini Ukrainy. [Peculiarities of the use of *ginkgo biloba* in the landscape design of Ukraine]: *materialy Vseukr. stud. nauk. konf. (16–20 lystopada 2020 r. m. Sumy)* p. 82. Retrieved from [https://ur.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/2020\\_11.pdf](https://ur.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/2020_11.pdf) [in Ukrainian].

8. Bannister, P. & Neuner G. (2001). Frost resistance and the distribution of conifers. P. 3–22 in F.J. Bigras and S.J. Colombo (eds.), *Conifer cold hardiness*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. Retrieved from [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9650-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9650-3_2).
9. Ivaniuk, I.V. & Zavadzka, M.O. (2013). Vplyv stymulatoriv rostu na skhozhist nasinnia ta ukorinennia zhyvtsiv hinkho dvolopatevoho (Ginkgo biloba L.) [Effect of growth stimulants on seed germination and rooting of ginkgo cuttings (Ginkgo biloba L.)]. *Lisivnytsvota dekoratyvne sadivnytsvto—Forestry and ornamental horticulture*. 187 (2), 147–152. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau\\_lis\\_2013\\_187\\_2\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_lis_2013_187_2_25) [in Ukrainian].
10. Gifford, E.M. & Larson, S. (1980). Developmental features of the spermatogenous cell in Ginkgo biloba. *Amer. J. Bot.* 67 (1), 119–124. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07630.x>.
11. Ostudimov, A.O. & Huz, M.M. (2011). Vyroshchuvannia sadyvnoho materialu hinkho dvolopatevoho nasynnym shliakhom [Cultivation of Ginkgo planting material by the seed method]: Lviv: RVV NLTU Ukrainy [in Ukrainian].
12. Hordiienko, M.I., Huz, M.M., Debryniuk, Yu.M., & Maurer V.M. (2005). *Lisovi kultury* [Lisovi culture]. Lviv: Kamula [in Ukrainian].
13. Donets, N.V. & Pryplavko, S.O. (2022). Osoblyvosti prorostannia nasinnia Ginkgo biloba L. u ne nasynnyi rik za dii metabolichno aktyvnykh rehovyn [Peculiarities of the germination of Ginkgo biloba L. seeds in a non-seed year under the action of metabolically active substances]. *II Vseukrainski naukovo-praktychni chytannia pamiati profesora I.I. Hordiiienka*. Nizhyn: NDU im. M. Hoholia [in Ukrainian].
14. Fedko, R.M. (2021). Sposoby stymuliuвання rozvytku Ginkgo biloba L. na pochatkovykh etapakh ontogenezu. Likarski roslyny: tradytsii ta perspektyvy doslidzhen [Methods of stimulating the development of Ginkgo biloba L. at the initial stages of ontogenesis. Medicinal plants: traditions and perspectives of research] *materialy V Mizhnar. nauk. konf. (Berezotocha, 2 kvitnia 2021, P. 89–91)*. Lubny : VKF “Inter Park” [in Ukrainian].
15. Stympo [Stimpo]. Retrieved from <https://www.agrobiotech.com.ua/ua/stimpo>.
16. Kolesnichenko, O.V., Sliusar, S.I., & Yakobchuk, O.M. (Eds). (2008). *Metodychni rekomendatsii z rozmnozhenia derevnykh dekoratyvnykh roslyn Botanichnoho sadu NUBiP Ukrainy* [Methodical recommendations for the propagation of woody ornamental plants of the Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].
17. Kokhna, M.A. & Kuznetsova, S.I. (Eds). (1998). *Metodychni rekomendatsii z rozmnozhenia derevnykh ta kushchovykh roslyn. 1: Holonasinni* [Methodical recommendations for propagation of tree and shrub plants Part 1: Gymnosperms]. Kyiv [in Ukrainian].
18. Miret, J.A., Munné-Bosch, S. (2015). Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci*. Vol. 1340 (1), 29–38. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/nyas.12639>.
19. Koziuchko, A.H., Havii, V.M., & Kuchmenko, O.B. (2020). Vplyv przedposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rehovynamy na okremi fiziologichni pokaznyky soi sortu Annushka ta yii produktyvnist [Influence of preseed treatment of seed metabolically by active substances on the separate physiology indexes of soy of sort Annushka and her productivity]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. “Biologhiia” – Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatiuk. Ser. “Biology”*. Ternopil: TNPU im. V. Hnatiuka, 1–2 (79), 84–90 [in Ukrainian].
20. Kurylenko, A.O., Kurylenko, O.V., Kuchmenko, O.B. & Havii, V.M. (2021). Vplyv przedposivnoi obrobky nasinnia kompo-zytsiiamy metabolichno aktyvnykh rehovyn na morfometrychni pokaznyky ozymoho zhyta v umovakh pivdnia Polissia Ukrainy [Influence of preseed treatment of seed of компо-зиціями metabolically active substances on the mor-

phometric indexes of winter-annual rye in the conditions of south of Polesye of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya "Ahronomiia i biolohiia"* – *Announcer of the Sumy national agrarian university. Series are "Agronomics and biology"*. 4, 25–32 [in Ukrainian].

## ABSTRACT

### THE INFLUENCE OF METABOLIC ACTIVE SUBSTANCES ON THE PROCESS OF SEED SIMILARITY AND GROWTH OF *GINKGO BILOBA* L. SEEDLINGS IN THE NON-SEED YEAR

Despite the fact that *Ginkgo biloba* L. is a relic, this plant is promising for the greening of settlements in Ukraine, as it is resistant to pollutants of various origins. The research material was *Ginkgo biloba* seedlings and metabolically active substances, namely: kudesan (ubiquinone-10) (0,001%), vitamin E ( $10^{-8}$  M), paraoxybenzoic acid (POBA) (0,001%), methionine (0,001%), magnesium sulfate ( $MgSO_4$ ) (0,001%) and their combinations: vitamin E ( $10^{-8}$  M) + kudesan (ubiquinone-10) (0,001%); vitamin E ( $10^{-8}$  M) + paraoxybenzoic acid (0,001%) + methionine (0,001%); vitamin E ( $10^{-8}$  M) + paraoxybenzoic acid (0,001%) + methionine (0,001%) +  $MgSO_4$  (0,001%). The seeds were treated with the studied substances before sowing. During the study of the effect of drugs on seed germination, it was established that 2022 was not a seed year for ginkgo plants. Metabolically active substances, as well as their combinations, effectively affect the germination rate of fertile seeds, even if the year of its formation was unfavorable. The most stimulating effect on seed germination was observed in variants with pre-treatment of seeds with vitamin E and combinations based on vitamin E + POBA + methionine and vitamin E + kudesan (ubiquinone-10), which exceeded the control value by 180, 160 and 120%, respectively.  $MgSO_4$  also had a positive effect, which contributed to an increase in the seed germination rate by 100% compared to the control.

The growth of the aerial part of the formed seedlings was best affected by the combination of compounds from vitamin E + POBA + methionine +  $MgSO_4$ , which was 4% higher than the control value in terms of stem height and 30% in terms of the average number of leaves. Kudesan (ubiquinone-10) and multicomponent combinations based on vitamin E + POBA + methionine and vitamin E + POBA + methionine +  $MgSO_4$  had the best effect on the growth of the underground part. The use of these substances helped to increase the linear length of the main root and the number of lateral roots.

Thus, the use of metabolically active substances and their combinations for pre-treatment of seeds before sowing is a reasonable measure to obtain more planting material of *Ginkgo biloba* plants in non-seed years.

**Key words:** *Ginkgo biloba* L., relict, seeds, metabolically active substances, germination, non-seed year.

*Артур Юрійович Івасенко,*

аспірант кафедри біології

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Україна

orcid.org/0000-0003-2073-5621, e-mail: [ivasenko.scientist@gmail.com](mailto:ivasenko.scientist@gmail.com)

## ПОКАЗНИКИ ЛІПІДНОГО ОБМІНУ В ОСІБ З НАБУТОЮ КОРОТКОЗОРІСТЮ

**Анотація.** Представлена робота присвячена дослідженню особливостей впливу набутої короткозорості на показники ліпідного обміну людини.

Короткозорість, відома також як міопія, є однією з найпоширеніших вад зору у світі, що впливає на мільйони людей. Ця офтальмологічна патологія супроводжується зміною фокуса ока і призводить до зниження чіткості видимості на віддаленій відстані. Короткозорість також може стати перешкодою у процесі навчання та праці, виконання різноманітних завдань, як-от читання віддаленого тексту або участь у спортивних змаганнях, де гострота зору на відстані є важливою. Недооцінка її впливу на якість життя може призвести до серйозних наслідків, як-от обмеження активності та соціальної взаємодії.

Однак короткозорість – не просто офтальмологічна вада, а й складний біологічний процес, пов'язаний із численними чинниками, серед яких вагоме місце посідає ліпідний обмін. Ліпіди відіграють важливу роль у функціонуванні організму, і порушення ліпідного обміну може мати різні негативні наслідки, серед яких і вплив на очі. Ліпіди, зокрема й холестерин, фосфоліпіди та тригліцериди, є невід'ємною частиною клітинних мембран, забезпечують регуляцію біохімічних процесів і впливають на експресію генів. Отже, дисфункція ліпідного обміну може впливати на різні аспекти фізіології та патології організму.

У науковій статті ми пропонуємо проаналізувати показники ліпідного обміну в осіб з набутою короткозорістю. Мета роботи полягає в тому, щоб зрозуміти, чи можуть бути пов'язаними зміни в ліпідному обміні та набута форма короткозорості, які молекулярні механізми стоять за цим зв'язком. Для досягнення цієї мети ми провели збір даних обстеження осіб з короткозорістю й осіб без короткозорості, порівняли їхні ліпідні профілі.

Результати цього дослідження можуть мати велике практичне значення для офтальмологів, біохіміків і медичних наук загалом. Націлювання на численні сигнальні каскади, які сприяють розвитку короткозорості, від обробки зображення сітківкою до росту склери, може бути ефективною стратегією контролю короткозорості.

**Ключові слова:** набута короткозорість, біохімія крові, ліпідний обмін, тригліцериди, холестерин, ліпопротеїди високої щільності, ліпопротеїди низької щільності, коефіцієнт атерогенності.

### ВСТУП

Останніми десятиліттями низка наукових досліджень надали інформацію щодо поширеності та ризику чинників короткозорості. Серед цих чинників варто виділити генетичну схильність, екологічні фактори та вплив навколишнього середовища, як-от тривала робота у близькому до очей полі зору, обмежена фізична активність і обмежений час, проведений просто неба [1–4].

У сучасних дослідженнях короткозорості вже визнано, що сітківка виконує ключову роль у виявленні сигналу розфокусування та передає біохімічні сигнали через судинну оболонку, що приводить до перебудови тканин у склері [5; 6].

Низка наукових досліджень, присвячених впливу набутої короткозорості на фізіологічні показники організму, з'ясували, що короткозорість набутої форми спричиняє порушення в діяльності системного імунітету та покращення показників функціональної рухливості нервових процесів [7; 8].

Українські науковці проводили дослідження щодо впливу дисбалансу мікроелементів у крові дітей, які мали дисплазію сполучної тканини. У роботі Т.Є. Цибульської були представлені офтальмологічні та біохімічні критерії, які можуть служити ознаками наявності синдрому недиференційованої дисплазії сполучної тканини, а також прогресування набутої короткозорості. Ці критерії рекомендуються для ранньої діагностики розвитку короткозорості [9].

Результати інших досліджень вказують на те, що зміни в дієті можуть бути пов'язані з підвищенням поширеності короткозорості, а також наголошують на можливій гіпотезі про взаємозв'язок між рівнем резистентності до інсуліну, хронічною гіперінсулінемією, збільшенням циркуляції чинника росту IGF-1, зниженням рівня гормону росту та зменшенням активності ретиноїдних рецепторів, що може призводити до збільшення росту склери [10].

Міжнародні варіації щодо інформації про людей із надмірною вагою й ожирінням не корелюють з міжнародним поширенням короткозорості. Наприклад, жодна із країн, де спостерігається висока поширеність короткозорості, не входить до списку 20 країн, населення яких мають найвищий відсоток ожиріння [11].

Деякі харчові компоненти та мікроелементи були об'єктом детальних досліджень. Проте більш як 50 років тому науковець Р. Gardiner провів дослідження, яке вказувало на зв'язок між дієтою, зокрема білком, і короткозорістю. Р. Gardiner припустив участь дієти в патології короткозорості: було порівняно дієти осіб із короткозорістю, що прогресує, і осіб без прогресуючої форми, встановлено підвищене споживання ліпідів і вуглеводів в осіб з короткозорістю, що прогресує [12].

Отже, існує обмежена кількість наукових доказів, які підтверджують тісний біологічний зв'язок між ліпідним обміном і короткозорістю. Нині патогенетичні механізми, якими можна було б пояснити зв'язок між основними параметрами ліпідного обміну та набутою короткозорістю, не зовсім зрозумілі.

**Метою дослідження** є вивчення особливостей показників ліпідного обміну в осіб з набутою короткозорістю.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження було проведено на групі добровольців, яка налічувала 80 осіб віком від 18 до 40 років, як чоловіків, так і жінок. Усі учасники були розподілені на дві категорії: контрольну групу (особи із практично нормальним зором) та групу з набутою короткозорістю. Діагноз «короткозорість» та її ступінь були визначені під час щорічного профілактичного медичного обстеження, з використанням стандартних офтальмологічних діагностичних методів, лікарями-фахівцями. Усі добровольці надали свою письмову згоду на участь у дослідженні.

Про стан ліпідограми судили за такими показниками: рівня загального холестерину (далі – ЗХС), холестерину ліпопротеїдів високої щільності (далі – ХС ЛПВЩ), тригліцеридів (далі – ТГ). Рівень холестерину ліпопротеїдів низької щільності (далі – ХС ЛПНЩ) розраховували за формулою W.T. Friedewald et al.:  $\text{ХС ЛПНЩ} = \text{ЗХС} - \text{ХС ЛПВЩ} - \text{ТГ}/2,18$ . Коефіцієнт атерогенності (далі – КА) розраховували за формулою,

запропонованою А.М. Клімовим:  $КА = (ЗХС - ХС ЛПВЩ)/ХС ЛПВЩ$ . Інтегральні показники атерогенних і антиатерогенних фракцій ліпідів визначали у вигляді співвідношень ТГ/ХС ЛПВЩ та ХС ЛПНЩ/ХС ЛПВЩ [13].

Біохімічні дослідження проводилися на базі клініко-діагностичних лабораторій “CentroLab”, «Сінево» та Дніпропетровської обласної клінічної лікарні імені І.І. Мечникова в м. Дніпро.

Координацію дослідження було проведено на базі кафедри біології Ніжинського державного університету імені М.В. Гоголя в м. Ніжин.

Отримані результати були оброблені за допомогою статистичної програми Microsoft Office Excel 2016 (США).

Відповідно до розміру вибірки та розподілу значень використовувались методи параметричної статистики (t-критерій Стьюдента). Зв'язки показників оцінювались за допомогою кореляційного аналізу з обчисленням коефіцієнта кореляції Спірмена (r). Показники наведені як середнє значення  $\pm$  стандартне відхилення ( $M \pm m$ ). Різниця показників уважалась достовірною за значень  $p < 0,05$ .

Виконання дослідження відповідало «Етичним принципам медичних досліджень з участю людини як об'єкта дослідження», які викладені в Гельсінській декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини та біомедицину, а також законодавству України [14; 15].

## РЕЗУЛЬТАТИ

Після проведеного аналізу результатів, які ми отримали порівнянням показників ліпідогам в осіб із набутою короткозорістю й осіб без короткозорості, було виявлено загальну тенденцію до зменшення показника ХС ЛПВЩ та достовірне збільшення рівнів ЗХС, ХС ЛПНЩ, а також співвідношення ТГ/ХС ЛПВЩ у групи осіб із набутою короткозорістю. Стосовно показників ТГ, КА та співвідношення ЛПНЩ/ЛПВЩ, спостерігалась тенденція до їх збільшення порівняно з контрольною групою (табл. 1, рис. 1).

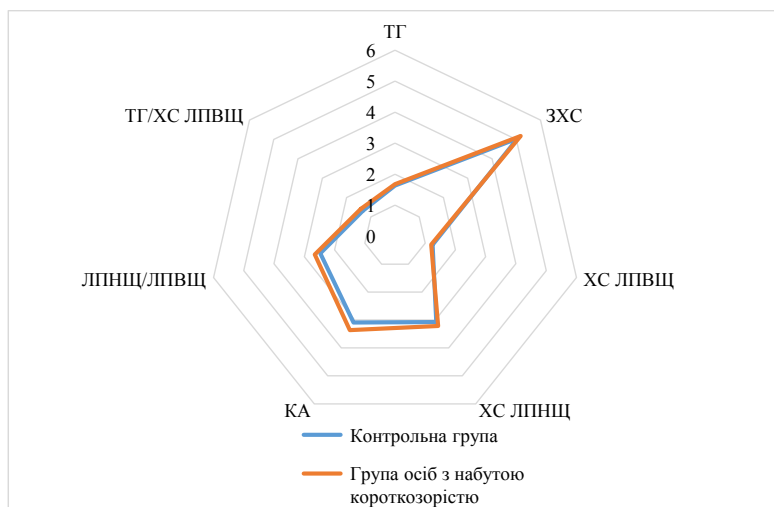
Таблиця 1

### Стан ліпідного обміну в контрольній групі та групі осіб із набутою короткозорістю ( $M \pm m$ )

Показники	Контрольна група (n = 40)	Група осіб із набутою короткозорістю (n = 40)
ТГ, ммоль/л	1,63 $\pm$ 0,05	1,68 $\pm$ 0,07
ЗХС, ммоль/л	5,05 $\pm$ 0,02	5,18 $\pm$ 0,02*
ХС ЛПВЩ, ммоль/л	1,24 $\pm$ 0,07	1,2 $\pm$ 0,11
ХС ЛПНЩ, ммоль/л	3,07 $\pm$ 0,02	3,21 $\pm$ 0,05*
КА	3,09 $\pm$ 0,29	3,36 $\pm$ 0,65
ЛПНЩ/ЛПВЩ	2,47 $\pm$ 0,27	2,65 $\pm$ 0,6
ТГ/ХС ЛПВЩ	1,32 $\pm$ 0,04	1,41 $\pm$ 0,02*

Примітка: \* – статистично достовірні відмінності за  $p < 0,05$ .

Абсолютні показники ТГ, ЗХС мали тенденцію до збільшення у групі короткозорих осіб порівняно з контрольною групою на 0,05 ммоль/л та 0,13 ммоль/л відповідно. Інтегральні показники атерогенних і антиатерогенних фракцій ліпідів ЛПНЩ/ЛПВЩ та ТГ/ХС ЛПВЩ у короткозорих людей мали тенденцію до збільшення порівняно з показниками в контрольній групі на 0,18 та 0,09 одиниць. Абсолютні величини ХС ЛПНЩ у людей із набутою короткозорістю були більші на 0,14 ммоль/л порівняно із практично здоровими людьми з контрольної групи. Показники ХС ЛПВЩ у короткозорих людей характеризувалися незначною тенденцією до зменшення, оскільки ці величини були менші на 0,04 ммоль/л порівняно з контрольною групою. Показники КА на тлі набутої короткозорості характеризувалися збільшенням абсолютних величин на 0,27 одиниці порівняно з показниками в контрольній групі.



**Рис. 1. Показники ліпідного обміну в контрольній групі та групи осіб із набутою короткозорістю**

Відносні значення вмісту ТГ та ЗХС в осіб із набутою формою короткозорості були вищими на 2,97 і 2,51% відповідно, ніж у контрольній групі осіб. Подібна тенденція спостерігалась і для абсолютних значень ХС ЛПНЩ та КА, які були вищими на 4,36 і 8,04% відповідно, ніж у контрольній групі осіб. Значення співвідношення ЛПНЩ/ЛПВЩ були вищими на 6,8% порівняно із групою осіб без короткозорості. Показники співвідношення ТГ/ХС ЛПВЩ у порівнянні із групою осіб без короткозорості були вищими на 6,38% у групи короткозорих людей.

Що стосується відносних значень ХС ЛПВЩ, встановлено зменшення цих показників на 3,22% у порівнянні із групою осіб без набутої короткозорості. Це може вказувати на те, що набута форма короткозорості супроводжується змінами в біохімічних показниках крові, насамперед показників ліпідного обміну, але водночас зазначені зміни також характерні для проявів атеросклерозу й інших серцево-судинних захворювань. ЛПВЩ бере участь у процесі, що називається «зворотним транспортом холестерину», однак кінцевий результат цього процесу залежить від співвідношення двох класів ліпопротеїдів: ЛПВЩ і ЛПНЩ, зокрема від співвідношення холестерину, який міститься в цих ліпопротеїдах (коефіцієнт атерогенності). Показники ЛПНЩ

та ЛПВЩ у сироватці крові є важливим чинником, що характеризує ліпідний обмін у людському організмі, можуть вказувати на формування патофізіологічних процесів, які характерні для серцево-судинної системи [16].

На рівень та інтенсивність ліпідного обміну може впливати багато чинників: гормональні зміни, генетичні фактори, специфічні умови роботи [17]. У нашому дослідженні таким специфічним фактором може бути функціонування зорової сенсорної системи в умовах набутої короткозорості, яка розглядається як адаптаційна реакція до інформаційних потоків і зорових подразників, що є невід'ємною складовою частиною соціальної діяльності сучасної людини.

## ВИСНОВКИ

Отже, порівняльний аналіз показників ліпідограм в осіб із набутою короткозорістю й осіб без короткозорості виявив достовірне збільшення показників ЗХС, ХС ЛПНЩ та співвідношення ТГ/ХС ЛПВЩ у короткозорих людей порівняно із практично здоровими. Варто зазначити наявність загальної тенденції до зниження рівня ХС ЛПВЩ, збільшення рівнів ТГ, КА, а також співвідношення ЛПНЩ/ЛПВЩ у групи осіб із набутою короткозорістю в порівнянні з контрольною групою. Виявлені зміни можуть бути пов'язані з адаптаційним навантаженням на функціональні системи організму в короткозорих людей.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Goldschmidt E., Jacobsen N. Genetic and environmental effects on myopia development and progression. *Eye (Lond)*. 2014. № 28 (2). P. 126–133. DOI: 10.1038/eye.2013.254.
2. Heritability of refractive error and ocular biometrics: The Genes in Myopia (GEM) twin study / M. Dirani et al. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2006. № 47 (11). P. 4756–4761. DOI: 10.1167/iovs.06-0270.
3. Risk factors for myopia in a discordant monozygotic twin study / R. Ramessur et al. *Ophthalmic Physiol. Opt*. 2015. № 35 (6). P. 643–651. DOI: 10.1111/opo.12246.
4. Nearwork and myopia in young children / S.M. Saw et al. *Lancet*. 2001. № 357 (9253) P. 390. DOI: 10.1016/S0140-6736(05)71520.
5. Wallman J., Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron*. 2004. Vol. 43. № 4. P. 447–468. DOI: 10.1016/j.neuron.2004.08.008.
6. IMI – Report on Experimental Models of Emmetropization and Myopia / D. Troilo et al. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2019. Vol. 60. № 3. DOI: 10.1167/iovs.18-25967.
7. Аналіз показників вищої нервової діяльності в залежності від ступеня короткозорості / Ю.І. Колесник та ін. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2019. № 4 (4). С. 268–273. DOI: 10.26693/jmbs04.04.268.
8. Набута короткозорість слабого ступеня та системний імунітет / В.І. Шейко та ін. *Вісник проблем біології і медицини*. 2014. № 4 (1). С. 224–226.
9. Клініко-діагностичне значення порушень електролітного обміну у дітей з набутою міопією / Т.Є. Цибульська та ін. *Офтальмологічний журнал*. 2019. № 3. С. 14–19.
10. An evolutionary analysis of the aetiology and pathogenesis of juvenile-onset myopia / L. Cordain et al. *Acta Ophthalmol Scand*. 2002. № 80 (2). P. 125–135. DOI: 10.1034/j.1600-0420.2002.800203.x.
11. Noncommunicable diseases: Risk factors. *WHO*. URL: [https://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/overweight/en/](https://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/overweight/en/) (дата звернення: 25.09.2023).
12. Gardiner P. The diet of growing myopes. *Trans Ophthal Soc U K*. 1956. № 76. P. 171–180.



13. Клінічна оцінка лабораторних досліджень в кардіології та ревматології : навчальний посібник / В.І. Кривенко та ін. Запоріжжя : ЗДМУ, 2018. С. 6.
14. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». Документ 990-005, редакція від 01.10.2008. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990\\_005](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005) (дата звернення: 20.09.2023).
15. Загальна декларація про біоетику та права людини / Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури: відділ етики науки і технології: сектор соціальних і гуманітарних наук. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (дата звернення: 20.09.2023).
16. Громнацька Н.М., Ткаченко С.К. Особливості ліпідного обміну в дітей із метаболічним синдромом. *Здоров'я дитини*. 2014. № 5 (56). С. 15–20.
17. IMI Risk factors for myopia / I.G. Morgan et al. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2021. Vol. 62. № 3. DOI: 10.1167/iovs.62.5.3.

## REFERENCES

1. Goldschmidt, E., Jacobsen, N. (2014). Genetic and environmental effects on myopia development and progression. *Eye (Lond)*. 28 (2), 126–133. doi: 10.1038/eye.2013.254.
2. Dirani, M., Chamberlain, M., Shekar, S.N., Islam, A.F., Garoufalidis, P., Chen, C.Y., Guzyer, R.H., Baird, P.N. (2006). Heritability of refractive error and ocular biometrics: The Genes in Myopia (GEM) twin study. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 47 (11), 4756–4761. doi: 10.1167/iovs.06-0270.
3. Ramessur, R., Williams, K.M., Hammond, C.J. (2015). Risk factors for myopia in a discordant monozygotic twin study. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 35 (6), 643–651. doi: 10.1111/opo.12246.
4. Saw, S.M., Hong, C.Y., Chia, K.S., Stone, R.A., Tan, D. (2001). Nearwork and myopia in young children. *Lancet*. 357(9253), 390. doi: 10.1016/S0140-6736(05)71520.
5. Wallman, J., Winawer, J. (2004). Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron*. 43 (4), 447–468. doi: 10.1016/j.neuron.2004.08.008.
6. Troilo, D., Smith, E.L., Nickla, D.L., Ashby, R., Tkatchenko, A.V., Ostrin, L.A., Gawne, T.J., Pardue, M.T., Summers, J.A., Kee, C.S., et al. (2019). IMI – Report on Experimental Models of Emmetropization and Myopia. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 60 (3). doi: 10.1167/iovs.18-25967.
7. Kolesnyk, Yu.I., Sheiko, V.I., Lvov, O.S. (2019). Analiz pokaznykiv vyshchoi nervovoi diialnosti v zalezhnosti vid stupenia korotkozorosti [Analysis of higher nervous activity indicators depending on the degree of myopia]. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*. № 4 (4). P. 268–273. doi: 10.26693/jmbs04.04.268 [in Ukrainian].
8. Sheiko, V.I., Panteleiev, P.H., Kazimirko, N.K., Dychko, V.V. (2014). Nabuta korotkozorist slaboho stupenia ta systemnyi imunitet [Low-degree acquired myopia and the immune system]. *Visnyk problem biolohii i medytsyny*. № 4 (1). P. 224–226 [in Ukrainian].
9. Tsybul'ska, T.Ie., Horbachova, S.V., Zavorodnia, T.S. (2019). Kliniko-diahnostychno znachennia porushen elektrolitnoho obminu u ditei z nabutoiu miopiieiu [Clinical diagnostic significance of electrolyte imbalance in children with acquired myopia]. *Oftalmol. zhurn.* № 3. P. 14–19.
10. Cordain, L., Eaton, S.B., Brand Miller J., Lindeberg, S., Jensen, C. (2002). An evolutionary analysis of the aetiology and pathogenesis of juvenile-onset myopia. *Acta Ophthalmol Scand.* 80 (2), 125–135. doi: 10.1034/j.1600-0420.2002.800203.x.
11. Noncommunicable diseases: Risk factors. WHO. Retrieved from: URL: [https://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/overweight/en/](https://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/overweight/en/) (accessed date: 25.09.2023).
12. Gardiner, P. (1956). The diet of growing myopes. *Trans Ophthal Soc U K.* 76, 171–180.
13. Kryvenko, V.I., Kachan, I.S., Pakhomova, S.P. ta in. (2018). Klinichna otsinka labora-

- tornykh doslidzhen v kardiologii ta revmatologii [Clinical assessment of laboratory studies in cardiology and rheumatology]: navch. posib. Zaporizhzhia: ZDMU. P. 6 [in Ukrainian].
14. Gelsinska deklaracij Vsesvitnoi medicnoi asociacii “Etichni principy medicnih doslidgen za uchastj lydini u ykosti obekta doslidgen” (2008). [Declaration of Helsinki of the World Medical Association “Ethical principles of medical research with the participation of a person as an object of research”]. Document 990-005. Retrieved from: URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990\\_005](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005) (accessed: date 20.09.2023) [in Ukrainian].
  15. Zagalna deklaracij pro bioetiku ta prava lydini (2005). General Declaration on Bioethics and Human Rights. Organizaciyi Obednanih Nacii z pitan osviti, nauki i kulturi: viddil etiki nauki i tehnologii: stktor socialnih i gumanitarnih nauk [General Declaration on Bioethics and Human Rights. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Science and Technology Ethics Division: Social Sciences and Humanities Sector]. Retrieved from: URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (accessed date: 20.09.2023) [in Ukrainian].
  16. Hromnatska, N.M., Tkachenko, S.K. (2014). Osoblyvosti lipidnoho obminu v ditei iz metabolichnym syndromom [Features of lipid metabolism in children with metabolic syndrome]. *Zdorovia dytyny*. № 5 (56). P. 15–20 [in Ukrainian].
  17. Morgan, I.G., Wu, P-C., Ostrin, L.A., et al. (2021). IMI Risk factors for myopia. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 62 (3). doi: 10.1167/iovs.62.5.3.

