

ISSN 2450 – 8640

ACTA CARPATHICA

№ 2 (38)



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

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

ACTA CARPATHICA

Збірник наукових праць

№ 2 (38), 2022

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

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

Члени редакційної колегії:

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

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)

Founder: University of Rzeszow, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University

Засновник: 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: actacarpathica@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: actacarpathica@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:

Сколівські Бескиди (сmt. Східниця, Львівщина).
Автор: Т. Кавецький.

Cover image:

Skolivski Beskydy (s. Skhidnytsia, Lvivshchyna).
Author: T. Kavetskyi.

Рекомендовано до друку Вченою радою Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка (протокол № 14 від 22.12.2022)

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації,
Серія КВ № 25132-15072Р 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, 2022
© Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2022

ЗМІСТ

**Оксана Миколаївна Лупак, Галина Ярославівна Ковальчук,
Галина Миколаївна Клепач**

Вплив способів екстрагування на антиоксидантну активність екстрактів трави рослин <i>Hyssopus officinalis</i> L. та <i>Melissa officinalis</i> L.....	5
The influence of methods of extracting on the antioxidant activity of the extracts of the herb of plants <i>Hyssopus officinalis</i> L. and <i>Melissa officinalis</i> L.....	12

**Наталія Костянтинівна Гойванович, Соломія Степанівна Навачкевич,
Аліна Віталіївна Пукшин, Вероніка Василівна Боган**

Вплив мікродобрива з наночастинками “Avatar 2 organic” на підвищення продуктивності <i>Pisum sativum</i>	14
Effect of “Avatar-2 organic” microfertilizer with nanoparticles on productivity enhancement of <i>Pisum sativum</i>	21

**Лілія Михайлівна Кропивницька, Ірина Володимирівна Бриндзя,
Іван Миколайович Мартинюк, Андрій Михайлович Каршень,
Олена Миколаївна Стаднічук**

Оцінка екологічного ризику стану поверхневих вод річки Опір у межах Національного природного парку «Сколівські Бескиди».....	22
Environmental risk assessment of the surface water condition of the Opir River within the boundaries of the NNP “Scolivsky Beskids”.....	30

**Ivan Donchev, Yurii Bondaruk, Dietmar Fink, Taras Kavetskyy,
Mariya Kushniyazova, Lyudmyla Pan'kiv, Yuliia Kukhazh, Oksana Mushynska,
Oksana Zubrytska, Alina Vinkovskaya, Dmytro Dyachok, Arnold Kiv**

Optimization of ion track characteristics in a track biosensor	31
Оптимізація треккових характеристик іонів у трекковому біосенсорі.....	37

**Світлана Семенівна Монастирська, Мар'яна Іванівна Біла,
Ірина Богданівна Задільська, Софія Іванівна Гункевич**

Поширеність інвазійних видів у Дрогобицькому районі та їх вплив на біорізноманіття.....	38
Prevalence of invasive species in Drohobych district and their impact on biodiversity.....	45

**Степан Семенович Бегей, Наталія Владиславівна Карасевич,
Світлана Ярославівна Волошанська, Оксана Валеріївна Николаїшин**

Ефективність способів основного обробітку осушуваних дерново-підзолистих грунтів під посіви кукурудзи на зерно в умовах Передкарпаття.....	47
Efficiency of methods of main processing of drained seed-fluid soils under sowing of corn for grain in the conditions of the Precarpathian.....	54

Ярослава Ярославівна Павлишак

Стан збереження популяцій рідкісних і зникаючих видів рослин у флорі Львівщини.....	56
Conservation state of populations of rare and endangered plant species in the flora of Lviv oblast.....	61

***Василь Іванович Стахів, Сузанна Василівна Волошин,
Лілія Григорівна Стахів***

Видовий склад і чисельність зимуючих птахів приміського парку міста Стебника....62
Species composition and number of wintering birds of the suburban park in Stebnyk.....69

Ярослав Васильович Лесик, Василина Михайлівна Токар

Вплив нанозинку на морфологічні показники крові кролів.....71
The influence of nanozinc on the morphological indicators of the blood of rabbits.....79

Галина Володимирівна Кречківська

Дендроіндикація екологічного стану техногенних територій в околиці
Бурштинської теплової електростанції.....81
Dendroindication of the environmental state of technological territories in the vicinity
of Burshtynska thermal power station.....85