## ABSTRACT

### INDICATORS OF LIPID METABOLISM IN INDIVIDUALS WITH ACQUIRED MYOPIA

The presented study is dedicated to investigating the peculiarities of the impact of acquired myopia on lipid metabolism indicators in humans. Myopia, also known as nearsightedness, is one of the most common vision impairments worldwide, affecting millions of people. This ophthalmological condition is characterized by a shift in the focus of the eye, leading to reduced clarity of vision at distant distances. Myopia can also pose challenges in learning and work, as well as in performing various tasks that require clear distance vision, such as reading small print or participating in sports where visual acuity at a distance is crucial. Underestimating its impact on the quality of life can lead to serious consequences, including limitations in activity and social interaction.

However, myopia is not merely an ophthalmological issue, but a complex biological process intertwined with numerous factors, with a significant role attributed to lipid metabolism. Lipids play a crucial role in the functioning of the body, regulating biochemical processes and influencing gene expression. Therefore, lipid metabolism dysfunction can impact various aspects of physiology and pathophysiology.

In this scientific article, we aim to analyze lipid metabolism indicators in individuals with acquired myopia. The objective of this work is to understand whether changes in lipid metabolism are associated with acquired myopia and to elucidate the molecular mechanisms underlying this connection. To achieve this goal, we collected data from individuals with myopia and those without myopia and compared their lipid profiles.

The results of this study may hold substantial practical significance for ophthalmologists, biochemists, and the medical field in general. They may contribute to the development of personalized approaches to the prevention of this condition based on the individual lipid metabolism characteristics of each patient.

Targeting various signaling cascades contributing to the development of myopia, from retinal image processing to scleral growth, could be an effective strategy for myopia control.

**Key words:** acquired myopia, blood chemistry, lipid metabolism, triglycerides, cholesterol, high-density lipoproteins, low-density lipoproteins, atherogenic index.

*Наталія Костянтинівна Гойванович,*

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
orcid.org/0000-0002-3442-0674, Scopus Author ID: 57203341250, e-mail: natahoyvan@gmail.com

*Галина Володимирівна Кречківська,*

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
orcid.org/0000-0002-8424-7232, e-mail: gkrechkivska@gmail.com

*Василина Дмитрівна Задільська,*

здобувач другого рівня вищої освіти  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
e-mail: oliynuk99v@gmail.com

*Ірина Васиївна Паращак,*

здобувач першого рівня вищої освіти  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
e-mail: iryna.parashchak@dspu.edu.ua

## **БІОМОНІТОРИНГ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА ТРУСКАВЦЯ**

**Анотація.** Урбанізаційні процеси зумовили накопичення промислових і побутових відходів у містах і на їхніх околицях. Антропогенна діяльність призводить до постійного забруднення навколишнього природного середовища: атмосферного повітря, природних вод і ґрунтів. Важкі метали швидко акумулюються в рослинах і ґрунтах, можуть тривалий час негативно впливати на рослинність, передусім біля автомобільних доріг.

Трускавець – центр рекреації й оздоровлення, стан його навколишнього середовища впливає на ефективність лікувальних процедур. Стан довкілля має опосередкований вплив на рослини-індикатори. Умови місцезростання рослин-індикаторів зумовлюють появу в них морфологічних і фізіологічних змін на клітинному, тканинному й органічному рівнях організації рослинного організму. За цими змінами можна оцінити стан навколишнього середовища.

Установлено, що в умовах Трускавця відбувається збільшення площі листових пластинок досліджуваних рослин-індикаторів. Такий ефект може виникати як адаптаційна реакція для інтенсифікації процесів фотосинтезу в умовах забруднення. Максимальні значення інтегрального показника флукуаційної асиметрії листків рослин-індикаторів характерні для особин, які зростали в межах районів із найвищим рівнем антропопресії – вулиці Героїв УПА, Стебницька та Мазепи, де зосереджений найбільший трафік автотранспорту. Якісні прояви макроскопічних патологічних змін мають виражений видоспецифічний характер.

Аналіз результатів усіх показників, як-от: площа листової пластинки, інтегральний показник флукуаційної асиметрії, характер ураження листків, ступінь некротизації та дехромації, концентрація та вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілів, каротиноїдів), свідчить, що в умовах міста Трускавця відбувається незначний тиск на навколишнє середовище, що насамперед простежується на вулицях Мазепи, Стебницькій і Героїв УПА.

**Ключові слова:** довкілля, Трускавець, біомоніторинг, рослини-індикатори, морфологічні зміни, біохімічні зміни.

## ВСТУП

Карпатський регіон багатий природними та рекреаційними ресурсами. Для охорони та збереження природних ресурсів – флори та фауни – у регіоні функціонує ціла мережа пам'яток природи, заказників, національних і біосферних заповідників. Площа природо-заповідного фонду постійно зростає [1].

Одним із найбільших центрів рекреації й оздоровлення Львівської області є Трускавець – бальнеологічний курорт, заснований ще в 1827 р. Як і будь-яке інше місто, яке активно розвивалося, Трускавець зачепили урбанізаційні процеси та зміна екосистем. У 50–60-х рр. минулого століття місто активно озеленювалось, збільшувалась площа лісопаркових насаджень. Це сприяло більш інтенсивному виробленню кисню, газопоглинальній функції, естетичній, фітонцидній, що також допомагало оздоровленню населення [2].

З початку цього століття розпочалась фаза активної забудови міста, зріс відсоток багатоквартирних висоток. Багато скверів і внутрішньоквартальних зелених насаджень були вирізані, а натомість побудовані нові магазини та торгові центри.

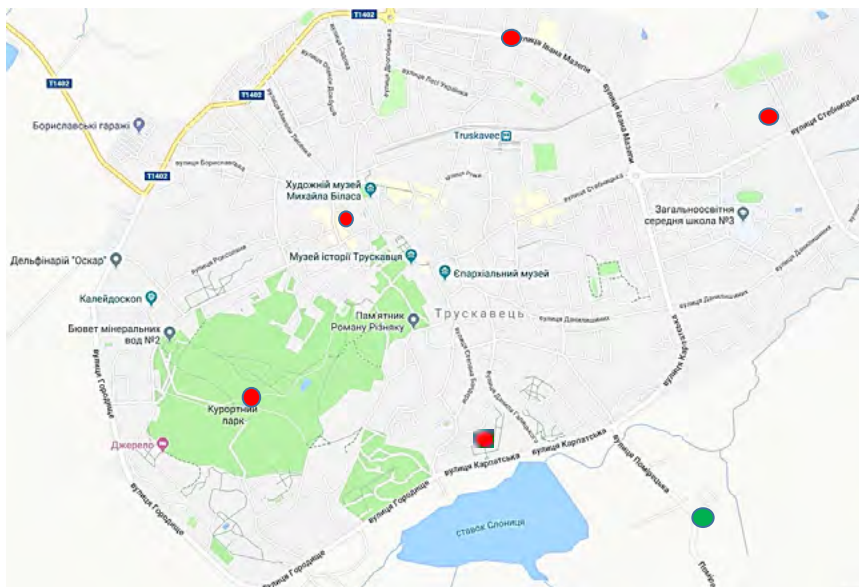
Найбільшим джерелом забруднення атмосферного повітря у великих містах є викиди промисловості (дим, пил, дрібні часточки вугілля, пари сильних кислот, окис вуглецю тощо), що осідають на рослинах і призводять до незворотних змін – інкубують ріст рослин, знижують рівень фотосинтетичних процесів, порушують розмноження тощо. Індикаційними ознаками в деревних рослин є некрози, хлорози й опадання хвої, відмирання листя [3]. Сукупний вміст поллютантів в атмосфері може зумовлювати різні морфологічні та фізіологічні прояви залежно від їх концентрації [4; 5].

У межах міста Трускавця немає великих промислових підприємств. До промислових об'єктів можна віднести тільки завод мінеральних вод «Трускавецька» і завод молочної продукції «Карпатські луки», що розташовані на околицях міста.

Основним забруднювачем навколишнього середовища є автотранспорт, трафік якого значно зріс упродовж останніх десятиліть. Після початку військових дій на Львівщину, зокрема й у Трускавець, евакуйовано понад 300 тисяч населення зі сходу, півдня та центру України. Наприкінці весни 2022 р. кількість переселенців у Трускавці становила приблизно 30 тисяч осіб, частина евакуйовувалась на власному транспорті. Усі ці чинники вплинули на стан довкілля в межах міста. Тому метою роботи є біомоніторинг стану навколишнього середовища міста Трускавця за біолого-екологічними показниками липи серцелистої (*Tilia cordata*), клена гостролистого (*Acer platanoides*) і граба звичайного (*Carpinus betulus*).

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для оцінки стану навколишнього середовища методом біоіндикації (рослинами-індикаторами) дослідження проводять за таким планом: морфологічні прояви (ушкодження, хлорози, некрози); видозміни тканин і структур вегетативних органів; ступінь некротизації та дехромації; біохімічні порушення у фотосинтетичній системі, зміни концентрацій хлорофілів і каротиноїдів. Дослідження проводились у межах урбоекосистеми курортного міста Трускавця. Дана територія була поділена на окремі ділянки: вул. Героїв УПА, Курортний парк, вул. Івана Мазепи, санаторій «Карпати», вул. Стебницька, вул. Помірецька (у межах якої було виділено фітостаціонари), для проведення біоіндикаційних досліджень відповідно до мети та поставлених завдань.



**Рис. 1. Карта міста Трускавця [6]**

Визначення площі листкових пластинок здійснювали ваговим методом з модифікацією Л.В. Дорогань [7]. Оцінку відсоткового враження листків некрозами здійснювали за загальноприйнятою методикою [7]. Виявлення некротичних і депігментаційних уражень листків деревних рослин здійснювали візуально. Класифікацію виявлених уражень листка проводили з використанням схеми, запропонованої Р. Шубертом [7]. Для визначення ступеня асиметрії листкових пластинок вимірювали фоліарні показники, які оцінювали за 5-тибальною шкалою відхилення від норми, у якій 1 бал – відносна норма, а 5 балів – критичне значення з наступною градацією: 1 бал – до 0,055; 2 бали – 0,055–0,060; 3 бали – 0,060–0,065; 4 бали – 0,065–0,070; 5 балів – більше 0,070. Вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів визначали в загальному екстракті пігментів без попереднього їх розділення, спектрофотометрично [8].

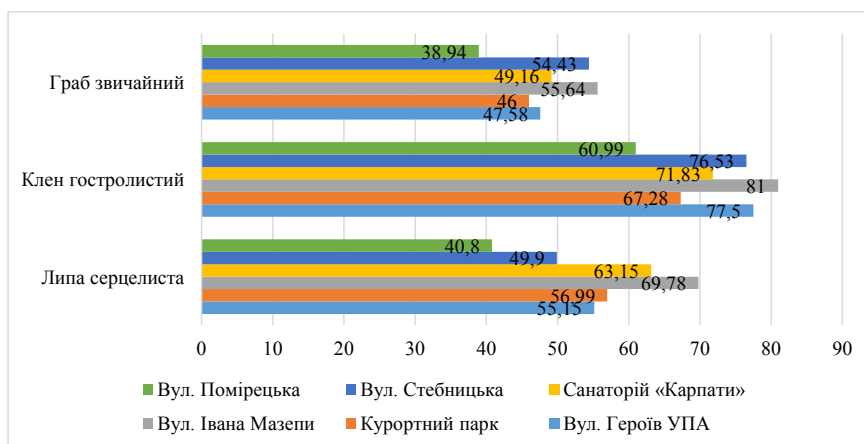
## **РЕЗУЛЬТАТИ**

**Морфологічні зміни рослин-індикаторів в умовах міста Трускавця.** Урбоєко-система – це біологічна система, на яку завжди здійснюється тиск: антропогенний чи біогенний. Упродовж останніх десятиліть кількість урбоєкосистем стрімко зростає, що не може не відобразитися на стані навколишнього середовища. Трускавець є рекреаційною зоною, і стан його довкілля є одним із чинників оздоровлення населення.

Якщо порівняти умови функціонування екосистем у Трускавці років 30 тому і зараз, то можна побачити стрімкі та незворотні зміни. Передусім це значне зниження відсотка зелених насаджень міста. Зелені рослини виконували не тільки естетичну роль, але й газопоглинальну, шумоізоляційну, виробляли більше кисню, володіли фітонцидними властивостями. По-друге, значно зросла кількість транспортних засобів на дорогах міста, особливо вантажних. По-третє, місто сильно «забудували», майже

не залишилось зелених сквериків чи альтанок. Під час будівництва багатоквартирних споруд значно забруднювалось навколишнє середовище, особливо промисловими відходами [9].

Для більш достовірної оцінки стану довкілля міста Трускавця дослідження методом біоіндикації та фіксації змін деревних рослин-індикаторів відбувалась упродовж 2021–2022 рр. На рис. 2 зображено динаміку зростання площі листкових пластинок рослин-індикаторів залежно від виду рослин і їх місцезростання у 2021 р.

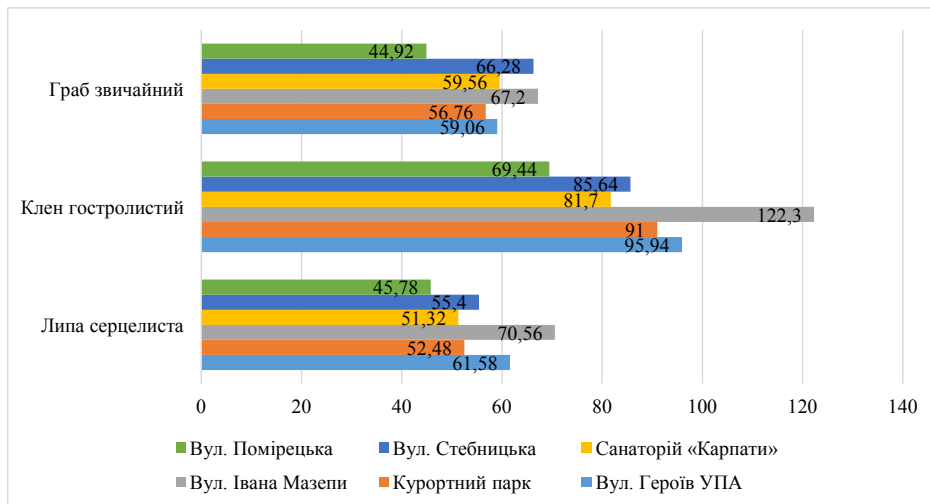


**Рис. 2. Зміна площі листкових пластинок рослин-індикаторів міста Трускавця в осінній період 2021 р.**

Учені практики біологічних методів досліджень рекомендують проводити дослідження з декількома видами індикаторів водночас, це пов'язано з можливою видоспецифічною ознакою та реакцією певного індикатора. Після проведеного аналізу результатів досліджень у 2021 р. встановлено, що найбільш якісно та кількісно морфологічні зміни простежуються в липи серцелистої ( $p < 0,05–0,001$ ). Імовірно, це пов'язано зі структурою самого листка, адже він досить легкий і шорсткий, затримує більше забруднювачів. Найбільше зросла площа листкових пластинок на вул. Мазепи та Стебницькій, це може бути зумовлене великою кількістю автотранспорту на дорогах уздовж цих вулиць.

На рис. 3 зображено динаміку зростання площі листкових пластинок рослин-індикаторів залежно від виду рослин і їх місцезростання у 2022 р. Загалом, показники площі листкових пластинок у 2022 р. є значно вищими за показники у 2021 р. На нашу думку, це пов'язано з декількома можливими чинниками. По-перше, 24 лютого 2022 р. в Україні розпочались військові дії, масовані обстріли важкою артилерією, ракетами та БПЛА, що призвело до значних руйнувань, пожеж та інших екологічних катастроф. Усе це не могло не вплинути на довкілля, з повітряними масами тони пилу переносились на значні площі. По-друге, масовані руйнування зумовили появу в регіоні великої кількості переселенців, багато з яких приїхали на власному транспорті. У березні – травні 2022 р. населення Трускавця зросло майже удвічі ( $p < 0,05–0,001$ ). По-третє, кліматичні умови влітку 2022 р. були аномальними для нашої місцевості – надзвичайно мала

кількість опадів у червні та температурні піки впродовж липня – серпня (понад +33°C). Найвищі показники зростання площі листових пластинок спостерігались на вул. Героїв УПА й Івана Мазепи.



**Рис. 3. Зміна площі листових пластинок рослин-індикаторів міста Трускавця в осінній період 2022 р.**

Загалом збільшення площі листових пластинок деревних рослин-індикаторів відбувалося в такому напрямку: вул. Помірецька → Санаторій «Карпати» → Курортний парк → вул. Героїв УПА → вул. Стебницька → вул. Івана Мазепи.

**Визначення показника інтегральної асиметрії листків деревних рослин-індикаторів.** Інтенсивне збільшення фотосинтетичної поверхні рослин-індикаторів може бути зумовлене активізацією фотосинтетичних процесів в умовах забруднення атмосферного повітря. Кількість прорихів зменшується під дією великої концентрації вихлопних газів, включається адаптаційний механізм – збільшити інтенсивність фотосинтезу.

Водночас стрімке неконтрольоване збільшення площі листових пластинок призводить до порушення їх асиметрії, що фіксується інтегральним показником флуктуаційної асиметрії. Даний показник дозволяє за шкалою Захарова оцінити стан навколишнього середовища за допомогою балів.

Для підрахунку інтегрального показника флуктуаційної асиметрії ми визначали фоліарні показники рослин-індикаторів і обраховували ступінь розходження ознак листків. Одержані результати представлені в таблиці 1.

За одержаними результатами видно, що максимальні значення ступеня розходження ознак листків рослин-індикаторів в осінній період 2021 р. характерні для особин, які зростали в межах районів із найвищим рівнем антропопресії – вул. Героїв УПА, Стебницька та Мазепи, де зосереджений найбільший трафік автотранспорту. Ці вулиці за всіма рослинами-індикаторами отримали 5 балів – критична межа за шкалою Захарова ( $p < 0,05-0,001$ ). Однак Курортний парк і район санаторію «Карпати» отримали від 1 до 3 балів, що показує низький або середній рівень забруднення довкілля.

**Розходження ознак листків рослин-індикаторів міста Трускавця  
в осінній період 2021–2022 рр.**

Район дослідження	Відносна середня відмінність між ознаками, X					
	2021 р.					
	Липа	Бал	Клен	Бал	Граб	Бал
Вул. Героїв УПА	0,110	5	0,101	5	0,073	5
Курортний парк	0,062	3	0,059	2	0,060	3
Вул. Івана Мазепи	0,073	5	0,063	3	0,122	5
Санаторій «Карпати»	0,060	2	0,045	1	0,035	1
Вул. Стебницька	0,141	5	0,077	5	0,096	5
Вул. Помірецька	0,054	1	0,040	1	0,029	1
2022 р.						
Вул. Героїв УПА	0,083	5	0,107	5	0,113	5
Курортний парк	0,065	4	0,064	3	0,068	4
Вул. Івана Мазепи	0,126	5	0,073	5	0,092	5
Санаторій «Карпати»	0,064	3	0,054	1	0,057	2
Вул. Стебницька	0,095	5	0,119	5	0,105	5
Вул. Помірецька	0,056	2	0,051	1	0,049	1

У 2022 р. ситуація зі станом рослин погіршилась. Імовірно, це пов'язано з військовими діями, масованими обстрілами важкою артилерією та пожежами. Показники асиметрії в Курортному парку та санаторії «Карпати» зросли до середнього рівня забруднення. На нашу думку, на ці показники вплинув також чинник значного переміщення переселенців із районів бойових дій, адже багато з них були на власному автотранспорті. Згідно з даними Трускавецької міської ради, упродовж весни 2022 р. чисельність переселенців дорівнювала кількості корінного населення Трускавця.

Отже, за дії комплексу антропогенних чинників у рослин-індикаторів відбувається зростання ступеня розходження ознак листків, пропорційне рівню антропогенного навантаження на екосистему [10; 11]. У результаті проведеного аналізу одержаних даних виявлені ознаки, найбільш схильні до асиметрії: ширина половинки листка та кут між головною жилкою і другою від основи жилкою другого порядку.

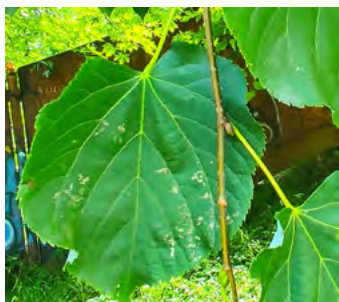
**Некротизація листкових пластинок.** На перших етапах дослідження ми оцінювали вплив токсикантів, що містяться в навколишньому середовищі, на морфологічні прояви та видозміни листкових пластинок – збільшення площі пластинки як адаптивної ознаки до забруднення та збільшення асиметрії листка – відстані між жилками, зміни форми листка.

Наступний етап пов'язаний із внутрішніми змінами на рівні рослинних тканин – характер і рівень некротизації. Першоступеневим пошкодженням листя є його деформація, скручування, зміна галуження, поява виростів (рис. 4).

Упродовж 2021–2022 рр. у весняний і осінній періоди фіксувалися характерні зміни листкових пластинок – точковий, плямистий, міжжилковий, крайовий, верхівковий, тип «риб'ячого скелета».

Максимальне значення некротичного ураження листкової пластинки характерне для граба звичайного (7,5–7,9%), що на вул. Героїв УПА та Мазепи, для липи серцелистої (7,2–7,5%), листя якої зібрано на вул. Стебницькій і Мазепи, клена гостролистого





**Рис. 4. Види уражень липи серцелистої**

(6,1–6,2%), що майже не відрізняється від фонових значень ( $p < 0,05–0,001$ ). Мінімальне значення некротичного ураження характерне для клена гостролистого (4,6%) – на вул. Помірецькій. У всіх зонах міста ушкодження на відібраних рослинах утворені, точкові, плямисті та міжжилкові некрози та дехромації. Такі ушкодження виникають унаслідок змін у листовій пластинці через поглинання токсичних речовин з атмосферного повітря та ґрунту на окремих її ділянках [12].

*Аналіз вмісту фотосинтезуючих пігментів у листках рослин-індикаторів.* Фотосинтез і транспірація є базовими процесами, що забезпечують процеси життєдіяльності в рослинному організмі. Для урбанізованих екосистем характерне зниження ступеня озеленення вулиць і міжквартальних площ, відповідно і зниження рівня кисню, підвищення загазованості повітря тощо [3; 5; 10; 13; 14].

Перші етапи дослідження, що фіксували морфологічні зміни деревних рослин-індикаторів в умовах міста Трускавця, підтвердили, що відбувається тиск навколишнього середовища на рослинні організми. Зміни в рослинних організмах на органічному та тканинному рівні можуть бути зумовлені й біохімічними порушеннями на клітинному рівні. Тому завершальним етапом дослідження стало визначення концентрації та вмісту фотосинтетичних пігментів в екстрактах листків рослин-індикаторів – хлорофілу *a*, хлорофілу *b*, каротиноїдів. Адже саме зміна вмісту фотосинтезуючих пігментів рослин є ознакою адаптації до нових умов навколишнього середовища [2].

Таблиця 2

**Концентрація хлорофілів і каротиноїдів у листках рослин-індикаторів міста Трускавця в осінній період 2021–2022 рр.**

№	Район дослідження	Вид-індикатор	Схл <i>a</i>	Схл <i>b</i>	С кар
1	Санаторій «Карпати»	<i>Липа серцелиста</i>	6,212 ± 0,098	25,291 ± 0,57	17,465 ± 0,54
		<i>Клен гостролистий</i>	4,188 ± 0,25	13,511 ± 0,45	4,867 ± 0,26
		<i>Гراب звичайний</i>	8,184 ± 0,003	33,820 ± 0,28	12,147 ± 0,28
2	Вулиця Стебницька	<i>Липа серцелиста</i>	3,140 ± 0,26	37,920 ± 0,67	8,718 ± 0,69
		<i>Клен гостролистий</i>	6,804 ± 0,013	64,780 ± 0,94	9,410 ± 0,32
		<i>Гراب звичайний</i>	1,882 ± 0,011	50,980 ± 0,92	6,294 ± 0,89
3	Вулиця Івана Мазепи	<i>Липа серцелиста</i>	3,680 ± 0,12	16,680 ± 0,27	12,272 ± 0,44
		<i>Клен гостролистий</i>	8,750 ± 0,13	62,960 ± 0,89	6,809 ± 0,28
		<i>Гراب звичайний</i>	2,968 ± 0,28	38,080 ± 0,28	13,369 ± 0,24

4	Вулиця Героїв УПА	<i>Липа серцелиста</i>	6,476 ± 0,26	39,760 ± 0,69	11,983 ± 0,33
		<i>Клен гостролистий</i>	1,650 ± 0,34	23,520 ± 0,87	12,516 ± 0,99
		<i>Граб звичайний</i>	2,968 ± 0,27	30,5 ± 0,39	9,611 ± 0,37
5	Курортний парк	<i>Липа серцелиста</i>	5,792 ± 0,16	60,08 ± 0,18	5,581 ± 0,29
		<i>Клен гостролистий</i>	8,960 ± 0,78	67,360 ± 0,96	3,128 ± 0,13
		<i>Граб звичайний</i>	9,508 ± 0,96	8,520 ± 0,28	8,789 ± 0,89
6	Вулиця Помірецька	<i>Липа серцелиста</i>	8,158 ± 0,28	22,6 ± 0,32	5,804 ± 0,27
		<i>Клен гостролистий</i>	9,324 ± 0,78	34,6 ± 0,29	5,426 ± 0,26
		<i>Граб звичайний</i>	10,8 ± 0,74	15,78 ± 0,39	7,458 ± 0,87

Як свідчать результати досліджень, концентрація хлорофілу *a* наприкінці вегетаційного періоду в листках рослин-індикаторів зменшується залежно від місцезростання рослин і має видоспецифічність. Хлорофіл *a* є досить нестійким і швидко руйнується під дією поллютантів, особливо під дією викидів автомобільного транспорту. Це пояснює чітку негативну тенденцію на вулицях уздовж транспортних вузлів (Стебницька, Мазепи, Героїв УПА).

Концентрація хлорофілу *b* значно збільшується, оскільки відбувається активація його синтезу для забезпечення стабільності пігмент-білкових комплексів тилакоїдів [2; 4]. Ця тенденція чітко простежується на вул. Мазепи, Стебницькій і Героїв УПА, водночас концентрація хлорофілу *b* у рослинах Курортного парку та санаторію «Карпати» майже не відрізняється від фонові ділянки. На основі отриманих даних встановлено, що концентрація каротиноїдів у листках липи серцелистої, граба звичайного та клена гостролистого активно зростає, що зумовлено їх участю в механізмах антиоксидантного захисту рослинного організму.

## ВИСНОВКИ

У підсумку можна стверджувати, що умови місцезростання рослин-індикаторів зумовлюють появу в них морфологічних і фізіологічних змін на клітинному, тканинному й органному рівнях організації рослинного організму. За цими змінами можна оцінити стан навколишнього середовища. Аналіз результатів усіх показників, як-от: площа листкової пластинки, інтегральний показник флукуаційної асиметрії, характер ураження листків, ступінь некротизації та дехромації, концентрація та вміст фотосинтетичних пігментів, свідчить, що в умовах Трускавця відбувається незначний тиск на навколишнє середовище, що насамперед простежується на вул. Мазепи, Стебницькій і Героїв УПА.

**Перспективи використання результатів досліджень.** Дані біологічного моніторингу стану навколишнього середовища міста Трускавця є частиною комплексного моніторингу довкілля Львівщини, його результати можна буде використовувати для просвітницької роботи з населенням і розроблення системи контролю за станом довкілля.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Львівської області (2018–2020 рр.). *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://menr.gov.ua/> (дата звернення: 04.09.2021).
2. Гетко Н.В. Рослини в техногенному середовищі. Структура та функція асиміляційного апарату. Мінськ : Наука і техніка, 2001. 308 с.
3. Гойванович Н.К., Дрозд І.Ф. Вплив антропогенного навантаження на морфометричні показники рослин-індикаторів в умовах Передкарпаття України. *Розвиток природничих наук: проблеми та рішення* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 27–28 квітня 2018 р. Брно, 2018. С. 16–19.
4. Приседський Ю. Г. Адаптація рослин до антропогенних чинників : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Вінниця : ТОВ «Ніланд-ЛТД», 2017. 98 с.
5. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи / Д.М. Гродзинський та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 60 с.
6. Карта міста Трускавець. URL: <https://www.google.com.ua/map/place> (дата звернення: 24.09.2021).
7. Осика В.Ф. Якість вимірювань складу та властивостей об'єктів довкілля та джерел їх забруднення : монографія. Київ : Наука, 2001. 663 с.
8. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії, та екології рослин : навчальний посібник / М.М. Мусієнко та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. С. 127–129.
9. Екологічні паспорти Львівської області за 2018–2021 рр. URL: <https://deplv.gov.ua/ekologichnyj-rasport/> (дата звернення: 01.11.2021).
10. Оцінка стану навколишнього середовища м. Старий Самбір за морфобіологічними змінами *Tilia cordata* / Н.К. Гойванович та ін. *Екологічні науки*. 2022. Вип. 3 (42). С. 211–216.
11. Assessment of the urban environment quality in Kyiv / O. Barabash et al. *Acta Carpathica*. 2017. № 28. P. 5–12.
12. Influence of anthropogenic load in the city of Stryi on the functional state of photosynthetic apparatus of plants-indicators / N. Hoivanovych et al. *Acta Carpathica*. 2019. №№ 31–32. P. 52–59.
13. Velickovi M. Developmental stability in *Tilia cordata* leaves. *Period biol.* 2010. Vol. 112. № 3. P. 273–281.
14. Leaf fluctuating asymmetry increases with hybridization and elevation tree – line birches / B.J. Wilsey et al. *Ecology*. 2008. Vol. 79 (6). P. 2092–2099.

## REFERENCES

1. Regionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha Lvivskoi oblasti – Regional report of the environment state in Lviv region (2020). Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy – Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Retrieved from: <https://menr.gov.ua/> [in Ukrainian].
2. Hetko, N.V. (2001). *Roslyny v tekhnohennomu seredovyshchi. Struktura ta funktsiia asymiliatsiinoho aparatu* [Plants in a technogenic environment. Structure and function of the assimilation apparatus]. Minsk : Nauka i tekhnika [in Ukrainian].
3. Hoivanovych, N.K., & Drozd, I.F. (2018). Vplyv antropohennoho navantazhennia na morfometrychni pokaznyky roslyn-indyikatoriv v umovakh Peredkarpattia Ukrainy [The influence of anthropogenic load on the morphometric parameters of indicator plants in the Precarpathian region of Ukraine]. *Rozvytok pryrodnych nauk: problemy ta rishennia : materialy Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii – Development of natural sciences: problems and solutions: materials of the International Scientific Conference* (pp. 16–19). Brno [in Ukrainian].

4. Prysedsnyi, Yu.H. (2017). *Adaptatsiia roslyn do antropohennykh chynnykiv: pidruch. dlia stud. vyshch. navch. zakl.* [Adaptation of plants to anthropogenic factors: textbook for students]. Vinnytsia : TOV “Niland-LTD” [in Ukrainian].
5. Hrodzynskiy, D.M., Shylina, Yu.V., & Kutsokon, N.K. (2006). *Zastosuvannia roslynnykh test-system dlia otsinky kombinovanoi dii faktoriv riznoi pryrody* [The use of plant test systems to evaluate the combined effect of different factors]. Kyiv : Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].
6. Karta mista Truskavets – Truskavets map. Retrieved from: <https://www.google.com.ua/map/place>.
7. Osyka, V.F. (2001). *Yakist vymiriuvan skladu ta vlastyvostei ob'ektiv dovkillia ta dzherel yikh zabrudnennia: monohrafiia* [The quality of the composition and properties of environmental objects, sources of their pollution: monograph]. Kyiv : Nauka [in Ukrainian].
8. Musiienko, M.M., Parshykova, T.V., & Slavnyi, P.S. (2001). *Spektrofotometrychni metody v praktysi fiziologii, biokhimii, ta ekolohii roslyn: navch. posibnyk* [Spectrophotometric methods in plants physiology, biochemistry and ecology practice: a manual]. K.: Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].
9. Ekolohichni pasporty Lvivskoi oblasti za 2018–2021 rr. [Environmental passports of the Lviv region 2018–2021]. Retrieved from: [https://deplv.gov.ua/ekologichnyj-pasport/\(01.11.2021\)](https://deplv.gov.ua/ekologichnyj-pasport/(01.11.2021)) [in Ukrainian].
10. Hoivanovych, N.K., Yuzviak, M.O., Bila, V.V. (2022). Otsinka stanu navkolyshnoho sere-dovyshcha m. Staryi Sambir za morfo-biologichnymy zminamy *Tilia cordata* [Assessment of the state of the environment of Staryi Sambir on morpho-biological changes of *Tilia cordata*]. *Ekolohichni nauky – Environmental sciences*, 3 (42), 211–216 [in Ukrainian].
11. Barabash, O., Lozova, T., Kozlova, T. (2017). Assessment of the urban environment quality in Kyiv. *Acta Carpathica*, 28, 5–12.
12. Hoivanovych, N., Pavlyshak, Ya., Antonyak, H. (2019). Influence of anthropogenic load in the city of Stryi on the functional state of photosynthetic apparatus of plants-indicators. *Acta Carpathica*. 31–32, 52–59.
13. Velickovi, M. (2010). Developmental stability in *Tilia cordata* leaves. *Period. biol.* 3, Vol. 112, 273–281.
14. Wilsey, B.J., Haukoja, E., Koricheva, J. (2008). Leaf fluctuating asymmetry increases with hybridization and elevation tree – line birches. *Ecology*. Vol. 79 (6), 2092–2099.

## ABSTRACT

### ENVIRONMENTAL BIOMONITORING OF TRUSKAVETS CITY

In every modern city, a lot of industrial and household waste is generated as a result of human activities. Human activity leads to constant pollution of the natural environment: atmospheric air, natural waters and soils. Heavy metals quickly accumulate in plants, retain toxicogenic properties for a long time, and will have an expressed negative effect and impact on vegetation growing near highways.

Truskavets is a recreation and wellness center, and the state of its environment affects the effectiveness of medical procedures. The state of the environment has an indirect effect on indicator plants. The growth conditions of indicator plants determine the appearance of morphological and physiological changes in them at the cellular, tissue, and organ levels of the organization of the plant organism. These changes can be used to assess the state of the environment.

There is an increase in the leaf area of indicator plants. Such an effect can occur as an adaptive reaction for the intensification of photosynthesis processes under conditions of pollution. The maximum values of the integral indicator of the fluctuating asymmetry of the leaves of the indicator plants are characteristic of the individuals that grew within the districts with the highest level

of anthropopression – Heroiv UPA, Stebnytska and Mazepy streets, where the largest traffic is concentrated. Qualitative manifestations of macroscopic pathological changes have a pronounced species-specific character.

Analysis of the results of all indicators: leaflet area, an integral indicator of fluctuation asymmetry, nature of leaf lesion, degree of necrotization and dechromation, photosynthetic pigments concentration and content (chlorophylls, carotenoids) indicates that there is little pressure on the environment in the conditions of Truskavets, which is mainly detected in the Mazepa, Stebnytska, and Heroes of the UPA streets.

**Key words:** environment, Truskavets, biomonitoring, indicator plants, morphological changes, biochemical changes.

*Людмила Юрїївна Роман,*

кандидат хїмічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна  
orcid.org/0000-0002-4780-8336, e-mail: [liudmyla.roman@uzhnu.edu.ua](mailto:liudmyla.roman@uzhnu.edu.ua)

*Леся Сергїївна Михалко,*

здобувач освіти першого (бакалаврського) рівня, спеціальність 101 – Екологія ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна  
e-mail: [mykhalko.lesia@student.uzhnu.edu.ua](mailto:mykhalko.lesia@student.uzhnu.edu.ua)

## МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ СТРИЙ

**Анотація.** Робота присвячена моніторингу якості води річки Стрий (Львівська область, Україна) за деякими гідрофізичними та гідрохїмічними параметрами якості води для вод рибогосподарського призначення. Дослідження проведено у весняно-осінній період упродовж 2022–2023 років, у місцях, де немає стаціонарних створів.

Установлено погіршення природної якості води річки Стрий унаслідок надмірного антропогенного впливу. У досліджуваних пробах води річки Стрий зафіксовано підвищений вміст завислих речовин (на 1–1,4 мг/дм<sup>3</sup>), амоній-іонів (на 0,5–0,8 мг/дм<sup>3</sup>), нітрит-іонів (на 0,2 мг/дм<sup>3</sup>) і ХСК (на 1–2 мг/дм<sup>3</sup>). З'ясовано, що основними причинами цих негативних змін є не досить очищені або неочищені стічні води житлово-комунального сектору, стоки рекреаційної та сільськогосподарської діяльності, а також стоки промислових виробництв.

Установлено транскордонний характер забруднення річки Стрий, унаслідок накопичення шкідливих речовин униз за течією водного об'єкта, що пов'язано зі збільшенням впливу людської діяльності. У пробі води, відібраній у верхів'ї водотоку нижче гирла річки Завадка (де найменший антропогенний вплив на водний об'єкт), вміст завислих речовин, амоній-іону та нітрит-іонів не перевищує нормовані величини для вод рибогосподарського призначення. У пробах води, взятих нижче за течією, а саме нижче гирла річок Ільник і Опір, простежується підвищений вміст вказаних гідрохїмічних показників.

Установлено, що визначувані гідрофізичні та гідрохїмічні показники якості води річки Стрий характеризуються мінімальною дисперсією в різних фазах водного режиму та посезонно впродовж року, що вказує на позитивну гідродинаміку водотоку.

Більшість нормованих показників, які характеризують якість поверхневих вод, не перевищують гранично допустимих концентрацій для вод рибогосподарського призначення, що вказує на II клас і 2–3 категорію якості води річки Стрий.

**Ключові слова:** моніторинг якості води, річка Стрий, гідрофізичні параметри, гідрохїмічні параметри.

## ВСТУП

Досягнення стійкого розвитку кожної держави та її окремих територій не є можливим без наявності визначеної кількості водних ресурсів, особливо їхньої належної якості. Хоча гідроресурси і відносять до категорії відновлюваних природних ресурсів [1], у сучасних реаліях цей термін набуває умовного значення. Зростання впливу господарської діяльності людини призводить до підвищення ступеня забруднення природних водних об'єктів і обмеженого їх використання [1–7], або ж зовсім робить їх непридатними для процесів водоспоживання чи водокористування.

Зважаючи на такі обставини, однією із ключових екологічних проблем сучасності є мінімізація негативного антропогенного впливу на об'єкти довкілля.

Гірські річки Карпатського регіону здавна традиційно слугували джерелом питної води [4], використовувались для зрошення сільськогосподарських угідь, розвитку рибного господарства та для інших галузей промисловості. Забруднення водойм і водотоків унаслідок надмірного антропогенного впливу може призвести як до погіршення якості води, так і до зменшення їх запасів. Водночас відбувається порушення гіроекологічного балансу та зменшення біологічного розмаїття. Тому контроль екологічного стану річок Карпатського регіону є актуальним завданням. Індивідуальний моніторинг якості води сприятиме визначенню ступеня забруднення окремих водних об'єктів і розробці заходів, які зможуть мінімізувати або цілковито усунути негативні процеси.

Річка Стрий протікає в межах Львівської області України і є типовою гірською річкою [8], протяжністю 232 км та площею басейну 3 060 км<sup>2</sup>. Басейн річки Стрий територіально розміщений уздовж населених пунктів і промислових центрів, діяльність яких безпосередньо впливає на гідрохімічний режим водотоку.

Метою роботи є оцінка якості води річки Стрий за деякими гідрофізичними та гідрохімічними показниками якості води.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Моніторинг якості води річки Стрий проведено впродовж 2022–2023 рр. у весняно-осінній період. Для дослідження було обрано 3 точки пробовідбору в місцях, які оптимально характеризують антропогенний вплив на якість води річки. У даних місцях відсутніми є стаціонарні створи. Зокрема, пробу № 1 відібрано поблизу села Ільник (нижче гирла р. Завадка); проба № 2 – село Турка (нижче гирла р. Яблунька); проба № 3 – поблизу села Межиброди (нижче гирла р. Опір).

Відбір проб води річки Стрий проведено в посушливий період, за температурного діапазону повітря 10–23 °С. Дослідження гідрофізичних і гідрохімічних показників якості води для рибогосподарського призначення проведено відповідно до наукових праць [9; 10].

Усі необхідні аналітичні експериментальні завдання проведено за допомогою таких технічних приладів, як: спектрофотометр атомно-абсорбційний ContrAA 300; фотометр фотоелектричний КФК-3-01; аналізатор рідини Флюорат 02–3М; рН метр; кондуктометр ОК 117.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Результати аналітичних досліджень гідрофізичних параметрів води річки Стрий вказують на хорошу їхню якість за показниками прозорості, кольоровості та запаху. Зазначимо, що показник прозорості коливається в межах від 34 до 32 см, запах має значення менше 2, кольоровість – від 8 до 13 градусів (табл. 1).

Результати досліджень гідрохімічних показників вказують на незначну загрозу екологічної безпеки якості води досліджуваного водотоку Львівської області (табл. 2, 3).

Таблиця 1

## Результати гідрофізичних досліджень води річки Стрий

Назва показника	Точки пробовідбору			Нормована величина [11]
	№ 1	№ 2	№ 3	
осінь, 2022 р.				
Прозорість, см	32 ± 1	32 ± 2	34 ± 1	≥30
Запах, бали	1,0	1,0	2,0	<2
Кольоровість, градуси	10 ± 1	12 ± 1	13 ± 1	<20
весна, 2023 р.				
Прозорість, см	31 ± 1	32 ± 1	35 ± 1	≥30
Запах, бали	1,0	1,0	1,0	<2
Кольоровість, градуси	10 ± 2	11 ± 1	11 ± 2	<20
осінь, 2023 р.				
Прозорість, см	31 ± 2	32 ± 2	35 ± 1	≥30
Запах, бали	1,0	1,0	2,0	<2
Кольоровість, градуси	10 ± 1	11 ± 2	12 ± 2	<20

Таблиця 2

## Результати гідрохімічних досліджень води річки Стрий за осінній період 2022 р.

Назва показника	Точки пробовідбору			Нормована величина [11]
	№ 1	№ 2	№ 3	
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	12,5 ± 0,3	15,2 ± 0,2	16,2 ± 0,1	<15,0
Водневий показник (рН)	7,7 ± 0,2	7,5 ± 0,3	7,8 ± 0,1	6,5–8,5
Перманганатна окиснюваність, мґО/дм <sup>3</sup>	2,1 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,3 ± 0,1	<5,0
Амоній-іони, мґ/дм <sup>3</sup>	0,45 ± 0,03	0,57 ± 0,02	1,35 ± 0,02	<0,5
Нітрит-іони, мґ/дм <sup>3</sup>	0,08 ± 0,02	0,102 ± 0,02	0,104 ± 0,02	<0,08
Нітрат-іони, мґ/дм <sup>3</sup>	0,21 ± 0,03	0,31 ± 0,01	0,82 ± 0,02	<40,0
Фосфат-іони, мґ/дм <sup>3</sup>	0,028 ± 0,002	0,038 ± 0,001	0,041 ± 0,002	<3,5
Жорсткість загальна, мґ-екв/дм <sup>3</sup>	1,3 ± 0,2	1,5 ± 0,2	1,8 ± 0,2	<7,0
Сульфат-іони, мґ/дм <sup>3</sup>	13,1 ± 0,3	19,2 ± 0,1	19,4 ± 0,1	<100,0
Хлорид -іони, мґ/дм <sup>3</sup>	5,7 ± 0,1	7,3 ± 0,2	7,8 ± 0,3	<300,0
Залізо загальне, мґ/дм <sup>3</sup>	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	<0,1
Марганець, мґ/дм <sup>3</sup>	0,001 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,001 ± 0,001	<0,01
Сухий залишок, мґ/дм <sup>3</sup>	77,5 ± 0,4	78,0 ± 0,3	82,0 ± 0,1	<1 000,0
СПАР, мґ/дм <sup>3</sup>	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,02	<0,2
Нафтопродукти (вуглеводні неполярні), мґ/дм <sup>3</sup>	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	<0,05
Хімічне споживання кисню, мґО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	11,8 ± 0,2	16,6 ± 0,1	16,8 ± 0,1	<15
БСК <sub>5</sub> , мґО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,7 ± 0,3	1,8 ± 0,1	2,1 ± 0,2	<3,00
Розчинений кисень, мґО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	13,8 ± 0,1	10,7 ± 0,1	10,3 ± 0,1	≥6,0



**Результати гідрохімічних досліджень води річки Стрий  
за весняний період 2023 р.**

Назва показника	Точки пробовідбору			Нормована величина [11]
	№ 1	№ 2	№ 3	
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	13,8 ± 0,2	15,9 ± 0,3	15,8 ± 0,2	<15,0
Водневий показник (рН)	7,5 ± 0,2	7,5 ± 0,2	7,7 ± 0,1	6,5–8,5
Перманганатна окиснюваність, мгО/дм <sup>3</sup>	1,8 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,1 ± 0,2	<5,0
Амоній-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,42 ± 0,02	1,05 ± 0,03	1,50 ± 0,02	<0,5
Нітрит-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,08 ± 0,01	0,104 ± 0,01	0,105 ± 0,02	<0,08
Нітрат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,22 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,76 ± 0,02	<40,0
Фосфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,025 ± 0,001	0,037 ± 0,002	0,038 ± 0,001	<3,5
Жорсткість загальна, мг-екв/дм <sup>3</sup>	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,2	1,6 ± 0,1	<7,0
Сульфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	17,3 ± 0,1	19,0 ± 0,1	19,3 ± 0,1	<100,0
Хлорид-іони, мг/дм <sup>3</sup>	5,8 ± 0,4	7,5 ± 0,2	8,6 ± 0,2	<300,0
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	<0,1
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,001 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,002 ± 0,001	<0,01
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	78,1 ± 0,1	78,5 ± 0,2	82,4 ± 0,2	<1 000,0
СПАР, мг/дм <sup>3</sup>	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	<0,2
Нафтопродукти (вуглеводні неполярні), мг/дм <sup>3</sup>	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	<0,05
Хімічне споживання кисню, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	12,3 ± 0,2	16,4 ± 0,1	16,9 ± 0,1	<15
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,7 ± 0,2	1,8 ± 0,1	1,9 ± 0,2	<3,00
Розчинений кисень, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	11,7 ± 0,1	10,7 ± 0,2	10,8 ± 0,1	≥6,0

У результаті проведеного аналізу даних у таблицях 2 та 3 доходимо висновку, що у пробах води р. Стрий дещо підвищений вміст завислих речовин (на 1–1,4 мг/дм<sup>3</sup> відповідно), амоній-іонів (на 0,5–0,8 мг/дм<sup>3</sup> відповідно), нітрит-іонів (на 0,2 мг/дм<sup>3</sup>), ХСК (на 1–2 мг/дм<sup>3</sup> відповідно). Наведені дані є сигналом про погіршення якостей води досліджуваного водотоку внаслідок надмірної антропогенної діяльності, як-от: рекреація, житлово-комунальні та промислові стоки. Зазначимо, що результати гідрохімічних досліджень у пробах води, взятих восени поточного року, незначно відрізняються від даних таблиці 2, що вказує на стійку гідродинаміку води річки посезонно.

Наявність підвищеного вмісту амоній-іонів, джерелом яких насамперед є комунально-побутові стоки та стоки діяльності сільськогосподарської галузі, уже нині призводить до зниження якості річкової води, а також є загрозою зменшення біорозмаїття водної фауни. Підвищення показника ХСК засвідчує забруднення природного водотоку сполуками органічного походження, зокрема й нафтопродуктами, що порушує природну рівновагу процесів газообміну річки з навколишнім середовищем.

Установлено транскордонний характер забруднення досліджуваного водотоку. Накопичення шкідливих речовин чітко простежується за течією: у пробі № 1,

відібраній поблизу заповідної зони у верхів'ї водотоку (де спостерігається найменший антропогенний вплив на водний об'єкт), вміст завислих речовин не перевищує нормованих величин для вод рибогосподарського призначення, проте у пробах води, взятих нижче за течією (проби № № 2 та 3) уже зафіксовано підвищений вміст окремих гідрохімічних показників (амоній-іон, нітрити, ХСК та завислі речовини) якості води.

Більшість нормованих показників, які характеризують якість поверхневих вод, не перевищують гранично допустимих концентрацій для вод рибогосподарського призначення, що вказує на II клас і 2–3 категорію якості води річки Стрий.

Дослідження показали, що антропогенна діяльність на території населених пунктів і промислових центрів, уздовж яких простягається басейн річки Стрий, спричиняє погіршення якості води даного водотоку. Вона притокою річки Дністер, через що можливе міжобласне транскордонне забруднення поверхневих водних об'єктів України.

## ВИСНОВКИ

На основі моніторингових експериментальних досліджень, проведених у період 2022–2023 рр., встановлено погіршення природної якості води річки Стрий унаслідок надмірного антропогенного впливу. У пробах води досліджуваної водної артерії Львівської області визначено дещо підвищений вміст завислих речовин (на 1–1,4 мг/дм<sup>3</sup>), амоній-іонів (на 0,5–0,8 мг/дм<sup>3</sup>), нітрит-іонів (на 0,2 мг/дм<sup>3</sup>) та ХСК (на 1–2 мг/дм<sup>3</sup>). Причинами таких негативних змін є не досить очищені або неочищені стічні води житлово-комунального сектору, рекреаційних комплексів і стоки сільськогосподарської діяльності.

З'ясовано транскордонний характер забруднення річки Стрий, унаслідок накопичення шкідливих речовин униз за течією водного об'єкта.

Установлено, що визначувані гідрофізичні та гідрохімічні показники якості води річки Стрий незначно коливаються посезонно впродовж року, що вказує на позитивну гідродинаміку водотоку.

З метою запобігання подальшим негативним змінам якості води досліджуваного водного об'єкта необхідним є комплексний підхід, який передбачає співпрацю науковців, органів державної влади та громадськості, а також реконструкцію та модернізацію очисних систем, які діють в області, або застосування нових сучасних технологій біохімічної очистки стічних вод. Тільки таким шляхом можна забезпечити стабільний екологічний стан річки Стрий і збереження водних ресурсів для прийдешніх поколінь.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Krelshteyn P., Dubnytska M. Kyiv small Rivers in Metropolis Water Objects System. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017. IV–5 (1). P. 23–27. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524.
2. Cybriwsky R.A. Along Ukraine's River: A Social and Environmental History of the Dnipro. Budapest: *Central European University Press*. 2018. P. 280.
3. Сучасний екологічний стан малих річок Західного Полісся України (на прикладі річок Луга та Гапа) / А.В. Яцик та інє. *Вісник аграрної науки*. 2019. 97 (2). С. 61–65.
4. Калинович Н.О., Ситник О.С. Історія заселення Українських Карпат. *Праці НТШ: екологічний збірник. Екологічні проблеми Карпатського регіону*. Львів, 2003. (XI). С. 44–53.

5. Екологічна характеристика річок у Славському Львівської області / П.В. Босак та ін. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2019. 20. С. 80–84. DOI: 10.32447/20784643.20.2019.11.
6. Burianyk O., Melnyk A. Landscape diversity of tourist routes in Skole Beskids. *Journal of Education, Health and Sport*. 2016. 6 (6). P. 337–350.
7. Антропогенна діяльність на території НПП «Сколівські Бескиди» та її вплив на екологічний стан гідромережі / М.О. Вовкунівич та ін. *Науковий вісник Ужгородського університету*. Серія «Хімія». 2020. Вип. 43. № 1. С. 86–91. DOI: <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2020.1.86-91>.
8. Екологічний паспорт Львівської області за даними 2022 р. Львів, 2023. С. 204.
9. Аналітична хімія поверхневих вод / Б.Й. Набиванець та ін. Київ : Наукова думка, 2006. С. 456.
10. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу / В.І. Осадчий та ін. Київ : Ніка-Центр, 2008. С. 656.
11. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення : наказ МОЗ України № 721 від 2 травня 2022 р.

## REFERENCES

1. Krelshyeyn, P. & Dubnytska, M. (2017). Kyiv small Rivers in Metropolis Water Objects System. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV–5 (1), 23–27. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524.
2. Cybriwsky, R.A. (2018). *Along Ukraine's River: A Social and Environmental History of the Dnipro*. Budapest: Central European University Press.
3. Yatsyk, A.V., Pasheniuk, I.A., Hopchak, I.V., & Basiuk, T.O. (2019). Suchasnyi ekolohichnyi stan malykh richok Zakhidnoho Polissia Ukrainy (na prykladi richok Luha ta Hapa) [The current ecological state of small rivers of the Western Polissia of Ukraine (on the example of the Luga and Gapa rivers)]. *Visnyk ahrarynoi nauky*, 97 (2), 61–65 [in Ukrainian].
4. Kalynovych, N.O., & Sytnyk, O.C. (2003). Istoriia zaseleння Ukrainykh Karpat [History of settlement of the Ukrainian Carpathians]. *Pratsi NTSh: ekolohichniy zbirnyk. Ekolohichni problemy Karpatskoho rehionu*, XI, 44–53 [in Ukrainian].
5. Bosak, P.V., Korol, K.A., & Lutsyk, A.H. (2019). Ekolohichna kharakterystyka richok u Slavskomu Lvivskoi oblasti [Ecological characteristics of rivers in Slavsky, Lviv region]. *Visnyk LDUBZhD (Lviv. derzh. un-tu bezpeky zhyttiedialnosti)*, 20, 80–84. DOI: 10.32447/20784643.20.2019.11 [in Ukrainian].
6. Burianyk, O., & Melnyk, A. (2016). Landscape diversity of tourist routes in Skole Beskids. *Journal of Education, Health and Sport*, 6 (6), 337–350.
7. Vovkunovych, M.O., Roman, L.Iu., & Chundak, S.Iu. (2020). Antropohenna diialnist na terytorii NPP “Skolivski Beskydy” ta yii vplyv na ekolohichniy stan hidromerezhi [Anthropogenic activity on the territory of the “Skolivski Beskydy” NPP and its impact on the ecological state of the water network]. *Nauk. visnyk Uzhhorodskoho un-tu. Seriya “Khimiiia”*, 43 (1), 86–91. DOI: <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2020.1.86-91> [in Ukrainian].
8. Ekolohichniy pasport Lvivskoi oblasti za danymy 2022 roku [Ecological passport of the Lviv region according to the data of 2022]. *Lviv*. (2023) [in Ukrainian].
9. Nabyvanets, B.I., Osadchyi, V.I., Osadcha, M.N., & Nabyvanets, Yu.B. (2006). *Analitychna khimiia poverkhnevyykh vod [Analytical chemistry of surface waters]*. K.: Naukova dumka [in Ukrainian].
10. Osadchyi, V.I., Nabyvanets, B.I., Osadcha, N.M., Nabyvanets, Yu.B. (2008). *Hidrokhimichniy dovidnyk. Poverkhnevi vody Ukrainy. Hidrokhimichni rozrakhunky. Metody analizu*

*[Hydrochemical handbook. Surface waters of Ukraine. Hydrochemical calculations. Methods of analysis].* K.: Nika-Tsentr [in Ukrainian].