***Любомира Ігорівна Одосій, Марина Станіславівна Міхалєва,
Михайло Казимирович Старчевський***

Методи оцінки ефективності сонячних елементів із світлочутливими матеріалами...86
Methods of evaluating the efficiency of solar elements with light sensitive materials.....92

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

Галина Ярославівна Ковальчук,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-5261-8422, e-mail: galynakovalchuk5@gmail.com

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, e-mail: pavlishko@yahoo.com

ВПЛИВ СПОСОБІВ ЕКСТРАГУВАННЯ НА АНТИОКСИДАНТНУ АКТИВНІСТЬ ЕКСТРАКТІВ ТРАВИ РОСЛИН *HYSSOPUS OFFICINALIS* L. ТА *MELISSA OFFICINALIS* L.

Анотація. У статті розглядаються питання пошуку лікарських рослин із підвищеним вмістом антиоксидантів і розроблення способів їх максимального вилучення в екстракти. Проаналізовано вплив різних чинників на динаміку процесу екстрагування лікарської сировини, зокрема її виду, хімічної природи, ступеня подрібнення, співвідношення сировини й екстрагента, природи екстрагента, тривалості та температури екстрагування. Досліджено інтегральну антиоксидантну активність (АОА) спиртового й отриманих трьома способами екстрагування водних екстрактів трави гісопу лікарського (*Hyssopus officinalis* L.) і меліси лікарської (*Melissa officinalis* L.), зібраної на навчально-дослідній ділянці Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка. Визначення антиоксидантної активності екстрактів здійснювали потенціометричним методом за допомогою медіаторної системи. З'ясовано, що спиртові екстракти досліджуваної лікарської рослинної сировини виявляють в 1,2–1,8 рази вищу антиоксидантну активність порівняно з водними екстрактами, отриманими різними способами. Показники антиоксидантної активності для спиртових екстрактів трави рослин *H. officinalis* і *M. officinalis* відповідно становлять $2,66 \pm 0,08$ мг АК/мл та $2,94 \pm 0,17$ мг АК/мл. Показано, що кращим способом водної екстракції як трави *H. officinalis*, так і *M. officinalis* є другий спосіб, за якого рослинний матеріал заливали гарячою водою (70 °С), настоювали впродовж 15 хвилин на киплячій водній бані та 45 хвилин охолоджували. Антиоксидантна активність отриманого таким способом водного екстракту *H. officinalis* становить $1,93 \pm 0,1$ мг АК/мл. Цей показник вищий на 31,3% від антиоксидантної активності екстракту, отриманого третім способом, та на 18,4% – першим способом. Усі екстракти *M. officinalis* виявляють більшу антиоксидантну активність порівняно з *H. officinalis*. У разі другого способу водної екстракції антиоксидантна активність витяжок *M. officinalis* становить $2,45 \pm 0,11$ мг АК/мл, що є на 16,7% вищою, ніж у третьому способі, та на 17,2% – від екстракції першим способом.

Ключові слова: екстрагування, антиоксидантна активність, лікарська рослинна сировина, *Hyssopus officinalis* L., *Melissa officinalis* L.

ВСТУП

Несприятливі чинники довкілля, постійні стреси, шкідливі звички, нераціональне харчування, інфекційні захворювання призводять до зниження активності природної антиоксидантної системи та нагромадження вільних радикалів в організмі людини [1]. Вільні радикали ушкоджують структуру ліпідних мембран, змінюють їхню проникність, порушують метаболізм, посилюють запальні процеси, пришвидшують старіння організму. Надлишкова кількість вільних радикалів є однією з основних причин розвитку багатьох захворювань людини, серед яких злякисні новоутворення, хвороби серця та судин, неврологічні патології, захворювання печінки, цукровий діабет, СНІД тощо [2; 3].

Негативному впливу надмірної концентрації вільних радикалів і активних форм кисню здатні запобігати і зменшувати його речовини-антиоксиданти. Значна кількість природних антиоксидантів міститься в рослинній сировині, особливо лікарській. До складу лікарських рослин входять фенольні сполуки, вітаміни (Е, С), каротиноїди, есенціальні жирні кислоти, мінеральні речовини тощо, які виявляють потужну антиоксидантну дію [4–6].

У сучасних умовах особливої актуальності набувають проблеми вивчення вмісту антиоксидантів у лікарських рослинах, пошуку лікарських рослин із підвищеним вмістом антиоксидантів, розроблення способів їх максимального вилучення в екстракти.