11. Hihiiienichni normatyvy yakosti vody vodnykh ob'ektiv dlia zadovolennia pytnykh, hospodarsko-pobutovykh ta inshykh potreb naselennia [Hygienic water quality standards of water bodies to meet drinking, household and other needs of the population.]. Nakaz MOZ Ukrainy № 721 vid 02.05.2022 r. [in Ukrainian].

## ABSTRACT

### MONITORING OF THE WATER QUALITY OF THE STRYI RIVER

The work is devoted to water quality monitoring of the Stryi River (Lviv region, Ukraine) according to some hydrophysical and hydrochemical parameters of water quality for fish farming waters. The research was conducted in the spring-autumn period during 2022–2023, in places where there are no stationary creatures.

Deterioration of the natural water quality of the Stryi River due to excessive anthropogenic influence has been established. In the studied water samples of the Stryi River, an increased content of suspended substances (by 1–1,4 mg/dm<sup>3</sup>), ammonium ions (by 0,5–0,8 mg/dm<sup>3</sup>), nitrite ions (by 0,2 mg/dm<sup>3</sup>) was recorded. dm<sup>3</sup>) and chemical oxygen consumption (by 1–2 mg/dm<sup>3</sup>). It was found that the main causes of these negative changes are insufficiently treated or untreated wastewater from the residential and communal sector, effluents from recreational and agricultural activities, as well as effluents from industrial productions.

The transboundary nature of the pollution of the Stryi River has been established, as a result of the accumulation of harmful substances downstream of the water body, which is associated with an increase in the impact of human activity. In the water sample taken in the upper part of the watercourse below the mouth of the Zavadka River (where the anthropogenic impact on the water body is the least), the content of suspended solids, ammonium ion and nitrite ions does not exceed the normalized values for waters intended for fishing. In the water samples taken downstream, namely below the mouth of the Ilnyk and Opir rivers, an increased content of the specified hydrochemical parameters can be traced.

It was established that the determined hydrophysical and hydrochemical water quality indicators of the Stryi River are characterized by minimal dispersion in different phases of the water regime and seasonally throughout the year, which indicates positive hydrodynamics of the watercourse.

Most of the standardized indicators that characterize the quality of surface waters do not exceed the maximum permissible concentrations for waters used for fishing, which indicates the II class and 2–3 category of water quality of the Stryi River.

**Key words:** water quality monitoring, Stryi River, hydrophysical parameters, hydrochemical parameters.

УДК 581.1:631.8:635.658

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.2.8>

*Світлана Василівна Пида,*

доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувачка кафедри ботаніки та зоології  
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,  
Україна  
orcid.org/0000-0002-7858-104X, e-mail: spyda@ukr.net

*Олена Василівна Тригуба,*

кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри біології, екології  
та методик їх навчання  
Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, Україна  
orcid.org/0000-0002-7264-7714), e-mail: boratun1@ukr.net

*Оксана Богданівна Мацюк,*

кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри ботаніки та зоології  
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,  
Україна  
orcid.org/0000-0002-0117-1325, e-mail: macjuk@chem-bio.com.ua

*Ольга Ігорівна Дух,*

кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології, екології  
та методик їх навчання  
Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, Україна  
orcid.org/0000-0003-3650-9813, e-mail: olja\_dykh@ukr.net

*Вікторія Олегівна Козак,*

аспірант кафедри ботаніки та зоології  
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,  
Україна  
orcid.org/0009-0003-5762-4682, e-mail: shelest.1995@ukr.net

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ *LENS CULINARIS* MEDIKUS**

**Анотація.** Мета дослідження – оцінити ефективність передпосівної обробки насіння *Lens culinaris* Medik. сорту Лінза регуляторами росту рослин Регоплант і Стимпо за параметрами росту рослин, формування симбіотичних систем на коренях і урожайності насіння. Польовий експеримент проводили на території агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка впродовж 2019–2022 років. Рослини вирощували за загальноприйнятою для Лісостепу України технологією. Насіння перед сівбою зволожували з розрахунку 2% від його маси водою (контроль) та регуляторами росту рослин Регоплант (25 мл/л) і Стимпо (2,5 мл/л). Розміщення варіантів одноярусне послідовне із 4-разовим повторенням і обліковою площею 4 м<sup>2</sup>. Дані проходили описовий і кореляційний ( $P \leq 0,05$ ) аналіз. Встановлено, що використання регуляторів росту стимулювало ростові процеси та підвищувало насінневу продуктивність рослин. Ефективнішим виявився регулятор росту Стимпо, на 19,6, 27,6 та 21,1% порівняно з контролем зросла висота пагона у фазах бутонізації, цвітіння та зеленого

бобу, на 47,3 і 50,5% – кількість і маса сирих бульбочок на коренях рослин у фазі цвітіння, на 5,9 і 18,2% – маса 1 000 насінин і урожайність насіння. Отже, регулятори росту рослин Регоплант і Стимпо в зазначених дозах можна ефективно використовувати в технології вирощування рослин сочевиці харчової в Західному Лісостепу України для підвищення її продуктивності.

**Ключові слова:** сочевиця харчова, регулятори росту рослин, ріст, симбіотична система, урожайність.

## ВСТУП

Сочевиця харчова (*Lens culinaris* Medikus) – важлива харчова та кормова зернобобова культура, яка вирощується в усьому світі завдяки високим поживним властивостям насіння, що забезпечують здоровий спосіб життя [1–7]. У зерні сочевиці міститься 21–36% білків, 47–60 крохмалю, 2–4 клітковини, 2–4 золи, 0,6–2,1 олії. Енергетична цінність 100 г насіння становить 310 ккал [8–11].

У насінні сочевиці накопичується до 60% карбогідратів. Завдяки наявності в їхньому складі низки специфічних цукрів унормовується діяльність шлунково-кишкового тракту, гальмуються процеси гниття, що має велике значення для підтримки високого рівня здоров'я людини [12]. Феноли у вареній зеленій сочевиці (сорт Гренландія) володіють біодоступністю, антиоксидантною та протизапальною активністю [13]. Низка епідеміологічних даних підтверджує вплив споживання сочевиці на зниження ризику розвитку ракових захворювань людини та їх лікування [14–16]. Сочевиця не накопичує в надземній масі нітратів, нітритів, радіонуклідів та інших токсичних для здоров'я речовин. Продукти із сочевиці здатні знижувати вміст цукру у крові, є незамінними для хворих на цукровий діабет. Профілактичну дію мають проростки сочевиці, оскільки містять багато вітаміну С і значно підвищують імунітет організму [17].

Сочевиця також має велике агротехнологічне значення, оскільки впродовж вегетаційного періоду засвоює з повітря симбіоз із бульбочковими бактеріями приблизно 40–90 кг/га екологічно чистого біологічного азоту. Культура та її післязривні залишки є найкращим поживним матеріалом для корисної мікрофлори, завдяки цій властивості використовуються як сидерат. Ґрунт під зернобобовими культурами зберігає свою будову, менше ущільнюється та краще утримує вологу у верхніх шарах. Покращуючи ґрунтову родючість, сочевиця підвищує врожайність інших культур сівозміни [18].

У світі вирощують такі типи сочевиці: червону (75%), зелену (20%), чорну, жовту, коричневу (5%). За посівними площами сочевиця серед зернобобових культур посідає 5 місце. Позиції світових лідерів продовжують утримувати Канада й Індія. Для України культура не нова, активно вирощувалась у довоєнні та післявоєнні роки [19], нині площі її посівів зменшилися. У державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, на 2023 р. усі 9 сортів: *Linza* (2005 р.), *Maksymum* (2017 р.), *Antonina* (2017 р.), *Darynka* (2017 р.), *Blondi* (2018 р.), *Harri* (2018 р.), *Khryzolit* (2018 р.), *SNIM 18* (2018 р.), *Serpanok* (2020 р.), належать до зеленого типу. Сорти, занесені до реєстру у 2018–2019 рр., у виробництві практично відсутні [20].

*Lens culinaris* Medik. є унікальною культурою тому, що шляхом біологічної азотфіксації поліпшує родючість ґрунту, не поглинає з нього шкідливі токсичні речовини, у результаті є екологічно безпечним продуктом. Нині вважають, що популярність сочевиці обмежується браком технологій вирощування. Ефективним засобом підвищення продуктивності бобових культур, сочевиці зокрема, є використання

в технології вирощування екологічно безпечних препаратів і отримання органічної продукції, оскільки масштаби органічного сільського господарства з року в рік у світі зростають швидкими темпами.

Мета роботи – дослідити вплив передпосівної обробки насіння регуляторами росту рослин (далі – РРР) природного походження Регоплант і Стимпо на ростові процеси, формування симбіотичних систем на коренях і продуктивність рослин сочевиці харчової.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Польові досліді проводили на території агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка (далі – ТНПУ) на важкосуглинковому чорноземі типовому з дуже високим вмістом обмінного калію, низьким вмістом легкогідролізованого азоту, сірки, кобальту та цинку, середньою забезпеченістю гумусом, фосфором, марганцем, близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину тощо (табл. 1).

Технологія вирощування сочевиці загальноприйнята для Лісостепу України (норма висіву – 1,8 млн насінин на 1 га, ширина міжрядь – 22 см, глибина сівби – 4–6 см, строк – друга декада квітня). Сочевицю висівали у 8-пільній польовій сівозміні після кукурудзи на зерно без використання добрив. Система догляду культури передбачала лише агротехнічні заходи, без використання хімічних засобів захисту.

Таблиця 1

### Агрохімічні показники ґрунту агробіолабораторії ТНПУ

Агрохімічний показник	Результат аналізу	Забезпеченість
кислотність: обмінна <i>pH</i> сол.	5,6	бл. до нейтральної
гідролітична, мг-екв./100 г	2,16	бл. до нейтральної
сума ввібраних основ, мг-екв./100 г	19,0	підвищена
вміст в орному шарі гумусу, %	2,63	середня
легкогідролізований азот, мг/кг	102	низька
рухомий фосфор, мг/кг	71	середня
обмінний калій, мг/кг	189	дуже висока
S, мг/кг	2,60	дуже низька
B, мг/кг	0,69	висока
Mn, мг/кг	9,34	середня
Co, мг/кг	0,09	низька
Cu, мг/кг	0,25	підвищена
Zn, мг/кг	1,05	низька
Cd, мг/кг	0,06	не перевищує ГДК
Pb, мг/кг	1,01	не перевищує ГДК

Насіння перед сівбою зволожували водою з розрахунку 2% від його маси (контроль) і РРР Регоплант (25 мл/л) і Стимпо (2,5 мл/л), які виробляються в міжвідомчому науково-технологічному центрі (далі – МНТЦ) «Агробіотех» за ТУ У 24.2-31168762-006 – Регоплант і ТУ У 24.2-31168762-005 – Стимпо. В основу

препаратів покладено взаємодоповнюючу дію препаратів Радостим (у Регопланті) та Біолан (у Стимпо), які отримують із культури гриба-мікроміцета з кореневої системи женьшеню й аверсектина – продукту життєдіяльності бактерій *Streptomyces avermetilis*. Препарати містять збалансовану композицію біологічно активних речовин – аналогів фітогормонів (цитокінінів, ауксинів), амінокислот, жирних кислот, вуглеводів (глюкоза, рибоза, галактоза, олігосахариди), хітозану та мікроелементів, а також біозахисних сполук – аверсектинів [21].

Розміщення варіантів одноярусне послідовне із 4-разовим повторенням і загальною обліковою площею 4 м<sup>2</sup>. Упродовж вегетації досліджували ростові процеси сочевиці середньостиглого сорту Лінза. Облік корневих бульбочок проводили методом рамкового виймання ґрунту (метод моноліту). Величину та структуру врожаю культури визначали у фазу повної стиглості методом пробних майданчиків [22]. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою комп'ютерної програми *Microsoft Excel*.

## РЕЗУЛЬТАТИ

У фазу бутонізації висота стебла рослин за передпосівної обробки насіння РРР Регоплант і Стимпо зросла на 10,1 і 19,6% порівняно з контролем. Під час цвітіння та фази зеленого бобу виявлено аналогічну закономірність. Висота дослідних рослин порівняно з контрольними в зазначених вище фазах була на 16,7 і 27,6 та 10,8 і 21,1% більшою.

Таблиця 2

**Висота стебла рослин сочевиці сорту Лінза за дії регуляторів росту рослин Регоплант і Стимпо,  $M \pm m$ ,  $n = 40$**

Варіант	Фаза росту і розвитку		
	бутонізація	цвітіння	зелений біб
контроль	19,9 ± 1,3	24,5 ± 1,2	43,7 ± 2,2
Регоплант	21,9 ± 1,2	28,6 ± 1,6*	48,4 ± 2,1
Стимпо	23,8 ± 1,4*	31,3 ± 1,4*	52,9 ± 2,5*

Примітка: \* –  $p < 0,05$  різниця вірогідна порівняно з контролем.

Стимулювання бобово-ризобіальних відносин комплексом біологічно активних речовин (далі – БАР) відбувається не тільки під час сумісного застосування їх із бактеризацією, а й під час формування симбіозу на основі місцевих популяцій бульбочкових бактерій [23].

Установлено, що РРР Регоплант і Стимпо також впливали на формування симбіотичних систем на коренях сочевиці на тлі спонтанної інокуляції місцевими расами бульбочкових бактерій (табл. 3). РРР достовірно збільшували кількість і масу сирих бульбочок на коренях рослин на 27,5 і 29,6 (Регоплант) та 47,3 і 50,5% (Стимпо). Виявлено тенденцію до збільшення маси однієї бульбочки. Ефективнішим РРР за показниками формування симбіотичних систем на коренях сочевиці у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України виявився Стимпо.

БАР є чинниками, що впливають на формування та функціонування системи «ґрунт – мікроорганізми – рослина», їх доцільно враховувати під час розробки та впровадження нових підходів до керування продукційним процесом бобових культур [23]. Показано,



Таблиця 3

**Бобово-ризобіальна система рослин сочевиці сорту Лінза за дії регуляторів росту рослин Регоплант і Стимпо у фазу цвітіння,  $M \pm m$ ,  $n = 40$**

Показник	Контроль	Регоплант	Стимпо
кількість бульбочок, шт./рослину	9,1 ± 0,6	11,6 ± 0,4*	13,4 ± 0,5*
<i>відсоток до контролю</i>	100,0	127,5	147,3
маса сирих бульбочок, мг/рослину	155,8 ± 8,7	201,8 ± 9,4*	234,5 ± 9,3*
<i>відсоток до контролю</i>	100,0	129,6	150,5
маса 1 сиріої бульбочки, мг	17,1 ± 0,8	17,4 ± 0,5	17,5 ± 0,9
<i>відсоток до контролю</i>	100,0	101,8	102,3

Примітка: \* –  $p < 0,05$  різниця вірогідна порівняно з контролем.

що РРР Стимпо за вирощування сочевиці у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України істотно збільшив урожайність насіння культури (на 18,2%). Виявлено стимулювальний вплив на насіннєву продуктивність сочевиці і РРР Регоплант (табл. 4). Біологічно активні речовини сприяли також формуванню крупнішого насіння порівняно з контролем на 3,4 (Регоплант) і 5,9% (Стимпо).

Отже, за вирощування сочевиці харчової сорту Лінза у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України за передпосівної обробки насіння РРР Регоплант і Стимпо виявлено стимулювальний вплив зазначених препаратів на ростові процеси стебла, формування симбіотичних систем на коренях рослин і насіннєву продуктивність перспективної бобової культури.

Таблиця 4

**Урожайність сочевиці сорту Лінза за дії регуляторів росту рослин Регоплант і Стимпо,  $M \pm m$ ,  $n = 40$**

Варіант	Урожайність		Маса 1 000 насінин, г
	т/га	%	
контроль	1,32	100,0	59,1 ± 0,8
Регоплант	1,44	109,1	61,1 ± 0,6
Стимпо	1,56	118,2	62,6 ± 0,7*
$HIP_{0,05}$	0,14		

Нині активно досліджуються біологічні процеси в рослинах сочевиці за дії мікробних препаратів і регуляторів росту рослин природного походження. Найбільшу висоту стебла сочевиці виявлено у фазу утворення бобів за передпосівної обробки насіння сумішшю мікробіологічного препарату з РРР та позакореневого внесення в посівах РРР. Висота рослин зазначеного варіанту перевищила контроль на 19%, цей комплекс позитивно вплинув і на формування симбіотичного апарату й урожайність [24–26]. Показано, що в кінці онтогенезу рослини сочевиці мали найвищі показники висоти за густоти 3,0 млн/га: за природного водозабезпечення – 36,3, зрошення – 43,3 см [18]. За нашими даними, висота рослин у контрольному варіанті була 43,7 см.

Наші дослідження підтвердили, що рослини у фазі зеленого бобу були на 10,8 та 21,1% вищими порівняно з контролем за передпосівної обробки насіння РРР Регоплант і Стимпо. Застосування РРР стимулює ростові процеси сочевиці, що вказує на підвищення рівня метаболізму в рослинах під впливом компонентів РРР.

БАР PPP сприяли формуванню симбіотичних систем на коренях сочевиці на тлі спонтанної інокуляції місцевими расами бульбочкових бактерій, що поліпшило азотне живлення рослин, вплинуло на активність апікальних меристем і насінневу продуктивність рослин.

За даними В.І. Січкара, виявлено помітне збільшення середньої врожайності насіння сочевиці з 8,7 ц/га у 2000 р. до 10,4–11,7 ц/га у 2014–2018 рр. [17]. За нашими даними, за передпосівної обробки насіння PPP Регоплант і Стимпо насіннева продуктивність сочевиці в умовах Західного Лісостепу України становила 14,4 і 15,6 ц/га. Варто зауважити, що на продуктивність рослин впливає цілий комплекс умов: вирощування сорту, який добре пристосований до місцевості, кліматичні умови та технологія вирощування.

## ВИСНОВКИ

Встановлено збільшення висоти рослин за передпосівної обробки насіння *Lens culinaris* Medik. сорту Лінза PPP Регоплант і Стимпо впродовж вегетації рослин до максимального піку у фазі зеленого бобу. Показано, що симбіотична система на коренях рослин сочевиці у фазі цвітіння за впливу PPP на тлі спонтанної інокуляції місцевими популяціями бульбочкових бактерій була потужнішою. Відзначено зростання зернової продуктивності за передпосівної обробки насіння PPP Регоплант на 9,1%, PPP Стимпо – 18,2% відносно до контролю. Одержані дані вказують на доцільність і перспективність використання PPP з біозахисними функціями для оптимізації симбіотичної азотфіксації та продуктивності сочевиці харчової, як додаткових елементів технології вирощування культури.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Anjali Yadav, Arvind M. Kayastha. *Lens culinaris*  $\beta$ -galactosidase (Lsbgal): Insights into its purification, biochemical characterization and trisaccharides synthesis. *Bioorganic Chemistry*. 2020. № 95. P. 103. DOI: 10.1016/j.bioorg.2019.103543.
2. Mircea Oroian. The temperature hydration kinetics of *Lens culinaris*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2017. № 16 (3). P. 250–256. DOI: 10.1016/j.jssas.2015.08.004.
3. Isolation of antioxidant phytoconstituents from the seeds of *Lens culinaris* Medik. / Mohammad Jameel et al. *Food Chemistry*. 2015. № 175. P. 358–365. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.130.
4. Can lentil (*Lens culinaris* Medikus) reduce the risk of obesity / Niroshan Siva et al. *Journal of functional foods*. 2017. № 38. P. 706–715. DOI: 10.1016/j.jff.2017.02.017.
5. Effect of herbicide stress on synchronization of carbon and nitrogen metabolism in lentil (*Lens culinaris* Medik.) / Shivani Satvir Kaur Grewal et al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2023. № 196. P. 402–414. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106438>.
6. Comparative effects of caffeine and lead nitrate on the bio-physiological and yield associated traits of lentil (*Lens culinaris* Medik.) / Janib Yousuf et al. *Heliyon*. 2023. № 9 (6). P. 16351. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16351>.
7. Nutritional, chemical and antioxidant evaluation of Armuña lentil (*Lens culinaris* spp): Influence of season and soil / Ángela Liberal et al. *Food Chemistry*. 2023. № 411. P. 13549. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135491>.

8. Kripi Vohraa, Vivek Kumar Gupta. Pharmacognostic evaluation of *Lens culinaris* Medikus seeds. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2012. № 2. P. 1221–1226. DOI: 10.1016/S2221-1691(12)60389-X.
9. Лавренко С.О., Максимов М.В. Фотосинтетичний потенціал посівів сочевиці залежно від технологічних прийомів вирощування. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2016. № 89. С. 185–191.
10. Sarker A., Singh M. Improving breeding efficiency through application of appropriate experimental designs and analysis models: A case of lentil (*Lens culinaris* Medikus subsp. *culinaris*) yield trials. *Field Crops Research*. 2015. № 179. P. 26–34. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.04.007.
11. Use of iso-osmotic solution to understand salt stress responses in lentil (*Lens culinaris* Medik.) / M.S. Hossain et al. *South African Journal of Botany*. 2017. № 113. P. 346–354. DOI: 10.1016/j.sajb.2017.09.007.
12. The roles and potential of lentil prebiotic carbohydrates in human and plant health / Nathan Johnson et al. *Plants, People, Planet*. 2020. № 2. P. 310–319. DOI: 10.1002/ppp3.10103.
13. Reprint of “Bioaccessibility, in vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of phenolics in cooked green lentil (*Lens culinaris*)” / Bing Zhang et al. *Journal of Functional Foods*. 2017. № 38. P. 698–705. DOI: 10.1016/j.jff.2017.03.040.
14. Chemopreventive effect of raw and cooked lentils (*Lens culinaris* L.) and soybeans (*Glycine max*) against azoxymethane-induced aberrant crypt foci / Mo’ez Al-Islam E. et al. *Nutrition Research*. 2009. № 29 (5) P. 355–362. DOI: 10.1016/j.nutres.2009.05.005.
15. Mo’ez Al-Islam E. Faris, Mohammad G. Mohammad, Sameh Soliman Lentils (*Lens culinaris* L.) a candidate chemopreventive and antitumor functional food. *Functional Foods in Cancer Prevention and Therapy*. 2020. № 6. P. 99–120. DOI: 10.1016/B978-0-12-816151-7.00006-5.
16. The clinical utility of *Lens culinaris* agglutinin-reactive thyroglobulin ratio in serum for distinguishing benign from malignant conditions of the thyroid / K. Shimizu et al. *Clinica Chimica Acta*. 2007. № 379 (1–2). P. 101–104. DOI: 10.1016/j.cca.2006.12.017.
17. Сочевиця у світі та Україні: сучасний стан і перспективи / В. Січкара та ін. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2020. № 16. С. 178–193. DOI: 10.37555/2707-3114.16.2020.219830.
18. Максимов М.В. Удосконалення технології вирощування сочевиці за різних умов зволоження : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.02. Херсон, 2016. 206 с.
19. Сочевиця – джерело рослинного білка / В.Д. Орехівський та ін. *Зернові продукти і комбікорми*. 2017. Т. 17. № 4. С. 22–29.
20. A feature collection of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by nutritious value of seeds / N.A. Vus et al. *Plant Breeding and Seed Production*. 2020. № 117. P. 25–36. DOI: 10.30835/2413-7510.2020.206962.
21. Регулятори росту рослин. Рекомендації по застосуванню / Л.А. Анішин та ін. Київ : МНТЦ «Агробіотех», 2011. 54 с.
22. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунту / З.М. Грицаєнко та ін. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
23. New plant growth regulators: basic research and technologies of application : monograph / Ed. S.P. Ponomarenko, H.O. Iutynska. Kyiv : Nichlava, 2010. 211 p.
24. Формування симбіотичного апарату сочевиці за дії біологічних препаратів / В.П. Карпенко та ін. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2018. № 2. С. 39–44. DOI: 10.31395/2310-0478-2018-21-39-43.
25. Вміст пігментів у листках сочевиці за дії біологічних препаратів / В.П. Карпенко та ін. *Наукові горизонти*. 2019. № 7. С. 41–47. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-80-7-41-47.
26. Новікова Т.П. Фотосинтетична продуктивність рослин сочевиці за дії біологічних препаратів. *Наукові горизонти*. 2019. № 10 (83). С. 28–34. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-83-10-28-34.

## REFERENCES

1. Anjali Yadav, Arvind M. Kayastha (2020). Lens culinaris  $\beta$ -galactosidase (Lsbgal): Insights into its purification, biochemical characterization and trisaccharides synthesis. *Bioorganic Chemistry*, 95, 103. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.103543>.
2. Mircea Oroian (2017). The temperature hydration kinetics of Lens culinaris. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16 (3), 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.08.004>.
3. Mohammad Jameel, Abuzer Ali, Mohammed Ali (2015). Isolation of antioxidant phytoconstituents from the seeds of Lens culinaris Medik. *Food Chemistry*, 175, 358–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.130>.
4. Nirosan Siva, Dil Thavarajah, Casey R. Johnson, Susan Duckett (2017). Can lentil (*Lens culinaris Medikus*) reduce the risk of obesity. *Journal of functional foods*, 38, 706–715. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.02.017>.
5. Shivani Satvir Kaur Grewal, Ranjit Kaur Gill, Harpreet Kaur Virk, Rachana D. Bhardwaj (2023). Effect of herbicide stress on synchronization of carbon and nitrogen metabolism in lentil (*Lens culinaris Medik.*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 402–414. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106438>.
6. Janib Yousuf, Aamir Raina, Shiekh Rasik, Zubair Altaf Reshi, Durre Shahwar (2023). Comparative effects of caffeine and lead nitrate on the bio-physiological and yield associated traits of lentil (*Lens culinaris Medik.*). *Heliyon*, 9 (6), e16351. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16351>.
7. Ângela Liberal, Daiana Almeida, Ângela Fernandes, Carla Pereira, Isabel C.F.R. Ferreira, Ana Maria Vivar-Quintana, Lillian Barros (2023). Nutritional, chemical and antioxidant evaluation of Armuña lentil (*Lens culinaris spp.*). *Influence of season and soil. Food Chemistry*, 411, 15, 13549. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135491>.
8. Kripi Vohraa, Vivek Kumar Gupta (2012). Pharmacognostic evaluation of Lens culinaris Medikus seeds. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2, 1221–1226. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60389-X](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60389-X).
9. Lavrenko S.O., Maksymov M.V. (2016). Fotosyntetychnyi potentsial posiviv sochevytsi zalezno vid tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia [Photosynthetic potential of lentil crops depending on technological methods of cultivation]. *Zbirnyk naukovykh prats UNUS*. 89: 185–191 [in Ukrainian].
10. Sarker A., Singh M. (2015). Improving breeding efficiency through application of appropriate experimental designs and analysis models: A case of lentil (*Lens culinaris Medikus* subsp. *culinaris*) yield trials. *Field Crops Research*, 179, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.007>.
11. Hossain M.S., Alam M.U., Rahman A., Mirza Hasanuzzaman, K. Nahar, J. Al Mahmud, M. Fujita (2017). Use of iso-osmotic solution to understand salt stress responses in lentil (*Lens culinaris Medik.*). *South African Journal of Botany*, 113, 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.09.007>.
12. Nathan Johnson, Casey R. Johnson, Pushparajah Thavarajah, Shiv Kumar (2020). The roles and potential of lentil prebiotic carbohydrates in human and plant health. *Plants, People, Planet*, 2, 310–319. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10103>.
13. Bing Zhang, Zeyuan Deng, Yao Tang, Peter X Chen (2017). Reprint of “Bioaccessibility, in vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of phenolics in cooked green lentil (*Lens culinaris*)”. *Journal of Functional Foods*, 38, 698–705. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.040>.
14. Mo'ez Al-Islam E., Hamed R. Takruri, Maha S. Shomaf, Yasser Bustanji Chemopreventive effect of raw and cooked lentils (*Lens culinaris* L) and soybeans (*Glycine max*) against azoxymethane-induced aberrant crypt foci (2009). *Nutrition Research*, 29 (5), 355–362. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.05.005>.

15. Mo'ez Al-Islam E. Faris, Mohammad G. Mohammad, Sameh Soliman (2020). Lentils (*Lens culinaris* L.): A candidate chemopreventive and antitumor functional food. *Functional Foods in Cancer Prevention and Therapy*, 6, 99–120. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816151-7.00006-5>.
16. Shimizu K., Nakamura K., Kobatake S., Satomura S., Maruyama M. Kameko F., Tajiri J., Kato R. (2007). The clinical utility of *Lens culinaris* agglutinin-reactive thyroglobulin ratio in serum for distinguishing benign from malignant conditions of the thyroid. *Clinica Chimica Acta*, 379 (1–2), 101–104. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2006.12.017> [in English].
17. Sichkar V.I., Kryvenko A.I., Solomonov R.V. (2020). Sochevytsia u sviti ta Ukraini: suchasnyi stan i perspektyvy [Lentils in the world and Ukraine: current state and prospects]. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 16, 178–193. <https://doi: 10.37555/2707-3114.16.2020.219830> [in Ukrainian].
18. Maksymov M.V. (2016). Udoshkonalennia tekhnolohii vyroshchuvannia sochevytsi za riznykh umov zvolozhennia [Improvement of the technology of growing lentils under different moisture conditions] : dys. ... kand. s.-h. nauk : spets. 06.01.02 / Derzhavnyi vyshchyi navchalnyi zaklad Khersonskiy derzhavnyi ahraryni universytet. Kherson, 2016, 206 [in Ukrainian].
19. Orekhivskiy V.D., Sichkar V.I., Ovsianynkova L.K., Solomonov R.V. (2017). Sochevytsia – dzherelo roslynnoho bilka [Lentils are a source of vegetable protein]. *Zernovi produkty i kombikormy*, 17 (4), 22–29 [in Ukrainian].
20. Vus N.A., Bezuglaya O.N., Kobyzeva L.N. Bozhko, T.N., Vasilenko, A.A., Shelyakina, T.A. (2020). A feature collection of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by nutritious value of seeds. *Plant Breeding and Seed Production*, 117, 25–36. <https://doi: 10.30835/2413-7510.2020.206962> [in English].
21. Anishyn L.A., Ponomarenko S.P., Hrytsaienko Z.M. (2011). Rehulatory rostu roslyn. Rekomendatsii po zastosuvanniu [Plant growth regulators. Recommendations for use]. K. : MNNTs, Ahrobiotekh. 54 [in Ukrainian].
22. Hrytsaienko Z.M., Hrytsaienko A.O., Karpenko V.P. (2003). Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i gruntu [Methods of biological and agrochemical research of plants and soil]. K. : ZAT Nichlava. 320 [in Ukrainian].
23. Ponomarenko S.P., Iutynska H.O. (2010). New plant growth regulators: basic research and technologies of application. Monograph. K.: Nichlava. 211 [in English].
24. Karpenko V.P., Novikova T.P., Prytuliak R.M. (2018). Formuvannia symbiotychnoho aparatu sochevytsi za dii biolohichnykh preparativ [Formation of the symbiotic apparatus of lentils under the action of biological preparations]. *Visnyk UNUS*. 2: 39–44. <https://doi:10.31395/2310-0478-2018-21-39-43> [in Ukrainian].
25. Karpenko V.P., Novikova T.P., Prytuliak R.M., Hnatiuk M.H. (2019). Vmist pihmentiv u lystkakh sochevytsi za dii biolohichnykh preparativ [The content of pigments in lentil leaves under the influence of biological preparations]. *Scientific Horizons*, 7 (80), 41–47. <https://doi: 10.33249/2663-2144-2019-80-7-41-47> [in Ukrainian].
26. Novikova T.P. (2019). Fotosyntetychna produktyvnist posiviv sochevytsi za dii biolohichnykh preparativ [Photosynthetic productivity of lentil plants under the influence of biological preparations]. *Scientific Horizons*. 10 (83), 28–34. <https://doi: 10.33249/2663-2144-2019-83-10-28-34> [in Ukrainian].

## ABSTRACT

### EFFICIENCY OF USING BIOPREPARATIONS IN GROWING LENS CULINARIS MEDIKUS

The purpose of the study was to evaluate the effectiveness of presowing treatment of *Lens Culinaris* Medikus seeds of the Linza variety with plant growth regulators, Regoplant and Stympo, based on plant growth parameters, formation of symbiotic systems on the roots, and seed yield. A field experiment was conducted on the territory of the agrobiolaboratory of Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University from 2019 to 2022. Plants were grown using a common technology for the Forest-Steppe region of Ukraine. The seeds were moistened with water at a rate of 2% of their mass before sowing (control) and with plant growth regulators Regoplant (25 ml/l) and Stympo (2,5 ml/l). The variants were arranged in a single-row sequence with four replications and an accounting area of 4 m<sup>2</sup>. Data underwent descriptive and correlation ( $P \leq 0,05$ ) analysis. It was established that the use of plant growth regulators stimulated growth processes and increased the seed productivity of plants. The plant growth regulator Stympo was more effective, increasing the height of shoots during the budding, flowering, and green pod phases by 19,6, 27,6, and 21,1% compared to the control. Additionally, it increased the quantity and weight of fresh nodules on the roots of plants by 47,3 and 50,5% during the flowering phase, and by 5,9 and 18,2% in terms of the weight of 1 000 seeds and seed yield. Therefore, plant growth regulators Regoplant and Stympo at the specified doses can be effectively used in the technology of growing food lentils in the Western Forest-Steppe of Ukraine to increase its productivity.

**Key words:** food lentil, plant growth regulators, growth, symbiotic system, yield.

УДК 635.21:631.527

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.2.9>

*Ольга Федорівна Литвин,*

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри технологій у рослинництві  
Львівський національний університет природокористування, Україна  
orcid.org/0000-0003-3966-9222, e-mail: lytvyn.olha@gmail.com

*Іван Франкович Дудар,*

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри тваринництва і кормовиробництва  
Львівський національний університет природокористування, Україна  
orcid.org/0000-0002-4467-9946, e-mail: dudar\_ivan@i.ua

*Оксана Миколаївна Лупак,*

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін,  
географії та екології  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
orcid.org/0000-0002-1969-8643, e-mail: oksana\_lupak@ukr.net

*Микола Петрович Шпек,*

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та хімії  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
orcid.org/0000-0001-5042-0482, e-mail: shpek.mp@gmail.com

## **ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК УРОЖАЙНОСТІ, КРОХМАЛИСТОСТІ ТА ВМІСТУ НІТРАТІВ У БУЛЬБАХ МІЖСОРТОВИХ ГІБРИДІВ КАРТОПЛІ**

**Анотація.** Дослідження з вивчення взаємозв'язку врожайності, крохмалистості та вмісту нітратів у бульбах міжсорткових гібридів картоплі проводили з гібридами, отриманими від поєднання таких сортів, як Полонина, Мавка, Слава Апта, Сож, Нароч, Гранола та два гібриди (361-80, 315-84), створені з участю сорту Карпатська.

У результаті аналізу кореляційної залежності між урожаєм і вмістом крохмалю в бульбах нащадків різних комбінацій нами спостерігались коливання залежності від слабкої додатної ( $r \pm S_r = 0,222 \pm 0,150$ ) до середньої від'ємної ( $-0,526 \pm 0,110$ ), з  $t_r$  рівним відповідно 0,18 і 4,78.

У селекції на понижений вміст нітратів у бульбах картоплі потрібно звертати увагу на поєднання цього показника з іншими господарськи цінними ознаками. Зокрема, такими основними показниками є висока врожайність і підвищений вміст крохмалю в бульбах картоплі.

У результаті аналізу встановлено, що кореляційна залежність між вмістом крохмалю та вмістом нітратів у бульбах гібридів картоплі коливається від середньої додатної ( $+0,581 \pm 0,152$ ) із  $t_r = 3,40$  (361-80 x Нароч) до середньої від'ємної ( $-0,460 \pm 0,158$ ) із  $t_r = 2,21$  (Полонина x Гранола).

У реципрокних схрещуваннях кореляційна залежність між вмістом крохмалю та вмістом нітратів у бульбах нащадків неоднакова і коливається від середньої додатної

(+0,581 ± 0,152) (361-80 x Нароч) до слабкої від'ємної (-0,181 ± 0,177) (Нароч x 361-80). Це свідчить про нерівноцінність прямих і зворотних схрещувань.

Кореляційна залежність між урожайністю та вмістом нітратів у бульбах коливалася від слабкої додатної до середньої від'ємної.

Отже, з наведених даних випливає, що чіткої кореляційної залежності між ознаками врожайності, вмісту крохмалю та нагромадженням нітратних сполук у бульбах не виявлено, а успадкування цих ознак нащадками відбувається незалежно, тобто проявлення цих ознак контролюється різними генами. Тому існує реальна можливість поєднати в одному генотипі високу врожайність, підвищений вміст крохмалю в бульбах із низьким нагромадженням нітратних сполук.

Ключові слова: картопля, міжсортові гібриди, схрещування, кореляційна залежність, вміст нітратів.

## ВСТУП

У всіх напрямках селекційної роботи на перше місце завжди ставиться створення нового, більш урожайного, з добрими якісними показниками сорту картоплі.

Дотепер серед дослідників нема єдиної думки щодо поєднання успадкування високої врожайності та підвищеного вмісту крохмалю в бульбах нащадків картоплі. Так, учені M.S. Swaminathan, H.M. Howarof, H. Wenk, J. Zadina, J. Suxta визначили від'ємний кореляційний зв'язок між вмістом крохмалю в бульбах і врожайністю.

R.Z Plaisted і H. Ross також вважають, що в одному гібриді тяжко поєднати високу врожайність і крохмалистість бульб.

Однак більшість дослідників показують незалежний характер успадкування врожайності та крохмалистості бульб. У проведених ними дослідженнях кореляційна залежність згаданих ознак коливалася від слабкої додатної до слабкої від'ємної. Це вказує на те, що ці ознаки успадковуються незалежно, у нащадків можна поєднати високу крохмалистість із високою врожайністю [3–5].

Для визначення якості картоплі потрібно проводити аналіз бульб на безпечність продукції для харчування. Це пов'язано з тим, що, окрім основних органічних сполук, бульби можуть містити низку небажаних сполук, найчастіше техногенного походження. Одними з них є нітрати та нітри.

Спостереження показують, що в Україні середній вміст нітратів у бульбах картоплі за останні роки значно збільшився, це пов'язано передусім зі зростанням норм азотних добрив, які вносяться, а також їхньою незбалансованістю з іншими формами мінеральних добрив [6; 8].

За здатністю нагромаджувати нітрати овочі, плоди та ягоди поділяють на чотири групи. Картоплю відносять до першої групи, гранично допустима норма нітратів у бульбах картоплі – 250 мг/кг [8].

На думку H. Kolbe [9], від загальної кількості нітратів, які споживає людина із продуктами харчування, до 24% потрапляє в організм з картоплею, а G. Simek [10] цю цифру збільшує до 38,7%.

У селекції на понижений вміст нітратів у бульбах картоплі потрібно звертати увагу на поєднання цього показника з іншими господарськи цінними ознаками. Зокрема, такими основними показниками є висока врожайність і підвищений вміст крохмалю в бульбах картоплі.



## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження проводили на дослідному полі кафедри технологій у рослинництві Львівського національного університету природокористування, розташованого в м. Дубляни Львівського району Львівської області. Ця територія належить до зони Західного Лісостепу, яка характеризується помірно вологим кліматом. Дослідні ділянки розміщувалися після озимої пшениці на темно-сірому опідзоленому середньосуглинковому ґрунті.

З метою вивчення комбінаційної здатності сортів і гібридів картоплі нами обрано батьківські форми, які відрізняються за врожайністю, елементами структури врожайності, якісними показниками, стійкістю до хвороб та іншими ознаками.

У гірських умовах Карпат були виявлені ендемічні форми картоплі, стійкі до фітофторозу. Від самозапилення ендемічної форми картоплі був створений унікальний, високопродуктивний, з високим вмістом крохмалю, стійкий до фітофторозу сорт, який під назвою «Карпатський» широко використовується в ролі «донора» комплексу господарськи цінних ознак [1; 2].

У дослідженнях ми використали три сорти (Полонина, Мавка, Слава) і два гібриди (361-80, 315-84), створені з участю сорту Карпатська, та сорти Апта, Сож, Нароч, Гранола, створені без його участі.

Були проведені схрещування, де сорти Сож, Нароч і Гранола використовувалися як батьківські і, частково, як материнські форми з іншими сортами та гібридами картоплі.

Гібриди вегетативного покоління вирощували в селекційному розсаднику на однорядних ділянках по три бульби кожного сіянця із площею живлення  $70 \times 35$  см. Усі дослідження проводили за загальноприйнятою методикою.

Вміст крохмалю визначали за питоною масою. Розрахунки проводили за формулою Б.П. Назаренка (1959 р.). Вміст нітратів у бульбах визначали із застосуванням іоноселективного електрода за методом Самохвалова (1984 р.). Математичну обробку даних проводили методами варіаційної статистики (В.Г. Вольф, 1966 р.; Б.А. Доспехов, 1985 р.; П.Ф. Рокіцкий, 1978 р.; В.А. Ушкаренко, А.Я. Скрипніков, 1988 р.; К. Мазер, Дж. Джинкс, 1985 р.) з використанням персонального комп'ютера.

З метою вивчення можливостей поєднання високого вмісту крохмалю в бульбах і високої врожайності зі здатністю рослин не нагромаджувати нітратних сполук вище гранично допустимого рівня нами визначено коефіцієнт кореляції між цими ознаками.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Можливість поєднання високої врожайності з високою крохмалистістю бульб вивчали на гібридах вегетативного розмноження.

Під час аналізу кореляційної залежності між урожаєм і вмістом крохмалю в бульбах нащадків різних комбінацій (табл. 1) спостерігали коливання кореляції від слабкої додатної ( $r + S_r = 0,222 \pm 0,150$ ) до середньої від'ємної ( $-0,526 \pm 0,110$ ) за  $t_r = 0,18-4,78$ .

У першій групі схрещувань із сортом Сож слабка додатна кореляція спостерігалась у двох комбінацій – Сож х Полонина та 315-84 х Сож, коефіцієнт кореляції становив відповідно  $+0,222 \pm 0,150$  та  $+0,028 \pm 0,114$  за  $t_r = 1,48$  та  $0,25$ .

У всіх інших комбінацій цієї групи спостерігалась слабка від'ємна кореляційна залежність між урожайністю та вмістом крохмалю в бульбах нащадків. Коефіцієнт

кореляції коливався від  $-0,309 \pm 0,109$  (Карпатська х Сож) до  $-0,128 \pm 0,104$  (Слава х Сож),  $t_r$  відповідно 2,83 та 1,23.

У другій групі схрещувань із сортом Нароч слабка додатна кореляційна залежність між урожаєм і вмістом крохмалю в бульбах нащадків спостерігалася в комбінаціях Нароч х 315-84, Мавка х Нароч і Слава х Нароч, де коефіцієнт кореляції відповідно становив  $+0,162 \pm 0,135$  за  $t_r = 1,20$ ,  $+0,138 \pm 0,137$  за  $t_r = 1,01$ ,  $+0,014 \pm 0,116$  за  $t_r = 0,12$ . У двох комбінаціях цієї групи схрещувань спостерігалася середня від'ємна кореляційна залежність між цими ознаками. Коефіцієнт кореляції становив  $-0,489 \pm 0,114$  (Нароч х Слава) за  $t_r = 4,29$ ,  $-0,850 \pm 0,098$  (Карпатська х Нароч) за  $t_r = 3,57$ . У всіх інших комбінаціях спостерігалася слабка від'ємна кореляційна залежність між урожаєм і вмістом крохмалю в бульбах.

Під час порівняння кореляційної залежності між урожаєм і вмістом крохмалю в бульбах нащадків у реципрокних схрещуваннях потрібно відзначити, що вона виявилась неоднаковою та може колитися від слабкої додатної до середньої від'ємної (Слава х Нароч та Нароч х Слава).

Таблиця 1

**Кореляційна залежність між урожаєм і вмістом крохмалю в бульбах вегетативних нащадків картоплі**

№ комбінації	Комбінація Схрещування	$r \pm S_r$	$t_r$
9	Апта х Сож	$-0,191 \pm 0,142$	1,35
1	Карпатська х Сож	$-0,309 \pm 0,109$	2,83
11	Мавка х Сож	$-0,192 \pm 0,117$	1,64
2	315-84 х Сож	$+0,028 \pm 0,114$	0,25
5	361-80 х Сож	$-0,176 \pm 0,116$	1,52
4	Слава х Сож	$-0,128 \pm 0,104$	1,23
3	Полонина х Сож	$-0,293 \pm 0,128$	2,29
10	Сож х Полонина	$+0,222 \pm 0,150$	1,48
17	Апта х Нароч	$-0,239 \pm 0,133$	1,80
6	Карпатська х Нароч	$-0,350 \pm 0,098$	3,57
22	Мавка х Нароч	$+0,138 \pm 0,137$	1,01
25	361-80 х Нароч	$-0,217 \pm 0,118$	1,84
7	Слава х Нароч	$+0,014 \pm 0,116$	0,12
20	Полонина х Нароч	$-0,307 \pm 0,168$	1,86
23	Нароч х 361-80	$-0,125 \pm 0,122$	1,02
18	Нароч х Слава	$-0,489 \pm 0,114$	4,29
19	Нароч х Полонина	$-0,026 \pm 0,144$	0,18
16	Нароч х 315-84	$+0,162 \pm 0,135$	1,20
26	Апта х Гранола	$+0,056 \pm 0,148$	0,38
32	361-80 х Гранола	$-0,526 \pm 0,110$	4,78
27	Слава х Гранола	$-0,118 \pm 0,147$	0,80
30	Полонина х Гранола	$-0,146 \pm 0,115$	1,27
29	Гранола х Полонина	$-0,116 \pm 0,118$	0,98
31	Гранола х Карпатська	$-0,118 \pm 0,144$	0,78

Це свідчить про неоднакову частоту формування у прямих і зворотних схрещуваннях високоврожайних нащадків з високим вмістом крохмалю в бульбах.

У третій групі схрещувань із сортом Гранола в нащадків, одержаних схрещуванням сортів Апта х Гранола, спостерігалася слабка додатна кореляційна залежність між урожаєм і вмістом крохмалю в бульбах ( $r + S_r = +0,056 \pm 0,148$  за  $t_r = 0,38$ ). А в гібридів, одержаних поєднанням 361-80 х Гранола – середня від’ємна ( $r \pm S_r = -0,526 \pm 0,110$  за  $t_r = 4,78$ ). У всіх інших комбінаціях цієї групи схрещувань спостерігалася слабка від’ємна кореляційна залежність між цими ознаками.

Отже, кореляційна залежність між урожайністю і вмістом крохмалю в бульбах різних комбінацій картоплі проявляється неоднаково, що зумовлюється генотипом батьківських форм й їхньою комбінаційною здатністю.

Відсутність стійкої кореляційної залежності між урожайністю та вмістом крохмалю в бульбах нащадків вказує на те, що ці ознаки успадковуються незалежно. У зв’язку з цим є можливість поєднати високу врожайність з високою крохмалистістю бульб.

Вивчення закономірності поєднання високої врожайності з високим вмістом крохмалю в бульбах має велике значення у практичній селекційній роботі.

У першій групі схрещувань із сортом Сож (табл. 2) слабка додатна кореляційна залежність між ознаками вмісту крохмалю та нагромадження нітратів у бульбах гібридних нащадків спостерігалась у сянців, одержаних поєднанням сортів Слава х Сож і 361-80 х Сож. Коефіцієнт кореляції в цих комбінаціях становив  $+0,253 \pm 0,174$  і  $+0,040 \pm 0,169$ , за  $t$  відповідно 1,45 і 0,24. У всіх інших комбінацій цієї групи схрещування спостерігалася слабка від’ємна кореляційна залежність. Коефіцієнт кореляції в них коливався від  $-0,012 \pm 0,199$  (Сож х Полонина) до  $-0,263 \pm 0,173$  (Мавка х Сож), з  $t$  0,06 та 1,52 відповідно.

У другій групі схрещувань із сортом Нароч середня додатна кореляційна залежність між вмістом крохмалю та вмістом нітратів у бульбах спостерігалась у сянців комбінації 361-80 х Нароч. Коефіцієнт кореляції тут становив  $+0,581 \pm 0,152$  з  $t$  рівним 3,40. Слабка додатна кореляційна залежність спостерігалася також у сянців, одержаних поєднанням сортів Нароч х Полонина ( $+0,107 \pm 0,184$  з  $t = 0,58$ ).

Таблиця 2

**Кореляційна залежність між вмістом крохмалю та нагромадженням нітратів у бульбах вегетативних нащадків картоплі**

№ комбінації	Комбінація Схрещування	$r \pm S_r$	$t_r$
9	Апта х Сож	$-0,252 \pm 0,187$	1,35
1	Карпатська х Сож	$-0,185 \pm 0,179$	1,03
11	Мавка х Сож	$-0,263 \pm 0,173$	1,52
2	315-84 х Сож	$-0,105 \pm 0,183$	0,57
5	361-80 х Сож	$+0,040 \pm 0,163$	0,24
4	Слава х Сож	$+0,253 \pm 0,174$	1,45
3	Полонина х Сож	$-0,152 \pm 0,181$	0,84
10	Сож х Полонина	$-0,012 \pm 0,199$	0,06
17	Апта х Нароч	$-0,024 \pm 0,186$	0,19
6	Карпатська х Нароч	$-0,169 \pm 0,177$	0,95
22	Мавка х Нароч	$-0,218 \pm 0,173$	1,26

25	361-80 x Нароч	+0,581 ± 0,152	3,40
7	Слава x Нароч	-0,006 ± 0,186	0,03
20	Полонина x Нароч	-0,298 ± 0,169	1,76
23	Нароч x 361-80	-0,181 ± 0,177	1,02
18	Нароч x Слава	-0,075 ± 0,198	0,38
19	Нароч x Полонина	+0,107 ± 0,184	0,58
16	Нароч x 315-84	-0,211 ± 0,177	1,19
26	Апта x Гранола	-0,079 ± 0,198	0,40
32	361-80 x Гранола	+0,055 ± 0,182	0,30
27	Слава x Гранола	-0,400 ± 0,156	2,56
30	Полонина x Гранола	-0,460 ± 0,158	2,21
29	Гранола x Полонина	+0,004 ± 0,199	0,02
31	Гранола x Карпатська	+0,247 ± 0,174	1,42

У всіх інших комбінацій спостерігалася слабка від'ємна кореляційна залежність. Коефіцієнт кореляції коливався від  $-0,006 \pm 0,186$  (Слава x Нароч) до  $-0,298 \pm 0,169$  (Полонина x Нароч).

У третій групі схрещувань із сортом Гранола слабка додатна кореляційна залежність спостерігалась у гібридів, отриманих поєднаннями сортів Слава x Гранола, 361-80 x Гранола та Гранола x Карпатська. Коефіцієнт кореляції тут відповідно становив  $+0,004 \pm 0,158$ ,  $+0,055 \pm 0,182$  та  $+0,247 \pm 0,174$  з  $t = 0,02$ ,  $0,30$  та  $1,46$ . У сіянцих комбінації Апта x Гранола спостерігалася слабка від'ємна кореляційна залежність ( $-0,079 \pm 0,198$ , із  $t_r = 0,40$ ). У двох інших комбінацій цієї групи схрещувань проявляється середня від'ємна кореляційна залежність, тобто коефіцієнти кореляції  $-0,400 \pm 0,156$  із  $t_r = 2,56$  (Слава x Гранола) та  $-0,460 \pm 0,158$  із  $t_r = 2,21$  (Полонина x Гранола).

Результати досліджень показали, що чіткої залежності між вмістом крохмалю та вмістом нітратів у бульбах гібридів не виявлено. Це свідчить про незалежне успадкування цих ознак, тобто вони контролюються незалежними генами. Отже, є можливість поєднати в одному генотипі високий вміст крохмалю в бульбах із здатністю не нагромаджувати нітратні сполуки вище гранично допустимого рівня.

У результаті проведеного аналізу кореляційної залежності між урожайністю та вмістом нітратів у бульбах (табл. 3) можна відзначити, що в першій групі схрещувань із сортом Сож у всіх поєднаннях спостерігалася від'ємна кореляційна залежність від слабкої до середньої. Коефіцієнт кореляції коливався від  $-0,042 \pm 0,185$  (Полонина x Сож) до  $-0,346 \pm 0,161$  (Карпатська x Сож), з  $t_r 0,23$  і  $2,15$  відповідно. Винятком була лише комбінація Сож x Полонина. Тут спостерігалася слабка додатна кореляційна залежність, коефіцієнт кореляції становив  $+0,075 \pm 0,199$  з  $t_r = 0,38$ .

У другій групі схрещувань із сортом Нароч слабка додатна кореляційна залежність спостерігається у двох поєднаннях Полонина x Нароч ( $+0,024 \pm 0,18$  із  $t_r = 0,13$ ) та 361-80 x Нароч ( $+0,066 \pm 0,185$  із  $t_r = 0,36$ ). У всіх інших комбінаціях цієї групи схрещувань спостерігається слабка від'ємна кореляційна залежність.

Коефіцієнт кореляції коливається від  $-0,024 \pm 0,189$  (Полонина x Нароч) до  $-0,294 \pm 0,182$  (Нароч x Слава).

У третій групі схрещувань із сортом Гранола в усіх поєднаннях, за винятком одного, спостерігається слабка додатна кореляційна залежність. Вона змінюється залежно від

**Кореляційна залежність між урожайністю та вмістом нітратних сполук  
у бульбах вегетативних нащадків картоплі**

№ комбінації	Комбінація Схрещування	$r \pm Sr$	$t_r$
9	Апта х Сож	$-0,161 \pm 0,199$	0,81
1	Карпатська х Сож	$-0,346 \pm 0,161$	2,15
11	Мавка х Сож	$-0,181 \pm 0,186$	0,97
2	315-84 х Сож	$-0,048 \pm 0,185$	0,26
5	361-80 х Сож	$-0,118 \pm 0,167$	0,74
4	Слава х Сож	$-0,340 \pm 0,164$	2,07
3	Полонина х Сож	$-0,042 \pm 0,185$	0,23
10	Сож х Полонина	$+0,075 \pm 0,199$	0,38
17	Апта х Нароч	$-0,095 \pm 0,184$	0,52
6	Карпатська х Нароч	$-0,160 \pm 0,178$	0,90
22	Мавка х Нароч	$-0,308 \pm 0,165$	1,87
25	361-80 х Нароч	$+0,066 \pm 0,185$	0,36
7	Слава х Нароч	$-0,074 \pm 0,185$	0,40
20	Полонина х Нароч	$+0,024 \pm 0,189$	0,13
23	Нароч х 361-80	$-0,039 \pm 0,182$	0,21
18	Нароч х Слава	$-0,294 \pm 0,182$	1,62
19	Нароч х Полонина	$-0,129 \pm 0,189$	0,68
16	Нароч х 315-84	$-0,094 \pm 0,187$	0,50
26	Апта х Гранола	$+0,161 \pm 0,195$	0,83
32	361-80 х Гранола	$+0,099 \pm 0,187$	0,50
27	Слава х Гранола	$+0,159 \pm 0,184$	0,86
30	Полонина х Гранола	$-0,260 \pm 0,186$	1,40
29	Гранола х Полонина	$+0,264 \pm 0,186$	1,42
31	Гранола х Карпатська	$+0,244 \pm 0,175$	1,39

комбінації схрещування від  $+0,099 \pm 0,187$  із  $t_r = 0,50$  (361-80 х Гранола) до  $+0,264 \pm 0,186$  із  $t_r = 1,42$  (Гранола х Полонина). А в сіянців, отриманих поєднанням сортів Полонина х Гранола, спостерігається слабка від'ємна кореляційна залежність. Коефіцієнт кореляції в гібридів цієї комбінації становив  $-0,260 \pm 0,186$  із  $t_r = 1,40$ .

З наведених вище даних видно, що чіткої кореляційної залежності між вмістом нітратів у бульбах і врожайністю картоплі не визначено. Успадкування цих ознак гібридними нащадками відбувається незалежно, отже, є можливість поєднати в одному генотипі високу врожайність бульб із низьким вмістом нітратних сполук у них.

### ВИСНОВКИ

Успадкування ознак урожайності, вмісту крохмалю в бульбах і нагромадження нітратів відбувається незалежно одне від одного, тобто проявлення цих ознак контролюється різними генами. Тому існує реальна можливість поєднати в одному генотипі високу врожайність, підвищений вміст крохмалю в бульбах і здатність не нагромаджувати нітратні сполуки вище гранично допустимого рівня.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Продуктивність селекційного матеріалу картоплі, створено за участі в генеалогічній сукупності сорту Карпатський / В. Влох та ін. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. Серія «Агрономія». 2018. № 22 (1). С.101–106.
2. Селекція картоплі як напрям одержання екологічно безпечних продуктів харчування / В. Влох та ін. *Promoting healthy lifestyle. Human health: realities and prospects : monographic series. Volume 1. Drohobych : Posvit, 2016. P. 31–37.*
3. Формування трансгресивних форм у вегетативних нащадків картоплі залежно від фону мінерального живлення / В. Влох та ін. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. Серія «Агрономія». 2015. № 19. С 138–143.
4. Кореляційний зв'язок урожайності з елементами її структури у гібридів картоплі залежно від рівня мінерального живлення / І. Дудар та ін. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. Серія «Агрономія». 2019. № 23. Т. 1. С. 53–57. URL: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.053>.
5. Кореляційний зв'язок між вмістом крохмалю і урожайністю та масою однієї бульби у гібридів картоплі залежно від рівня мінерального живлення / І. Дудар та ін. *Problems and achievements of modern science coll. of scientific papers “ΛΟΓΟΣ” with materials of the International scientific-practical conf., Cork, May 6, 2019. Cork : NGO “European Scientific Platform”, 2019. V. 5. P. 74–77.*
6. Литвин О., Шпек М. Нагромадження нітратів в бульбах міжсортових гібридів картоплі залежно від біологічних особливостей батьківських форм. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова*. 2013. Серія № 20 «Біологія». Вип. 5. С. 68–74.
7. Крохмалистість бульб гібридних нащадків та її взаємозв'язок із врожайністю залежно від батьківських компонентів / О. Литвин та ін. *Вісник Сумського національного університету*. Серія «Агрономія і біологія». 2002. Вип. 6. С. 42–45.
8. Шкода нітратів в продуктах – чим вони небезпечні для людини? / Головне управління Держпродспоживслужби в Чернівецькій області. URL: <https://consumer-cv.gov.ua/blog/2018/04/23/shkoda-nitrativ-v-produktah-chym-vony-nebezpechni-dlya-lyudyny/>.
9. Kolbe H. Untersuchungen zuz Bedeutung des Nitrat-gehaltes in Kartoffelknollen. *Kartoffelbau*. 1987. Bd. 38. № 3. P. 105–109.
10. Simek J. Nove formy uprav trznich a konzumnich brambor. *Uroda*. 1986. V. 34. № 10. P. 458–459.
11. Zadina J. Moznosti vybery krizencu brambor podle počtu a velikosti hliz. *Genet. a slecht*. 1972. S. 189–194.

## REFERENCES

1. Vlokh, V., Dudar, I., Lytvyn, O., Bomba, M. (2018). Produktivnist selektyvnoho materialu kartopli, stvoreno za uchasti v heneolohichnii sukupnosti sortu Karpatskyi [The productivity of selective material of potatoes, made by cooperation with genealogical assembly of Karpatskyi cv.]. *Visnyk LNAU. Serii: Ahronomiia – Herald of LNAU. Series: Agronomy*. № 22 (1). Lviv. P. 101–106 [in Ukrainian].
2. Vlokh, V., Dudar, I., Lytvyn, O., Bomba, M., Dudar, O. (2016). Seleksiia kartopli yak napriam oderzhannia ekolohichno bezpechnykh produktiv kharchuvannia [Selection of potato as an approach of obtaining environmentally friendly food]. *Promoting healthy lifestyle. Human health: realities and prospects : monographic series. Volume 1. Drohobych : Posvit. P. 31–37* [in Ukrainian].
3. Vlokh, V., Dudar, I., Lytvyn, O., Bomba, M. (2015). Formuvannia transhresyvykh form u vehetatyvnykh nashchadkiv kartopli zalezchno vid fonu mineralnoho zhyvlennia [The for-

- mation of transgressive forms in vegetative offspring of potato depending on the background of mineral nutrition]. *Visnyk LNAU. Serii: Ahronomiia – Herald of LNAU. Series: Agronomy*. № 19. Lviv. P 138–143 [in Ukrainian].
4. Dudar, I., Vlokh, V., Lytvyn, O., Bomba, M., Dudar, O. (2019). Koreliatsiynyi zviazok urozhaynosti z elementamy yii struktury u hibrydiv kartopli zalezchno vid rivnia mineralnoho zhyvleniia [Correlative connection of yielding capacity with elements of its structure in hybrids of potato depending on the level of mineral nutrition]. *Visnyk LNAU. Serii: Ahronomiia – Herald of LNAU. Series: Agronomy*. № 23. V. 1. Lviv, 2019. P. 53–57. URL: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.053> [in Ukrainian].
  5. Dudar, I.F., Lytvyn, O.F., Bomba, M.I., Dudar, O.O. (2019). Koreliatsiynyi zviazok mizh vmistom krokhmaliiu i urozhainistiu ta masoiu odniieii bulby u hibrydiv kartopli zalezchno vid rivnia mineralnoho zhyvleniia [Correlative connection between the content of starch, yielding capacity and mass of one tuber in potato hybrids depending on the level of mineral nutrition]. Problems and achievements of modern science coll. of scientific papers “ΑΟΓΟΣ” with materials of the International scientific-practical conf., Cork, May 6, 2019. Cork : NGO “European Scientific Platform”. V. 5. P. 74–77 [in Ukrainian].
  6. Lytvyn, O.F., Shpek, M.P. (2013). Nahromadzennia nitrativ v bulbakh mizhsortovykh hibrydiv kartopli zalezchno vid biolohichnykh osoblyvosti batkivskykh form [Accumulation of nitrates in tubers of intervarietal hybrids of potato depending on the biological characteristics of paternal forms]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M.P. Drahomanova*. Serii № 20. Biolohiia – *Scientific periodical of National M.P. Drahomanov Pedagogical University*. Series № 20. Biology. Issue 5. P. 68–74 [in Ukrainian].
  7. Lytvyn, O.F., Dobrovolskyi, R.S., Dudar, I.F. (2002). Krokhmalystist bulb hibrydnykh nashchadkiv ta yii vzayemozviazok iz vrozhainistiu zalezchno vid batkivskykh komponentiv [Starchiness of tubers of hybrid offspring and its interconnection with yielding capacity depending on the paternal components]. *Visnyk Sumskoho Natsionalnoho Universytetu. Naukovo-metodychnyi zhurnal. Ahronomiia i biolohiia – Herald of Sumy National University. Scientific and methodical journal. Agronomy and biology*. Iss. 6. Sumy. P. 42–45 [in Ukrainian].
  8. Shkoda nitrativ v produktakh – chym vony nebezpechni dlia liudyny? Holovne upravlinnia derzhprodsposhyvsluzhby v Chernivetskii oblasti [The harm of nitrates in products - how are they dangerous for humans? The head office of the State Production and Consumer Service in Chernivtsi region]. URL: <https://consumer-cv.gov.ua/blog/2018/04/23/shkoda-nitrativ-v-produktah-chym-vony-nebezpechni-dlya-lyudyny/> [in Ukrainian].
  9. Kolbe, H. (1987). Untersuchungen zur Bedeutung des Nitrat-gehaltes in Kartoffelknollen. *Kartoffelbau*. Bd. 38. № 3. P. 105–109 [in English].
  10. Simek, J. (1986). Nove formy uprav trznich a konzumnich brambor. *Uroda*. V. 34. № 10. P. 458–459 [in English].
  11. Zadina, J. (1972). Moznosti vybery krizencu brambor podle poctu a velikosti hliz. *Genet. a slecht*. P. 189–194 [in English].

## ABSTRACT

### CORRELATION BETWEEN YIELDING CAPACITY, STARCHINESS AND CONTENT OF NITRATES IN TUBERS OF INTERVARIETAL HYBRIDS OF POTATO

The exploration on the study of correlation between yielding capacity, starchiness and content of nitrates in tubers of intervarietal hybrids of potato carried out with hybrids obtained from combination such varieties as Polonyna, Mavka, Slava Apta, Sozh, Naroch, Hranola and two hybrids (361-80, 315-84), made with the help of Karpatska cv.

As a result of the analysis of correlative dependence between the yield and content of starch in the tubers of offspring of different combinations we were noticing the fluctuation of dependence from weak positive ( $r \pm S_r = 0,222 \pm 0,150$ ) to the average negative ( $-0,526 \pm 0,110$ ) with  $t_r$  equal respectively 0,18 and 4,78.

In selection on the reduced content of nitrates in the tubers of potato one should pay attention to the combination of this index with other agriculturally valuable features. Particularly, those principal features are high yield capacity and increased content of starch in the tubers of potato.

In the consequences of the analysis we have established that correlative dependence between content of starch and nitrates in the tubers of potato hybrids fluctuates from the average positive  $+0,581 \pm 0,152$  with  $t_r = 3,40$  (361-80 x Naroch) to the average negative  $-0,460 \pm 0,158$  with  $t_r = 2,21$  (Polonyna x Hranola).

In reciprocal hybridization correlative dependence between content of starch and nitrates in the tubers of offspring is not equal and fluctuates from the average positive  $+0,581 \pm 0,152$  (361-80 x Naroch) to the weak negative  $-0,181 \pm 0,177$  (Naroch x 361-80). This affirms about non-equivalence of direct and reverse hybridizations.

Correlative dependence between yielding capacity and content of nitrates in the tubers fluctuated from weak positive to the average negative.

Hence, as a result from the data above, there is no distinct correlative dependence between the features of yielding capacity, content of starch and accumulation of nitrates in the tubers, and the inheritance of these features by the offspring occurs independently, that is different genes control the development of these ones. That is why there is a real possibility to combine in one genotype high yielding capacity, increased content of starch in the tubers with low accumulation of nitrates.

**Key words:** potato, intervarietal hybrids, hybridization, correlative dependence, content of nitrates.



*Ірина Юрїївна Борецька,*

аспірантка кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0002-6140-3191, e-mail: ira.boretska2017@gmail.com

*Ольга Іванівна Романюк,*

кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділення  
фізико-хімії горючих копалин

Інститут фізико-органічної хімії і вуглекімії імені Л.М. Литвиненка

Національної академії наук України, Україна

orcid.org/0000-0002-6249-2683, e-mail: romaniuk@ua.fm

*Джура Наталія Миронівна,*

кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0001-9170-6014, e-mail: nataliya.dzhura@lnu.edu.ua

## ВИКОРИСТАННЯ ГУМАТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР НА НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

**Анотація.** У час воєнного сьогодення важливими є дослідження ефективності фітореMediaції ґрунту з використанням енергетичних культур. Одним із найперспективніших агентів фітореMediaції є гумати, які можуть покращувати адаптаційні властивості рослин у стресових умовах.

Мета роботи – встановити оптимальні концентрації розчинів гуматів (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс) для передпосівної обробки насіння енергетичних рослин для підвищення їхньої стресостійкості й урожайності з подальшим використанням у комплексному підході фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів з отриманням енергетичної біомаси.

Відібрано енергетичні рослини, стійкі до нафтового забруднення та придатні для виробництва як рідкого, так і твердого біопалива. Серед досліджених культур – буркун лікарський (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), ріжій посівний (*Camelina sativa*), сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.), овес посівний (*Avena sativa* L.), просо лозоподібне (switchgrass (*Panicum virgatum* L.)), жито посівне (*Secale cereale*). Визначено оптимальні концентрації водних розчинів гуматів (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс) для передпосівної обробки насіння цих рослин. Показано залежності початкових ростових параметрів енергетичних культур від концентрацій розчинів гуматів 0,1–0,4 г/л.

Встановлено, що *M. officinalis*, *S. Saccharatum*, *A. sativa*, *P. virgatum*, *C. sativa* та *S. cereale* за впливу фульвіталу на нафтозабрудненому ґрунті проявляють видоспецифічні властивості. Фульвітал Плюс за концентрації 0,1–0,4 г/л переважно не покращує ростові показники рослин, винятком є *Avena sativa*, у якого спостерігали незначне збільшення висоти пагона за концентрації фульвіталу 0,4 г/л.

Гуміфілд Форте за концентрації 0,1–0,2 г/л стимулює ріст пагонів *A. sativa* та *P. virgatum* в умовах нафтозабрудненого ґрунту, але зменшує ріст коріння цих рослин. Неоднозначну реакцію спостерігали і для *Sorghum saccharatum*. Найкращі результати досягнуті за використання Гуміфілду Форте в концентраціях 0,1–0,2 г/л для передпосівної обробки насіння *M. officinalis* та *S. cereale*.

Така передпосівна обробка Гуміфілдом Форте в кількості 0,1–0,2 г/л є оптимальною для підвищення стресостійкості й урожайності *Melilotus officinalis* і *Secale cereale* за комплексного підходу фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів з отриманням енергетичної біомаси.

**Ключові слова:** нафтозабруднені ґрунти, енергетичні рослини, гумати (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс).

## ВСТУП

В Україні в екологічному масштабі існують дві основні проблеми: постійне збільшення площ забруднених земель і пошук альтернативних джерел енергії. У цьому напрямі перспективними є дослідження фітотерапії ґрунту за використання енергетичних культур. Створення комплексної методології відновлення земель України, порушених унаслідок воєнних дій і забруднених паливно-мастильними матеріалами, нафтопродуктами, та розроблення технологій відновлення ґрунтів за участі енергетичних культур є актуальним завданням сьогодення [1; 9].

Однак успішне проведення фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів є непростим завданням через гідрофобність і високу токсичність нафти, значне порушення водоповітряного балансу та співвідношення основних мікроелементів Карбону та Нітрогену у ґрунті, що робить неможливим зростання більшості рослин [2; 11]. Перспективним у цьому плані є використання у фітореMediaційних технологіях різноманітних агентів реMediaції, зокрема гуматів, для підвищення адаптаційних властивостей рослин [3–8; 11].

Гумінові добрива природного походження здатні підвищувати стійкість рослин до різних несприятливих чинників зовнішнього середовища [8; 11] (заморозки, засухи, дії пестицидів), відновлювати родючість ґрунту, підвищувати врожайність культур, покращувати харчову цінність продукції та її екологічну чистоту [5], знижувати витрати на отримання врожаю, підвищуючи рентабельність сільськогосподарського виробництва [4; 7; 11].

Вплив гуматів на рослини має складний багатоступінчастий характер і охоплює весь період вегетації рослин. З гуміновими речовинами (азотовмісні високомолекулярні оксикарбонові кислоти) у рослину надходять елементи мінерального живлення: Нітроген, Фосфор, Калій, Кальцій, Сульфур, багато мікроелементів, а також амінокислоти та вітаміни. Відомо, що гумінові препарати стимулюють ріст і розвиток рослин і покращують якість рослинної продукції завдяки збільшенню вмісту хлорофілу, продуктивності фотосинтезу та транспірації, підвищенню синтезу білків і вуглеводів [6–8; 11].

Гуміфілд і фульвітал є поліфункціональними препаратами з біозахисними властивостями, що забезпечують активний ріст і розвиток культури, формування високого та якісного врожаю, підвищують стресостійкість рослин до несприятливих умов довкілля [8; 11].

Використання гуматів у фітореMediaційних технологіях забруднених ґрунтів є перспективним для підвищення адаптаційних властивостей рослин, отже, показників ефективності реMediaції.

Актуальним для дослідження залишається практично не вивчене питання впливу гуматів на ефективність вирощування енергетичних культур на нафтозабруднених ґрунтах. Саме тому метою роботи було встановлення оптимальної концентрації

розчинів гуматів (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс) для передпосівної обробки насіння енергетичних рослин для підвищення їхньої стресостійкості й урожайності з подальшим використанням у комплексному підході фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів з отриманням енергетичної біомаси.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Важливим етапом у розробці фітореMediaційних технологій є підбір найбільш придатних рослин. Проаналізовано енергетичні культури, стійкі до різних видів забруднення, які можуть бути використані для виробництва як рідкого, так і твердого біопалива [9]. Серед досліджених культур – буркун лікарський (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), ріжій посівний (*Camelina sativa*), сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.), овес посівний (*Avena sativa* L.), просо лозоподібне (switchgrass (*Panicum virgatum* L.)), жито посівне (*Secale cereale*).

Установлювали оптимальні концентрації гуматів (Гуміфілд Форте та Фульвітал Плюс) для передпосівної обробки насіння цих енергетичних рослин. Перед висіванням у ґрунт насіння замочували у водних розчинах гуматів за концентрації 0,1; 0,2; 0,4 г/л протягом 24 годин. Дослідження проводили як на умовно чистому ґрунті (контроль), так і на забрудненому 5% нафти. У дослідях використовували нафту Бориславського родовища, густиною 0,86 г/мл.

У лабораторних умовах вивчали залежність початкових ростових параметрів енергетичних рослин від концентрацій розчинів гуматів. Проби ґрунту поміщали в чашки Петрі в кількості 20 г і зволожували водою (до вологості 33,3%). Насіння рослин, попередньо оброблене гуматами, розкладали в чашки Петрі та ставили в термостат за температури +24 °С для пророщування. Через 3 доби визначали схожість насіння, а через 5 діб – морфометричні показники проростків енергетичних культур (довжину коренів і висоту пагонів).

Серії дослідів проводили не менше ніж у трикратній повторності, за кількості об'єктів вимірювання не менше ніж 60 для кожної концентрації. Статистичну обробку даних здійснено за критерієм Стьюдента з достовірністю  $\geq 0,95$  ( $P < 0,05$ ).

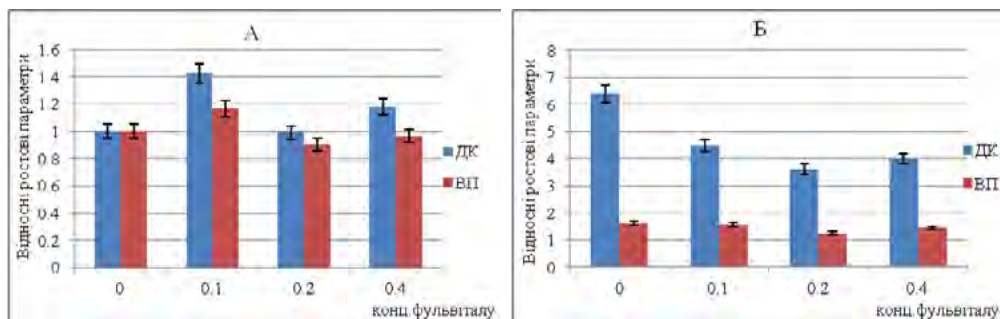
## РЕЗУЛЬТАТИ

Безпосередній вплив нафти на рослинний покрив проявляється в тому, що сповільнюється ріст рослин, порушуються функції фотосинтезу та дихання, з'являються різні морфологічні зміни, страждають коренева система, листки, стебла та репродуктивні органи [9].

Шкідливий екологічний вплив смолянисто-асфальтенових компонентів на ґрунтові екосистеми зумовлений не стільки хімічною токсичністю, скільки порушенням водно-повітряного балансу, зменшенням вологоємності ґрунту, блокуванням доступності мінеральних речовин унаслідок гідрофобізації поверхні ґрунтових частинок важкими фракціями вуглеводнів, пригнічення біологічних процесів. Якщо нафта просочується згори, її смолянисто-асфальтенові компоненти сорбуються у верхньому гумусовому горизонті, міцно цементують його [10–12]. Зрозуміло, що за таких умов зростання більшості рослин є утрудненим. Одним із шляхів покращення адаптаційних властивостей фітореMediaнтів є використання гумінових добрив природного походження, які позитивно впливають на ріст і розвиток рослин.

Ми апробували водні розчини Фульвіталу Плюс і Гуміфілду Форте за концентрації 0,1; 0,2; 0,4 г/л для передпосівної обробки насіння фіторемедантів – *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Camelina sativa*, *Sorghum saccharatum* (L.) Pers., *Avena sativa* L., switchgrass (*Panicum virgatum* L.), *Secale cereale*.

З'ясовано, що за вирощування *Melilotus officinalis* на незабрудненому ґрунті фульвітал стимулює ріст кореня на 40% та висоту пагона на 16% за концентрації 0,1 г/л (рис. 1).



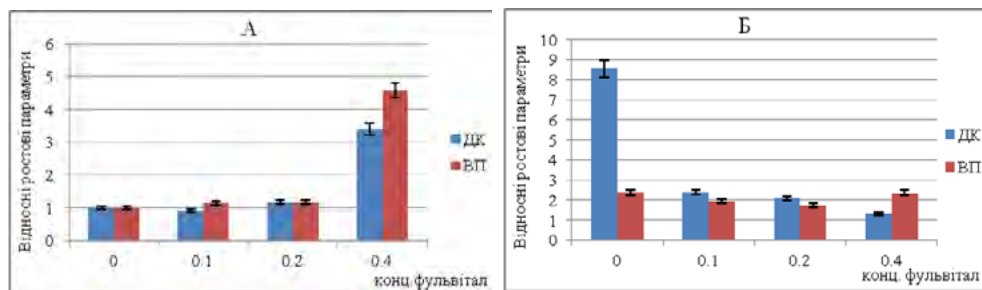
**Рис. 1.** Вплив фульвіталу на ростові показники *Melilotus officinalis* L., %.  
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

За концентрації фульвіталу 0,4 г/л відбувається збільшення довжини кореня на 17%, але зменшення висоти пагона на 5%. За концентрації 0,2 г/л спостерігається зменшення висоти пагона на 10%, а довжина кореня залишається на рівні з контролем.

Водночас за вирощування буркуну на нафтозабрудненому ґрунті за концентрації фульвіталу 0,2–0,4 г/л не відбувається стимуляції росту рослини, навпаки, спостерігається зменшення ростових параметрів як кореня, так і пагона (рис. 1-Б).

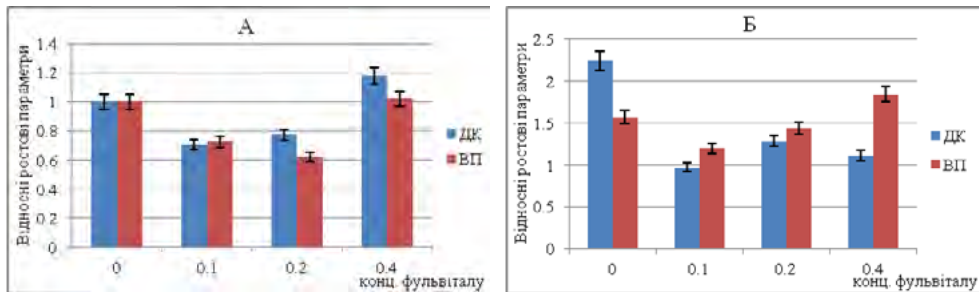
Подібну тенденцію спостерігали і для сорго цукрового (рис. 2-Б): за концентрації фульвіталу 0,2–0,4 г/л не відбувається стимуляції росту кореня та пагона на нафтозабрудненому ґрунті.

Під час вирощування *Sorghum saccharatum* на умовно чистому ґрунті фульвітал за концентрації 0,4 г/л стимулював ріст кореня на 240%, а висоту пагона на 350%. За концентрації гумату 0,1–0,2 г/л його дія була практично не помітною (рис. 2-А).



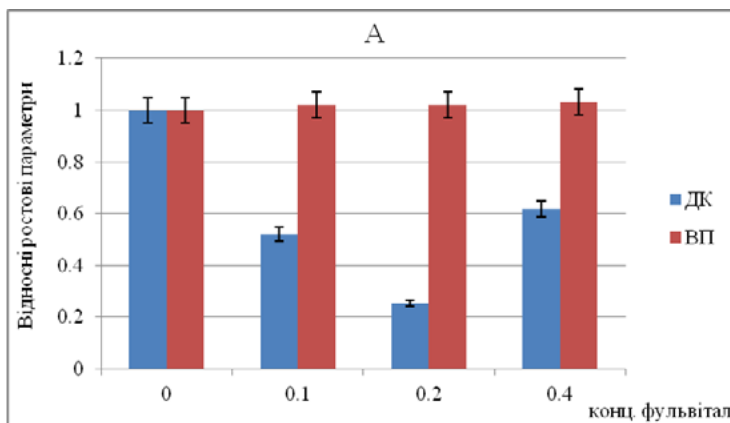
**Рис. 2.** Вплив фульвіталу на ростові показники *Sorghum saccharatum*, %.  
А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)

Виявлено, що для *Avena sativa* в незабрудненому ґрунті фульвітал за концентрації 0,4 г/л стимулював ріст кореня на 18% та висоту пагона на 2%. За концентрації фульвіталу 0,1–0,2 г/л спостерігали зменшення ростових параметрів як кореня, так і пагона. У разі пророщування вівса посівного на нафтозабрудненому ґрунті за впливу фульвіталу 0,4 г/л відносна висота пагона дещо збільшувалася (на 4%), тоді як довжина кореня зменшувалась. Тобто застосування фульвіталу не дало позитивного ефекту під час пророщування вівса посівного на нафтозабрудненому ґрунті (рис. 3).



**Рис. 3. Вплив фульвіталу на ростові показники *Avena sativa*, %.**  
**А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)**

Показано, що за вирощування рижію посівного в незабрудненому ґрунті за концентрації фульвіталу 0,1–0,4 г/л висота пагона в усіх варіантах була на рівні з контролем, а довжина кореня знижувалась (рис. 4). Під час вирощування фіторемедіанта на нафтозабрудненому ґрунті рижій не проростав, а застосування фульвіталу не стимулювало ріст рослин.



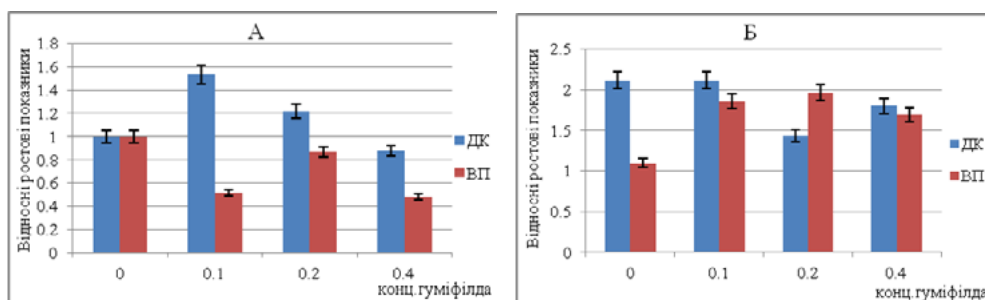
**Рис. 4. Вплив фульвіталу на ростові показники *Camelina sativa* за умов росту на незабрудненому ґрунті (контроль)**

Отже, досліджувані фіторемедіанти *Melilotus officinalis*, *Sorghum saccharatum*, *Avena sativa*, *Panicum virgatum*, *Camelina sativa* за впливу фульвіталу на нафтозабрудненому ґрунті проявляють видоспецифічні властивості. На нафтозабрудненому ґрунті за

впливу фульвіталу концентрації 0,1–0,4 г/л ростові показники цих рослин переважно не змінювались, за винятком вівса посівного, де спостерігали незначне збільшення висоти пагона за концентрації фульвіталу 0,4 г/л.

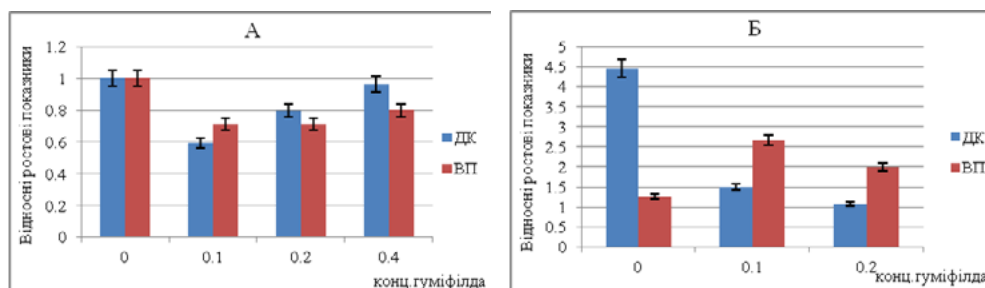
Аналогічні дослідження проведено з Гуміфілдом Форте. На умовно чистому ґрунті за впливу Гуміфілду Форте 0,1 г/л (передпосівна обробка насіння) у буркуну лікарського спостерігали збільшення довжини кореня на 50% та зменшення висоти пагона на 50% (рис. 5-А). За концентрації гумату 0,2 г/л довжина кореня збільшувалась на 22%, а висота пагона зменшувалась на 18%. За концентрації Гуміфілду Форте 0,4 г/л відбувалося зменшення ростових параметрів як кореня, так і пагона.

Під час вирощування фіторемедіанту на нафтозабрудненому ґрунті гуміфілд у концентраціях 0,1, 0,2 та 0,4 г/л стимулював висоту пагона буркуну на 85, 96 і 69% відповідно, а довжина кореня за концентрації гумату 0,1 г/л залишається на рівні з контролем. За концентрації 0,2 та 0,4 г/л гуміфілду довжина кореня буркуну зменшувалась (рис. 5-Б).



**Рис. 5. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Melilotus officinalis*, %.**  
**А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)**

Отже, найкращі ростові показники в буркуну лікарського досягаються в разі використання Гуміфілду Форте в концентрації 0,1–0,2 г/л для передпосівної обробки насіння.



**Рис. 6. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Panicum virgatum*, %.**  
**А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)**

На нафтозабрудненому ґрунті довжина кореня проса лозоподібного (*Panicum virgatum* L.) за концентрації Гуміфілду Форте 0,1 та 0,2 г/л зменшилась відповідно на 296 і 339% (рис. 6-Б). Висота ж пагона була більшою на 140 і 74% відповідно (рис. 6-Б). За концентрації 0,4 г/л просо лозоподібне не проросло.

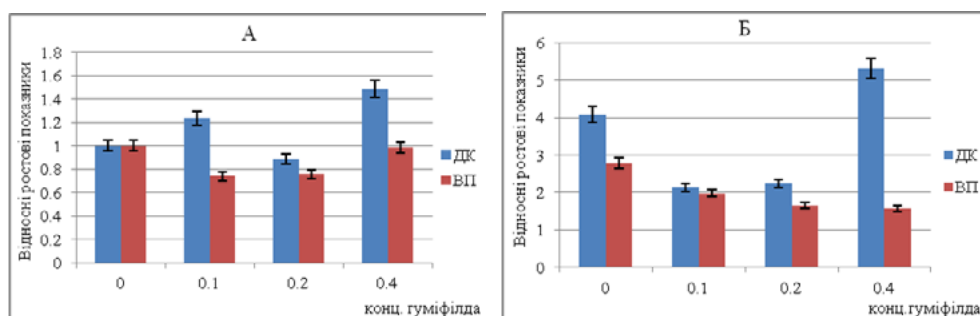
На умовно чистому ґрунті (рис. 6-А) за концентрації Гуміфілду Форте 0,1, 0,2 і 0,4 г/л довжина кореня проса зменшилась на 41, 21 і 4% відповідно; зменшилась також висота пагона на 29, 29 і 20% відповідно.

Отже, використання Гуміфілду Форте для передпосівної обробки насіння проса лозоподібного не дало бажаного ефекту.

Під час вирощування сорго цукрового в незабрудненому ґрунті за впливу Гуміфілду Форте спостерігали стимулювання росту кореня за концентрації 0,1 та 0,4 г/л на 23 та 48%, але водночас знижувалась висота пагона на 27 і 2%. У разі концентрації 0,2 г/л ростові параметри рослин зменшувались.

Під час вирощування сорго на нафтозабрудненому ґрунті за впливу гуміфілду спостерігали стимулювання росту кореня за концентрації 0,4 г/л на 123%, але висота пагона знижувалась на 121%. За концентрацій 0,1 і 0,2 г/л також спостерігали зниження ростових параметрів сорго цукрового.

Отже, за високої концентрації (0,4 г/л) Гуміфілд Форте виявляє стимулюючу дію на ріст кореня сорго цукрового (рис. 7-А, 7-Б).



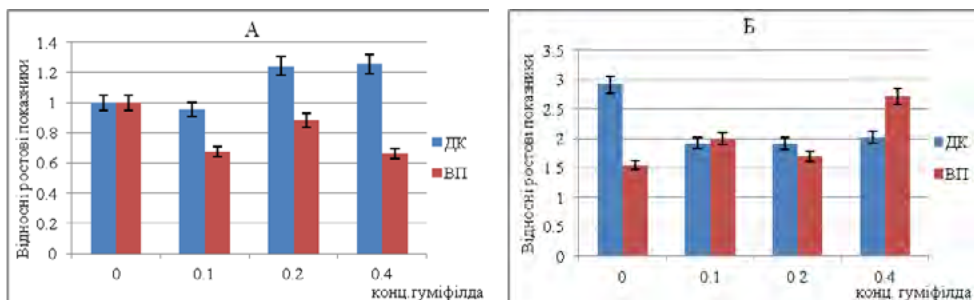
**Рис. 7. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Sorghum saccharum*, %.**  
**А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)**

Установлено, що під час вирощування вівса посівного (*Avena sativa* L.) у незабрудненому ґрунті гуміфілд стимулює ріст кореня за концентрації 0,2 та 0,4 г/л на 24%, але знижує висоту пагона на 12 і 34% відповідно. За концентрації Гуміфілду Форте 0,1 г/л відбувається зменшення ростових параметрів як кореня (на 5%), так і пагона (на 33%).

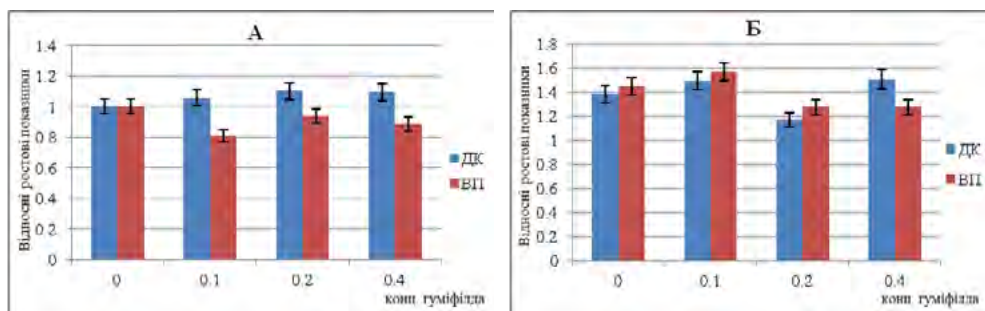
У разі вирощування *Avena sativa* L. на нафтозабрудненому ґрунті за концентрації Гуміфілду Форте 0,1, 0,2, 0,4 г/л відбулося збільшення висоти пагона на 46, 15 і 117% відповідно (рис. 8-Б). Водночас довжина кореня вівса посівного за концентрації гуміфілду 0,1–0,4 г/л зменшувалась.

Отже, Гуміфілд Форте стимулює ріст пагонів вівса посівного в разі зростання рослин в нафтозабрудненому ґрунті, але дещо зменшує ріст їхнього коріння.

Виявлено, що в разі вирощування жита посівного в незабрудненому ґрунті гуміфілд у концентраціях 0,1, 0,2, 0,4 г/л стимулює ріст кореня на 6, 10 і 9% і незначно зменшує ріст пагона (на 20, 6 і 12% відповідно) (рис. 9-А). У нафтозабрудненому ґрунті найвищі показники зростання кореня та пагона жита досягались у разі концентрації 0,1 г/л (рис. 9-Б). За концентрації ж 0,4 г/л спостерігали збільшення довжини кореня жита на 12%, але зниження висоти пагона на 17%. За концентрації Гуміфілду Форте 0,2 г/л ростові показники жита найнижчі.



**Рис. 8. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Avena sativa* L., %.**  
**А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)**



**Рис. 9. Вплив Гуміфілду Форте на ростові показники *Secale cereale*, %.**  
**А – умовно чистий ґрунт (контроль); Б – нафтозабруднений ґрунт (5%)**

Отже, у нафтозабрудненому ґрунті найкращі ростові показники для жита посівного досягаються за концентрації Гуміфілду Форте 0,1 г/л.

## ВИСНОВКИ

Установлено ефективність використання гуматів для передпосівної обробки насіння енергетичних рослин для підвищення їхньої стійкості. З досліджених гуматів (Фульвітал Плюс, Гуміфілд Форте) найкращі результати досягнуто за використання Гуміфілду Форте в концентраціях 0,1–0,2 г/л для передпосівної обробки насіння буркуну лікарського та жита посівного.

Передпосівна обробка насіння Гуміфілдом Форте в кількості 0,1–0,2 г/л може бути використана для підвищення стресостійкості й урожайності *Melilotus officinalis* (L.) Pall. і *Secale cereale* в комплексному підході під час фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів з отриманням енергетичної біомаси.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ФітореMediaційні аспекти використання енергетичних культур в умовах України / М.І. Кулик та ін. *Agrology*. 2019. С. 65–73.
2. Шевчик Л.З., Романюк О.І. Використання обліпихи крушиновидної для фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*. 2016. Vol. 6 (3). P. 472–480.



3. Improving the efficiency of phytoremediation technologies of oil-contaminated soils with the participation of natural sorbents-meliorants / L. Shevchyk-Kostiuk et al. *Scientific Horizons*. 2020. № 23 (10). P. 7–16. [https://doi.org/10.48077/scihor.23\(10\).2020.7-16](https://doi.org/10.48077/scihor.23(10).2020.7-16)
4. Сергієнко В. Рістрегулюючий та захисний ефект гумінових речовин. *Агробізнес сьогодні*. 2001. № 7. С. 26–29.
5. Кубишина Н.С. Формування товарного асортименту підприємства на прикладі компанії «Українські гумати». *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2018. № 15. С. 392–401.
6. Використання гумінових речовин для відновлення ґрунтів у гірничодобувних регіонах / А.І. Горова та ін. *Відновлення біотичного потенціалу агроєкосистем* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпропетровськ : Арбуз, 2015. С. 50–51.
7. Степанюк О. Гумати – погляд сучасності. *Агробізнес сьогодні*. 2012. № 12. С. 24–26.
8. Козаренко Д.О. Застосування гуматів – перспективний метод зменшення хімічного навантаження на агроценози. *Карантин і захист рослин*. 2013. № 8. С. 14–16.
9. ФітореMediaція техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур / І.Ю. Борецька та ін. *Екологічні науки*. 2021. № 6 (39). С. 72–76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11>.
10. Джура Н.М., Подан І.Ю. Екологічні наслідки довготривалого нафтовидобутку на Старосамбірському родовищі. *Вісник Львівського університету. Серія «Біологія»*. 2017. Вип. 76. С. 120–127.
11. Подан І.І., Джура Н.М. Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. *Екологічні науки*. 2019. № 2 (25). С. 182–186.
12. Подан І.І., Джура Н.М. Діагностика і фітореMediaція нафтозабруднених природних і штучних наземних екосистем Старосамбірського нафтового родовища. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences* : Collective monograph. Riga : Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. P. 2. С. 541–556.

## REFERENCES

1. Kulyk, M., Halytska, M., Samoilik, M., Zhornyk, I. (2019). Phytoremediation aspects of the use of energy crops in the conditions of Ukraine. *Agrology*. 65–73 [in Ukrainian].
2. Shevchyk, L., Romanyuk, O. (2016). Use of sea buckthorn for phytoremediation of oil-contaminated soils. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*. 6 (3). 472–480 [in Ukrainian].
3. Shevchyk-Kostiuk, L., Romaniuk, O., Banya, A. (2020). Improving the efficiency of phytoremediation technologies of oil-contaminated soils with the participation of natural sorbents-meliorants. *Scientific Horizons*, 23 (10), 7–16. [https://doi.org/10.48077/scihor.23\(10\).2020.7-16](https://doi.org/10.48077/scihor.23(10).2020.7-16)
4. Sergienko, V. (2001). Restorative and protective effect of humic substances. *Agribusiness today*, № 7. 26–29 [in Ukrainian].
5. Kubyshina, N. (2018). Formation of the product range of the enterprise on the example of the company “Ukrainian gumats”. *Economic Bulletin of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”*, № 15. 392–401 [in Ukrainian].
6. Horova, A., Pavlychenko, A., Vysochyn, L. (2015). Use of humic substances for soil restoration in mining regions. *Restoration of the biotic potential of agroecosystems: materials of the II International science and practice conf. Dnipropetrovsk*: 50–51 [in Ukrainian].
7. Stepaniuk, O. (2012). Humaty – a view of modernity. *Agribusiness today*, № 12. 24–26 [in Ukrainian].
8. Kozarenko, D. (2013). The use of humates is a promising method of reducing the chemical load on agrocenoses. *Karantyn i zakhyst roslyn*, № 8. 14–16 [in Ukrainian].

9. Boretska, I., Dzhura, N., Romaniuk, O. (2021). Phytoremediation of technologically polluted soils using energy crops. *Environmental sciences*, № 6 (39). 72–76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11> [in Ukrainian].
10. Dzhura, N., Podan, I. (2017). Environmental consequences of long-term oil production in the Starosambir field. *Visnyk Lvivskoho Universytetu. Ser. biological*, 76. 120–127 [in Ukrainian].
11. Podan, I., Dzhura, N. (2019). The effect of oil pollution and humates on the growth of *misanthus* plants. *Environmental sciences*, № 2 (25). 182–186 [in Ukrainian].
12. Podan, I., Dzhura, N. (2020). Diagnostics and phytoremediation of oil-contaminated natural and artificial terrestrial ecosystems of the Starosambir oil field. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences* : Collective monograph. Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2. 541–556 [in Ukrainian].

## ABSTRACT

### USE OF HUMATES TO INCREASE THE RESISTENCE OF ENERGY CROPS GROWN IN OIL-CONTAMINATED SOILS

In times of war, studying the phytoremediation of soil with the help of energy crops is of great importance. In this regard, one of the most promising remediation agents is humates that can effectively improve the adaptive properties of plants.

The research aim was to establish optimal concentrations of humate solutions (Humifield Forte and Fulvital Plus) for pre-sowing treatment of energy plant seeds to increase their stress resistance and crop capacity, with the aim of using them further in an integrated approach of phytoremediation of oil-contaminated soils with the production of energy biomass.

Energy crops that are resistant to oil pollution and suitable to produce both liquid and solid biofuels were selected. The studied crops include: *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Camelina sativa*, *Sorghum saccharatum* (L.) Pers., *Avena sativa* L., *Panicum virgatum* L.), *Secale cereale*. Optimal concentrations of aqueous solutions of humates (Humifield Forte and Fulvital Plus) for pre-sowing treatment of seeds of these plants were determined. The correlation between initial growth parameters of energy crops and the concentrations of humate solutions of 0,1–0,4 g/l was observed.

It was established that *M. officinalis*, *S. Saccharatum*, *A. sativa*, *P. virgatum*, *C. sativa* and *S. cereale* when exposed to Fulvital in oil-contaminated soil, exhibit species-specific properties. Fulvital Plus in a concentration of 0,1–0,4 g/l mainly does not improve the growth indicators of plants. The exception is *Avena sativa* for which a slight increase in shoot height was observed in a Fulvital concentration of 0,4 g/l.

Humifield Forte in a concentration of 0,1–0,2 g/l stimulates the shoot growth of *A. sativa* and *P. virgatum* in conditions of oil-contaminated soil but reduces the root growth of these plants. A mixed reaction was also observed for *Sorghum saccharatum*. The best results were achieved when using Humifield Forte in concentrations of 0,1–0,2 g/l for pre-sowing seed treatment of *M. officinalis* and *S. cereale*.

Such pre-sowing treatment with Humifield Forte in the concentration of 0,1–0,2 g/l is optimal for increasing stress resistance and crop capacity of *Melilotus officinalis* and *Secale cereale* using an integrated approach of phytoremediation of oil-contaminated soils with obtaining energy biomass.

**Key words:** oil-contaminated soils, energy plants, humates (Humifield Forte and Fulvital Plus).

*Ольга Володимирівна Черба,*

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,  
науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля  
та природних територій особливої охорони

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних  
проблем» (УКРНДІЕП), Україна

orcid.org/0000-0001-8600-1319, e-mail: o.cherba@gmail.com

## КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА НА СТАН ҐРУНТІВ УКРАЇНИ

**Анотація.** Нині в усьому світі приділяється велика увага екологічній складовій частині розвитку суспільства. Особливо це стосується негативних наслідків антропогенної діяльності, що призводять до деградації навколишнього природного середовища. У зв'язку із цим розроблено багато різноманітних підходів до оцінювання техногенного впливу на довкілля.

Земельні ресурси є важливим складником навколишнього природного середовища, вмістилищем корисних копалин, джерелом харчування, місцем проживання, економічною складовою частиною життя суспільства. Це місцерозташування промислових об'єктів, населених пунктів, доріг. За умови правильного використання верхній родючий шар землі є практично невичерпним засобом виробництва харчової продукції. Однак техногенні забруднювачі, які поступово накопичуються у ґрунтах, порушують функціонування життєвих циклів найбільш чутливих видів організмів, що із часом призводить до небажаних змін екосистеми загалом.

Аграрне виробництво є однією із провідних галузей економіки України та найбільшим забруднювачем земельних ресурсів і ґрунтів. Тому дуже важливо контролювати розмір антропогенного навантаження, яке чинить сільське господарство, відстежувати адмінтериторії, які відчувають найбільший вплив, і вчасно ухвалювати необхідні адміністративні рішення щодо його зменшення.

Розроблено систему комплексного оцінювання впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти адмінтериторії, яку можна використовувати у звітних доповідях про стан довкілля, для ухвалення коректних управлінських рішень під час розроблення природоохоронних заходів на державному, регіональному та місцевому рівнях, для підвищення обізнаності громадян. Використаний підхід до проведення екологічної оцінки узгоджено з європейським, а саме з рекомендаціями Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй щодо моніторингу й оцінки якості навколишнього природного середовища. Використано комплекс критеріїв, які максимально повно та достовірно враховують антропогенний вплив на земельні ресурси та ґрунти. Розраховано вагові коефіцієнти для всіх компонентів системи, які враховують їх різну значимість і нерівний внесок у загальну оцінку. Проведено апробацію результатів дослідження на прикладі України за двадцятирічний період часу як частини комплексного підходу до контролю за антропогенним навантаженням на екосистему країни.

**Ключові слова:** комплексний підхід, антропогенний вплив, сільське господарство, нормування, вагові коефіцієнти.

## ВСТУП

Агрокомплекс є однією з основних галузей господарювання в Україні та водночас одним із найбільших забруднювачів земель. За результатами 2021 р. внесок сільського господарства у ВВП країни становив більше 10%. Приріст виробництва порівняно із 2020 р. збільшився на 19% [4]. Водночас провідні виробники сільськогосподарської продукції не лише забезпечували потреби внутрішнього ринку, а й успішно експортували продовольство та сільськогосподарську сировину до десятків країн світу. На агропродовольчу продукцію припадав найбільший відсоток у загальному експорті України – приблизно 41% за рік [4]. Однак таке інтенсивне використання земельних ресурсів і ґрунтів призводить до їх виснаження. Тому одним із важливих питань стало розвинути, раціонального природокористування, екологічної безпеки є контроль за антропогенним навантаженням на земельні ресурси та ґрунти.

**Метою дослідження** є комплексне оцінювання впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти України для підвищення ефективності роботи системи ухвалення управлінських рішень.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Розрахунки проведено відповідно до розробленої у процесі виконання дослідження методики інтегральної оцінки антропогенного впливу на навколишнє природне середовище адмінтериторій України [5]. Інструментами оцінювання виступають екологічні та статистичні показники, які є об'єктивними, достовірними, забезпеченими статистичними даними, придатними для використання під час ухвалення управлінських рішень і узгодженими з європейським підходом до оцінювання [1; 2].

Екологічні показники (далі – ЕП) – це характерні дані, за якими можна судити про зміни, що відбуваються в навколишньому середовищі [5].

Статистичні показники (далі – СП) – це безпосередньо статистичні дані, за допомогою яких здійснюється оцінювання антропогенного впливу на земельні ресурси та ґрунти. Вони беруться від уповноважених державних органів (Державна служба статистики України, Державне агентство водних ресурсів України, Український гідрометеорологічний центр, Міндовкілля тощо) [5].

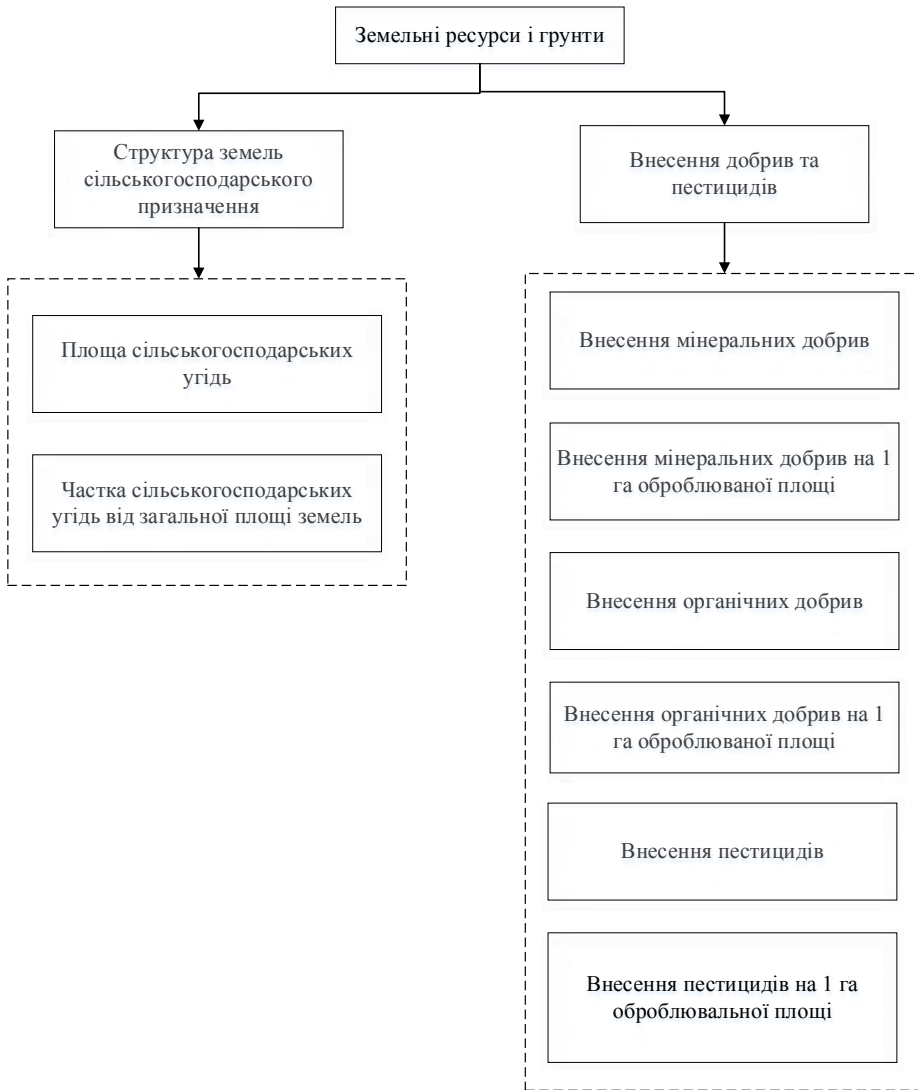
Система комплексного оцінювання антропогенного впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти складається із двох ЕП, кожен із яких містить набір статистичних даних (рис. 1).

## РЕЗУЛЬТАТИ

Комплексна оцінка антропогенного впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти складається з оцінок за кожним з ЕП ( $\tilde{A}_i$ ), які, у свою чергу, визначаються на підставі всіх визначених СП ( $A_i^j$ ):

$$\tilde{A}_i = f(U_j A_i^j). \quad (1)$$

Кожен екологічний показник в кінцевому вигляді являє собою лінійну згортку значень статистичних показників.



**Рис. 1. Система комплексного оцінювання антропогенного впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти**

На першому етапі оцінювання за допомогою експертного методу аналізу ієрархій Т. Сааті визначено вагові коефіцієнти  $b_1^j$  для кожного зі СП і ЕП, завдяки чому враховано їхню різну значущість і нерівний внесок у загальну оцінку (табл. 1).

Значення вагових коефіцієнтів перебувають у межах  $(0 < b_1^j < 1)$ . Як критерії, з позиції яких розглядався антропогенний вплив, використано вплив на здоров'я населення, флору та фауну.

## Значення глобальних пріоритетів і вагових коефіцієнтів

ЕП	Глобальний пріоритет					Ваговий коефіцієнт
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	
ЕП «Структура земель»	0,5776	0,7090	0,6222	0,5304	0,2594	0,5397
– СП «Площа сільськогосподарських угідь»	0,4690	0,3148	0,7062	0,2939	0,5106	0,4589
– СП «Частка сільськогосподарських угідь від загальної площі земель»	0,5311	0,6853	0,2939	0,7062	0,4895	0,5412
ЕП «Внесення добрив і пестицидів»	0,4225	0,2911	0,3779	0,4697	0,7407	0,4604
– СП «Внесення мінеральних добрив»	0,0952	0,0797	0,1025	0,1121	0,0994	0,0978
– СП «Внесення мінеральних добрив на 1 га оброблюваної площі»	0,0820	0,0982	0,1336	0,1391	0,1209	0,1148
– СП «Внесення органічних добрив»	0,1311	0,1265	0,1037	0,1134	0,0902	0,1130
– СП «Внесення органічних добрив на 1 га оброблюваної площі»	0,1357	0,1512	0,1156	0,1339	0,1072	0,1287
– СП «Внесення пестицидів»	0,2327	0,2170	0,2333	0,2158	0,2616	0,2321
– СП «Внесення пестицидів на 1 га оброблюваної площі»	0,3234	0,3275	0,3114	0,2857	0,3207	0,3138

На другому етапі для перетворення значень СП на безрозмірні величини проведено їх нормування:

$$|\tilde{A}_i^j| = \frac{|A_i^j|_{\text{звіт.рік}}}{|A_i^j|_{\text{max}}} \cdot 10, \quad (2)$$

де  $|\tilde{A}_i^j|$  – j-ий СП, необхідний для визначення i-го ЕП;

$|A_i^j|_{\text{звіт.рік}}$  – значення j-ого СП за звітний рік для визначення i-го ЕП;

$|A_i^j|_{\text{max}}$  – максимальне значення j-го СП, що обирають із переліку років, для яких розраховують i-ий ЕП;

10 – максимальне значення шкали.

Визначення СП з ваговим коефіцієнтом проведено за формулою:

$$|A_i^j| = |\tilde{A}_i^j| \cdot h_i^j. \quad (3)$$

де  $b_i^j$  – ваговий коефіцієнт j-го СП для i-ого ЕП.

Результати обчислень за період часу із 2000 р. по 2019 р. наведено в таблиці 2. Як джерела інформації використано статистичні дані, розміщені на сайті Держстату України [3].

Таблиця 2

**Результати нормування під час оцінювання впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти**

СП	Рік							
	2000 р.	2005 р.	2010 р.	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.
ЕП «Структура земель»								
Площа сільськогосподарських угідь	4,57	4,58	4,59	4,66	5,41	6,57	6,96	7,10
Частка сільськогосподарських угідь від загальної площі земель	6,60	6,58	6,56	6,55	6,55	6,55	6,52	6,52
<b>Оцінка за ЕП</b>	<b>5,59</b>	<b>5,58</b>	<b>5,58</b>	<b>5,61</b>	<b>5,98</b>	<b>6,56</b>	<b>6,74</b>	<b>6,81</b>
ЕП «Внесення добрив і пестицидів»								
Внесення мінеральних добрив всього по адмінтериторії	0,42	0,83	1,58	2,11	2,57	3,02	3,20	3,19
Внесення мінеральних добрив на 1 га оброблюваної площі, у середньому по адмінтериторії	1,16	1,40	1,63	1,90	2,13	2,39	2,60	2,54
Внесення органічних добрив усього по адмінтериторії	4,50	2,08	1,55	1,50	1,42	1,44	1,66	1,62
Внесення органічних добрив на 1 га оброблюваної площі, у середньому по адмінтериторії	4,80	3,44	2,94	2,63	2,32	2,21	1,65	1,62
Внесення пестицидів усього по адмінтериторії	–	–	–	–	–	–	4,50	4,32
Внесення пестицидів на 1 га оброблюваної площі, у середньому по адмінтериторії	–	–	–	–	–	–	4,80	4,50
<b>Оцінка за ЕП</b>	<b>2,72</b>	<b>1,94</b>	<b>1,93</b>	<b>2,03</b>	<b>2,11</b>	<b>2,26</b>	<b>3,07</b>	<b>2,96</b>

В Україні до 2018 р. відсутні офіційні статистичні дані щодо обсягів використання пестицидів у сільському господарстві, тому обчислення проведені лише за останні два роки.

На третьому етапі обчислено комплексну оцінку впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти України у вигляді середньоарифметичного значення ЕП (рис. 2).

Для проведення порівняльних оцінок окремих адмінтериторій і планування практичних дій з охорони земель отримані результати розмежовано за п'ятьма класами (табл. 3).

## Градування величини антропогенного впливу згідно з бальною оцінкою

Інтервал зміни класу впливу	Характеристика
$0 \leq F_1 \leq 2$	задовільний
$2 < F_2 \leq 4$	незначні відхилення
$4 < F_3 \leq 6$	істотні порушення
$6 < F_4 \leq 8$	небезпечні порушення
$8 < F_5 \leq 10$	критичний

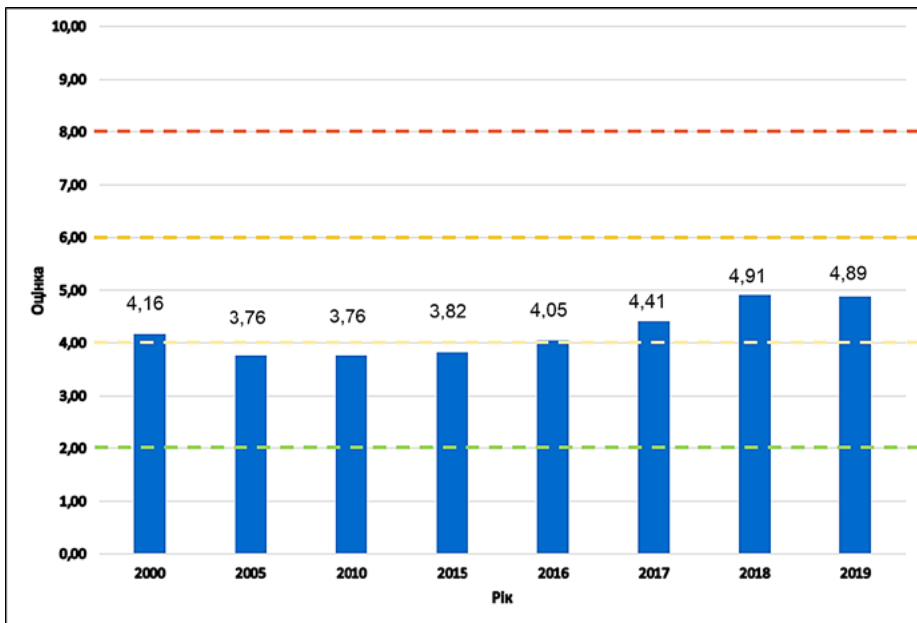


Рис. 2. Оцінка впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти України. 2000–2019 рр.

Отже, у 2000 р. вплив сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти оцінюється як «значні порушення», у наступні роки він зменшується до «незначних відхилень», а починаючи із 2016 р. знов оцінюється як «значні порушення» і поступово збільшується. Найбільший внесок у загальну оцінку зробила завелика площа сільськогосподарських угідь, що характерно для нашої країни.

## ВИСНОВКИ

Використана для оцінювання методика заснована на експертно-аналітичному системному науковому підході та представляє результати оцінювання в легкодоступному для сприйняття вигляді.

Отримані результати досліджень дозволяють більш якісно збирати, оцінювати, моделювати та прогнозувати зміни стану земель (ґрунтів), а також сприяють отриманню об'єктивної та достовірної інформації для ухвалення відповідних управлінських



рішень, створення банку даних про стан ґрунтів і єдиної ефективної інформаційної системи моніторингу довкілля, інформування населення про основні екологічні проблеми країни.

За допомогою такого підходу можна проводити оцінювання впливу сільського господарства на земельні ресурси та ґрунти окремих адміністративних територій, ранжувати їх за рівнем техногенного навантаження, використовувати результати у процедурах стратегічної екологічної оцінки, під час розроблення заходів щодо оптимізації надходження добрив і пестицидів у довкілля.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Екологічні показники та засновані на них оціночні доповіді. Східна Європа, Кавказ і Центральна Азія / Ірина Атамурадова та ін. ЄЕК ООН. Нью-Йорк ; Женева : Видання Організації Об'єднаних Націй, 2007. 120 с.
2. Керівництво із застосування екологічних показників у країнах Східної Європи, Кавказу та Центральної Азії : Робоча нарада щодо застосування екологічних показників та підготовки оціночних доповідей щодо навколишнього середовища. Донецьк, 2006. 82 с.
3. Комплексні статистичні публікації / Complex Statistical Publications : *Державна служба статистики України*. URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publ1\\_u.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm) (дата звернення: 12.06.2023).
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 р. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 08.06.2023).
5. Черба О.В., Квасов В.А. Комплексна інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище України. *Scientific and educational dimensions of natural sciences : Scientific monograph*. Рига, Латвія : Baltija Publishing, 2023. С. 256–273. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-289-0-12>.

## REFERENCES

1. Atamuradova, I. (Eds.). (2007). *Ekologichni pokaznyky ta zasnovani na nykh ocinochni dopovidi*. Skhidna Jevropa, Kavkaz i Centraljna Azija. [Environmental indicators and assessment reports based on them. Eastern Europe, Caucasus and Central Asia]. Njju-Jork, Zheneva: Vydannja Orghanizaciji Ob'jednanykh Nacij [in Ukrainian].
2. Kerivnyctvo iz zastosuvannja ekologichnykh pokaznykiv u krajynakh Skhidnoji Jevropy, Kavkazu ta Centraljnoji Aziji. (2006) [Guidelines for the application of environmental indicators in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia]. Donecjk [in Ukrainian].
3. Sajt Derzhavnoji sluzhby statystyky Ukrajiny [Site of the State Statistics Service of Ukraine]. <https://ukrstat.gov.ua>. Retrieved from [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publ1\\_u.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm) [in Ukrainian].
4. Nacionaljna dopovidj pro stan navkolyshnjogho pryrodnogho seredovyshha v Ukrajinі u 2021 roci [National report on the state of the environment in Ukraine in 2021]. (n.d.). Retrieved from <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> [in Ukrainian].
5. Cherba, O.V., & Kvasov, V.A. (2023). *Kompleksna integhraljna ocinka antropoghennogho vplyvu na navkolyshnje pryrodne seredovyshhe Ukrajinі* [Comprehensive integrated assessment of anthropogenic impact on the natural environment of Ukraine]. *Scientific and educational dimensions of natural sciences*. (pp. 256–273). Ryha: Baltija Publishing. Retrieved from <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/302> [in Ukrainian].

## ABSTRACT

### COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF AGRICULTURE ON THE CONDITION OF LAND RESOURCES AND SOILS OF UKRAINE

Today, much attention is being paid to the environmental component of society's development around the world. This is especially true of the negative effects of anthropogenic activities that lead to environmental degradation. In this regard, many different approaches have been developed to assess the anthropogenic impact on the environment.

Land resources are an important component of the natural environment, a repository of minerals, a source of food, a place of residence, and an economic component of society's life. It is the location of industrial facilities, settlements, and roads. If properly used, the top fertile layer of the earth is an almost inexhaustible means of food production. However, man-made pollutants that gradually accumulate in the soil disrupt the functioning of the life cycles of the most sensitive species of organisms, which eventually leads to undesirable changes in the ecosystem as a whole.

Agricultural production is one of the leading branches of the Ukrainian economy and the largest polluter of land resources and soils. Therefore, it is very important to control the amount of anthropogenic load caused by agriculture, to monitor the administrative territories that feel the greatest impact and to take the necessary administrative decisions on reducing it in a timely manner.

A system of comprehensive assessment of the impact of agriculture on land resources and soils of the administrative territory has been developed, which can be used in environmental reports, to make correct management decisions when developing environmental protection measures at the state, regional and local levels, and to raise public awareness. The approach to environmental assessment used is in line with the European approach, namely, the recommendations of the United Nations Economic Commission for Europe on monitoring and assessing the quality of the environment. A set of criteria was used that takes into account the anthropogenic impact on land resources and soils to the fullest extent possible and reliably. The weighting coefficients for all components of the system are calculated, taking into account their different importance and unequal contribution to the overall assessment. The results of the study were tested on the example of Ukraine over a twenty-year period of time as part of an integrated approach to controlling the anthropogenic load on the country's ecosystem.

**Key words:** complex approach, anthropogenic impact, agriculture, rationing, weighting coefficients.

UDC 539.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.2.12>

*Alina Vinkovskaya,*

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, Odesa, Ukraine  
e-mail: [alina.vinkovskaya@gmail.com](mailto:alina.vinkovskaya@gmail.com)

*Yurii Bondaruk,*

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, Odesa, Ukraine  
orcid.org/0000-0003-4231-1416, Scopus Author ID: 57202950413,  
e-mail: [bondaruk@windowslive.com](mailto:bondaruk@windowslive.com)

*Dietmar Fink,*

Nuclear Physics Institute, Czech Academy of Sciences, Řež, Czech Republic  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, D.F., México  
Scopus Author ID: 55439567000, e-mail: [fink@xanum.uam.mx](mailto:fink@xanum.uam.mx)

*Taras Kavetskyy,*

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine  
Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovak Republic  
orcid.org/0000-0002-4782-1602, Scopus Author ID: 57220358576,  
e-mail: [kavetskyy@yahoo.com](mailto:kavetskyy@yahoo.com)

*Dmytro Dyachok,*

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, Odesa, Ukraine  
orcid.org/0000-0002-9036-1138, Scopus Author ID: 57190344246,  
e-mail: [dyachok13@gmail.com](mailto:dyachok13@gmail.com)

*Ivan Donchev,*

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, Odesa, Ukraine  
e-mail: [idonchev@gmail.com](mailto:idonchev@gmail.com)

*Lyudmyla Pankiv,*

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine  
orcid.org/0000-0002-4918-2138, Scopus Author ID: 35485114300,  
e-mail: [lyuda\\_pankiv@ukr.net](mailto:lyuda_pankiv@ukr.net)

*Yuliia Kukhazh,*

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine  
Scopus Author ID: 56507384300, e-mail: [juljakhj@i.ua](mailto:juljakhj@i.ua)

*Oksana Zubrytska,*

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine  
e-mail: [oksanazubrytska23.02@gmail.com](mailto:oksanazubrytska23.02@gmail.com)

*Oles Matskiv,*

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine  
e-mail: [omackiv@gmail.com](mailto:omackiv@gmail.com)

*Mariana Kravtsiv,*

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine  
Scopus Author ID: 56919697400, e-mail: marinettakr@gmail.com

*Roman Leshko,*

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine  
orcid.org/0000-0002-9072-164X, Scopus Author ID: 26428849300,  
e-mail: leshkoroman@gmail.com

*Nataliia Hoivanovych,*

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine  
orcid.org/0000-0002-3442-0674, Scopus Author ID: 57203341250,  
e-mail: natahoyvan@gmail.com

*Arnold Kiv,*

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, Odesa, Ukraine  
Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel  
orcid.org/0000-0002-0991-2343, Scopus Author ID: 6602488378,  
e-mail: kiv.arnold20@gmail.com

## FEATURES OF CHEMICAL ETCHING OF TRACK STRUCTURES

**Abstract.** It is shown that computer simulation can be used to obtain important information about the mechanisms of etching of track structures. These data are necessary for the design and improvement of track biosensors. The etching process is simulated by appropriate modification of interatomic potentials. A new approach to studying the mechanisms of chemical etching of materials has been developed. A computer simulation method is used, which allows one to change the parameters of interatomic potentials in a certain mode during the simulation of the etching process. The main feature of the method is the creation of algorithms and new computer programs that make it possible to describe the coordinated change in the parameters of interatomic potentials (their “softening”), reproducing real chemical etching. The applied method for studying the mechanisms of chemical etching can be used in various technologies of electronic materials science. In the case of creating modern track biosensors, the use of appropriate chemical etching methods is especially important for improving these devices. This is due to the fact that the parameters of a track biosensor depend on the geometry of the track, its diameter, and the defective structure of the track walls. The study was carried out taking into account the three-layer structure of the track wall. Another option for using chemical etching is to study the defective structure of a material, in particular in the manufacture of biosensors, identifying the features of the three-layer structure of the track wall. The parameters of the biosensor depend on the nature of the interaction of particles of the “carrying” flow with the walls of the track. Therefore, it is important to ensure an optimal ratio of the mechanical characteristics of different defective layers forming the track wall. This is achieved by controlling the chemical etching process. In the future, the proposed method of computer modeling of the chemical etching process will be used in the study of dislocations and interfaces of multilayer and other materials.

**Key words:** porous materials, track structures, chemical etching, interatomic potentials, track biosensors, computer simulation.

## TRACK STRUCTURES IN ELECTRONICS

Recently, new three-dimensional structures based on ion irradiation have been developed for the creation of biosensors and other biotechnological applications. On the one hand, this is achieved through the further development of heavy ion implantation technology and, on the other hand, the combination of this technology with surface microstructuring methods. It is very important to produce a relatively cheap micro- and nanometer-sized material with three-dimensional nanostructures and multifunctional properties for the analysis of biomaterials and cells in particular.

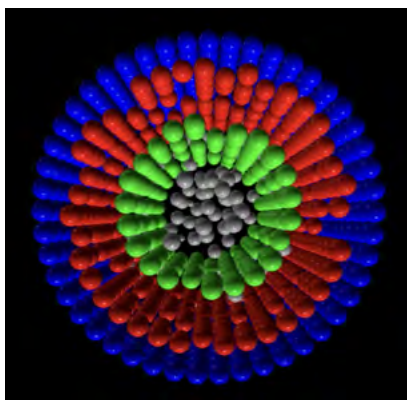
Recently, porous materials have become widely used to solve many problems in the field of nanotechnology, biology and medicine. Among these materials, an important place is occupied by artificial, in particular, track porous materials. They are the basis for the creation of track biosensors.

This work uses a computer model for the passage of ion streams through cylindrical nanopores that simulate etched ion tracks in modern biosensors. The model was constructed using the classical molecular dynamics (MD) method [1–3].

There are two ways of influencing the defective structure of nanotracks. The first method requires taking into account the mechanisms of interaction of fast ions with the film material during the formation of tracks [4–9]. The second method requires chemical etching of track structures.

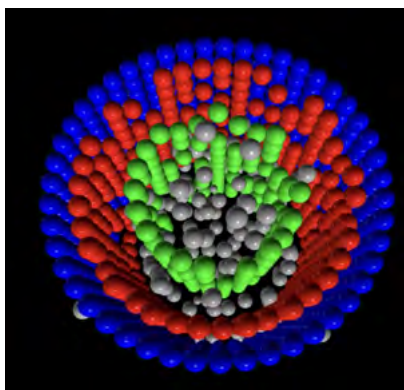
### CHEMICAL ETCHING OF TRACK STRUCTURES

Chemical etching plays an essential role in the creation and research of a track biosensor. First of all, the formation of the primary track requires the action of a certain herbalist to prevent the healing of the ion-induced ordered space of the film. But etching can be used to investigate the defect structure of the region adjacent to the track. Such a study can be carried out using a computer simulation of a track filled with matter passing through the track. So far, it has been established that the track wall has a three-layer structure [10–14]. The first layer, closest to the track, is the most ordered, the second layer is less ordered (Penumbra) and finally the outer layer, which differs little in structure from the volume (Fig. 1).

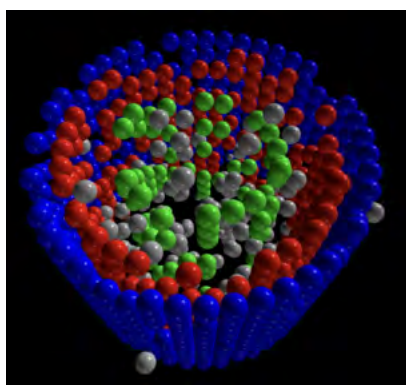


**Fig. 1. Computer model of the three-layer wall of the track.  
View of the track from above**

In the process of chemical etching, chemical bonds are broken and atoms move by diffusion. The mixing of atoms characterizes the etching process and at the same times the stability of the atomic configuration. In the process of simulating etching by softening the potentials describing chemical bonds, part of the lattice atoms are released from their nodes. On Figures 2 and 3, it can be seen that as a result of etching, part of the model particles from the core track moves to the second layer. Further etching leads to the additional movement of particles from the core to the outer layers, as well as to the disordering of all layers of the track wall. Thus, analyzing the etching model, we get information about the stability of the track wall [15; 16].



**Fig. 2. Computer modeling of the disordering of the three-layer wall of the track during the etching process. View of the track from above**



**Fig. 3. Computer modeling of the three-layer wall of the track in the process of the long-term etching. Model particles from the track core penetrate into the bulk of the material. View of the track from above**

## CONCLUSION

A computer program previously created for modeling track structures has been modified to study the mechanisms of material etching. Etching is simulated by softening the interatomic the track region occurs during etching.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by the Ministry of Education and Science of Ukraine (projects Nos. 0121U109539, 0121U109543, 0122U000850, 0122U000874, and 0123U103572) and National Research Foundation of Ukraine (project No. 2020.02/0100 “Development of new nanozymes as catalytic elements for enzymatic kits and chemo/biosensors”). T.K. also acknowledges the SAIA (Slovak Academic Information Agency) for scholarship in the Institute of Physics of Slovak Academy of Sciences in the framework of the National Scholarship Programme of the Slovak Republic. This work has also received funding through the MSCA4Ukraine project (grant No. 1128327), which is funded by the European Union.

## BIBLIOGRAPHY

1. Monosik R., Stredansky M., Sturdik E. Biosensors – classification, characterization and new trends. *Acta Chimica Slovakia*. 2012. Vol. 5(1). P. 109–120.
2. Hughes WS. The potential difference between glass and electrolytes in contact with the glass. *Journal of American Chemical Society*. 1922. Vol. 44. P. 2860–2867.
3. Li Y.-C.E., Lee I.C. The current trends of biosensors in tissue engineering. *Biosensors*. 2020. Vol. 10(88). P. 1–22.
4. Bondaruk Y., Fink D., Kiv A., Donchev I. Simulation of the passage of ion flows through nanotracks. *International Journal of Advanced Computer Technology (IJACT)*. 2020. Vol. 9. P. 1–4.
5. Donchev I.I., Kavetsky T.S., Mushynska O.R., Zubrytska O.V., Briukhovetska I.V., Pryima A.M., Kovalchuk H.Y., Hoivanovych N.K., Kropyvnytska L.M., Pavlyshak Y.Y., Skrobach T.B., Kossak G.M., Stakhiv V.I., Monastyrskaya S.S., Kiv A.E. Computer model of track biosensor. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron*. 2022. Vol. 25(4). P. 441–445.
6. Donchev I., Bondaruk Y., Dyachok D., Pankiv L., Pan'kiv I., Kukhazh Y., Mushynska O., Zubrytska O., Kavetsky T., Fink D., Kiv A. Computer modeling of biological contaminants in a track biosensor. *Acta Carpathica*. 2022. Vol. 1(37). P. 5–13.
7. Donchev I., Bondaruk Y., Fink D., Kavetsky T., Kushniyazova M., Pan'kiv L., Kukhazh Y., Mushynska O., Zubrytska O., Vinkovskaya A., Dyachok D., Kiv A. Optimization of ion track characteristics in a track biosensor. *Acta Carpathica*. 2022. Vol. 2(38). P. 31–37.
8. Donchev I., Fink D., Vinkovskaya A., Kavetsky T., Kushniyazova M., Dyachok D., Bondaruk Y., Pan'kiv L., Kukhazh Y., Mushynska O., Zubrytska O., Matskiv O., Soloviev V., Kiv A. Simulation of track structures as the basis of biosensors. *Acta Carpathica*. 2023. Vol. 1(39). P. 66–72.
9. Bondaruk Y.V., Kavetsky T.S., Vinkovskaya A.O., Kushniyazova M., Dyachok D.O., Pankiv L.I., Klepach H.M., Mushynska O.R., Zubrytska O.V., Matskiv O.I., Pavlovskyy Y.V., Voloshanska S.Y., Monastyrskaya S.S., Bodnar L.V., Kiv A.E. Improvement of new electronic materials using computer modeling. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron*. 2023. Vol. 26(4). P. 470–474.
10. Pearson J.E., Gill A., Vadgama P. Analytical aspects of biosensors. *Ann. Clin. Biochem*. 2000. Vol. 37. P. 119–145.
11. Turner A.P.F. Biosensors: sense and sensibility. *Chem. Soc. Rev*. 2013. Vol. 42. P. 3184–3196.
12. Mehrotra P. Biosensors and their applications – A review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. 2016. Vol. 6. P. 153–159.
13. Thevenot D.R., Toth K., Durst R.A., Wilson G.S. Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. *Pure Appl. Chem*. 1999. Vol. 71. P. 2333–2348.

14. Sabr A.K.H. Biosensors. *American Journal of Biomedical Engineering*. 2016. Vol. 6(6). P. 170–179.
15. Malik P., Katyal V., Malik V., Asatkar A., Inwati G., Mukherjee T.K. Nanobiosensors: concepts and variations. *ISRN Nanomaterials*. 2013. Vol. 2013. Article ID 327435, 9 pages.
16. Allen M.P. Introduction to molecular dynamics simulation. *Computational Soft Matter: From Synthetic Polymers to Proteins, Lecture Notes (Attig N., Binder K., Grubmuller H., Kremer K. (Eds.), John von Neumann Institute for Computing, Julich, NIC Series)*. 2004. Vol. 23. P. 1–28.

## REFERENCES

1. Monosik R., Stredansky M., Sturdik E. (2012). Biosensors – classification, characterization and new trends. *Acta Chimica Slovakia*. Vol. 5(1). P. 109–120.
2. Hughes WS. (1922). The potential difference between glass and electrolytes in contact with the glass. *Journal of American Chemical Society*. Vol. 44. P. 2860–2867.
3. Li Y.-C.E., Lee I.C. (2020). The current trends of biosensors in tissue engineering. *Biosensors* Vol. 10(88). P. 1–22.
4. Bondaruk Y., Fink D., Kiv A., Donchev I. (2020). Simulation of the passage of ion flows through nanotracks. *International Journal of Advanced Computer Technology (IJACT)*. Vol. 9. P. 1–4.
5. Donchev I.I., Kavetsky T.S., Mushynska O.R., Zubrytska O.V., Briukhovetska I.V., Pryima A.M., Kovalchuk H.Y., Hoivanovych N.K., Kropyvnytska L.M., Pavlyshak Y.Y., Skrobach T.B., Kossak G.M., Stakhiv V.I., Monastyrskaya S.S., Kiv A.E. (2022). Computer model of track biosensor. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.* Vol. 25(4). P. 441–445.
6. Donchev I., Bondaruk Y., Dyachok D., Pankiv L., Pan'kiv I., Kukhazh Y., Mushynska O., Zubrytska O., Kavetsky T., Fink D., Kiv A. (2022). Computer modeling of biological contaminants in a track biosensor. *Acta Carpathica*. Vol. 1(37). P. 5–13.
7. Donchev I., Bondaruk Y., Fink D., Kavetsky T., Kushniyazova M., Pan'kiv L., Kukhazh Y., Mushynska O., Zubrytska O., Vinkovskaya A., Dyachok D., Kiv A. (2022). Optimization of ion track characteristics in a track biosensor. *Acta Carpathica*. Vol. 2(38). P. 31–37.
8. Donchev I., Fink D., Vinkovskaya A., Kavetsky T., Kushniyazova M., Dyachok D., Bondaruk Y., Pan'kiv L., Kukhazh Y., Mushynska O., Zubrytska O., Matskiv O., Soloviev V., Kiv A. (2023). Simulation of track structures as the basis of biosensors. *Acta Carpathica*. Vol. 1(39). P. 66–72.
9. Bondaruk Y.V., Kavetsky T.S., Vinkovskaya A.O., Kushniyazova M., Dyachok D.O., Pankiv L.I., Klepach H.M., Mushynska O.R., Zubrytska O.V., Matskiv O.I., Pavlovskyy Y.V., Voloshanska S.Y., Monastyrskaya S.S., Bodnar L.V., Kiv A.E. (2023). Improvement of new electronic materials using computer modeling. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.* Vol. 26(4). P. 470–474.
10. Pearson J.E., Gill A., Vadgama P. (2000). Analytical aspects of biosensors. *Ann. Clin. Biochem.* Vol. 37. P. 119–145.
11. Turner A.P.F. (2013). Biosensors: sense and sensibility. *Chem. Soc. Rev.* Vol. 42. P. 3184–3196.
12. Mehrotra P. (2016). Biosensors and their applications – A review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. Vol. 6. P. 153–159.
13. Thevenot D.R., Toth K., Durst R.A., Wilson G.S. (1999). Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. *Pure Appl. Chem.* Vol. 71. P. 2333–2348.
14. Sabr A.K.H. (2016). Biosensors. *American Journal of Biomedical Engineering*. Vol. 6(6). P. 170–179.



15. Malik P., Katyal V., Malik V., Asatkar A., Inwati G., Mukherjee T.K. (2013). Nanobiosensors: concepts and variations. ISRN Nanomaterials. 2013. Vol. Article ID 327435, 9 pages.
16. Allen M.P. (2004). Introduction to molecular dynamics simulation. Computational Soft Matter: From Synthetic Polymers to Proteins, Lecture Notes (Attig N., Binder K., Grubmüller H., Kremer K. (Eds.), John von Neumann Institute for Computing, Julich, NIC Series). Vol. 23. P. 1–28.

## АНОТАЦІЯ

### ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО ТРАВЛЕННЯ ТРЕКОВИХ СТРУКТУР

Показано, що комп'ютерне моделювання може бути використано для отримання важливої інформації про механізми травлення трекових структур. Ці дані необхідні для розробки та вдосконалення трекових біосенсорів. Процес травлення моделюється відповідною модифікацією міжатомних потенціалів. Розроблено новий підхід до вивчення механізмів хімічного травлення матеріалів. Використовується метод комп'ютерного моделювання, який дозволяє змінювати параметри міжатомних потенціалів у певному режимі під час моделювання процесу травлення. Головною особливістю методу є створення алгоритмів і нових комп'ютерних програм, які дозволяють описувати узгоджену зміну параметрів міжатомних потенціалів (їх «пом'якшення»), відтворюючи реальне хімічне травлення. Застосований метод дослідження механізмів хімічного травлення може бути використаний у різних технологіях електронного матеріалознавства. У разі створення сучасних трекових біосенсорів використання відповідних методів хімічного травлення є особливо важливим для вдосконалення цих пристроїв. Це пов'язано з тим, що параметри трекового біосенсора залежать від геометрії треку, його діаметра та дефектної структури стінок треку. Дослідження проводили з урахуванням тришарової структури трекової стінки. Іншим варіантом використання хімічного травлення є дослідження дефектної структури матеріалу, зокрема при виготовленні біосенсорів, виявлення особливостей тришарової структури стінки треку. Параметри біосенсора залежать від характеру взаємодії частинок «несучого» потоку зі стінками треку. Тому важливо забезпечити оптимальне співвідношення механічних характеристик різних дефектних шарів, що утворюють стінку треку. Це досягається шляхом контролю процесу хімічного травлення. У майбутньому запропонований метод комп'ютерного моделювання процесу хімічного травлення буде використано при дослідженні дислокацій та меж розділу багатошарових та інших матеріалів.

**Ключові слова:** пористі матеріали, трекові структури, хімічне травлення, міжатомні потенціали, трекові біосенсори, комп'ютерне моделювання.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

# ACTA CARPETHICA

Збірник наукових праць

№ 2 (40), 2023

Здано до набору 26.10.2023 р. Підписано до друку 03.11.2023 р.

Гарнітура Times New Roman. Формат 70×100/16.

Друк офсетний. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 9,26. Зам. № 0124/070. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефони: +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.