Важливим є раціональне врахування чинників, що зумовлюють вплив на ефективність процесу екстрагування, як-от вид лікарської рослинної сировини (далі – ЛРС), вибір методу екстрагування, ступінь подрібнення ЛРС, вибір екстрагента та співвідношення ЛРС – екстрагент, температура та тривалість екстракції [7; 8].

До головних чинників, що сприяють інтенсифікації екстрагування біологічно активних речовин (далі – БАР) із ЛРС, відносять ступінь її подрібнення. Оптимальний ступінь подрібнення забезпечує максимально можливу сумарну поверхню контакту ЛРС з екстрагентом [10], у результаті чого збільшуються швидкість дифузії та повнота витягання екстрактивних речовин [9]. Ступінь подрібнення залежить від морфологічної групи ЛРС.

У виборі екстрагента для екстракції необхідно враховувати хімічну природу ЛРС, зокрема ступінь гідрофільності діючих речовин. ЛРС призначена для зовнішнього та/або внутрішнього застосування, тому необхідно обирати лише ті розчинники, що є безпечними для здоров'я людини. Насамперед варто враховувати здатність БАР, що визначають лікувальний ефект ЛРС, розчинятися у воді й етанолі. Також необхідно підбирати концентрацію останнього, оскільки для інтенсифікації екстрагування різної сировини вміст етанолу у водно-спиртовій суміші може значно відрізнятися [8].

Ще один важливий чинник – співвідношення кількості сировини й екстрагента, який визначає потенційну силу дифузії. Швидкість процесу екстрагування прямо пропорційна градієнту концентрації [10]. Приготування настоянок із ЛРС необхідно здійснювати згідно з вимогами Фармакопеї – із сировини, що не сильно діє, готувати настоянки потрібно у співвідношенні «сировина : екстрагент – 1:5», а із сильнодіючої – 1:10 [11].

На швидкість та повноту процесу екстрагування істотно впливають тривалість і температура екстрагування. Зі збільшенням температури відбувається посилення теплового руху молекул і зростає швидкість дифузії. Однак за дії високої температури

може погіршитися якість екстракту чи виникнути зміна його фізичних властивостей [10]. Тому під час вибору тривалості та температури екстракції необхідно враховувати хімічний склад сировини.

Мета нашого дослідження – встановити методом потенціометрії залежність антиоксидантної активності (далі – АОА) екстрактів гісопу лікарського (*Hyssopus officinalis* L.) та меліси лікарської (*Melissa officinalis* L.) від способів екстракції.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Матеріалом для дослідження була трава рослин *H. officinalis* та *M. officinalis*. Рослинний матеріал збирали на навчально-дослідній ділянці Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, на якій культивуються перспективні до вирощування в умовах Передкарпаття лікарські рослини.

Траву *H. officinalis* та *M. officinalis* заготовляли під час цвітіння рослин. Зрізали квітучі верхівки рослин завдовжки 15–20 см у суху погоду зранку після спаду роси. Сушіння здійснювали в затінених приміщеннях із добрим вентиляванням, повільно, за температури 25–30 °С (оскільки це ефіроолійні рослини).

Для подальшого дослідження рослинний матеріал подрібнювали на лабораторному млині за 1 000 об./хв до лінійних розмірів, згідно з вимогами Державної фармакопеї України (далі – ДФУ) [11].

Водні витяжки ЛРС готували з використанням дистильованої води у співвідношенні 1:10 (з урахуванням коефіцієнта водопоглинання для трави досліджуваних рослин – 2,0) такими способами:

1. Рослинний матеріал заливали водою кімнатної температури, настоювали шляхом нагрівання упродовж 15 хв на киплячій водяній бані та 45 хв охолоджували.
2. Рослинний матеріал заливали гарячою водою (70 °С), настоювали шляхом нагрівання упродовж 15 хв на киплячій водяній бані та 45 хв охолоджували.
3. Рослинний матеріал заливали окропом і настоювали впродовж 15 хв.

Спиртові витяжки готували з використанням 70% спирту у співвідношенні 1:10 та подальшим настоюванням 14 днів [11].

Після завершення часу, необхідного для водної та спиртової екстракції, витяжку зливали через п'ятишарову стерильну марлю, залишок ЛРС відтискали, промивали невеликою кількістю екстрагенту, знову відтискали та доводили проціджену витяжку екстрагентом до необхідного об'єму.

Визначення інтегральної АОА здійснювали потенціометрично з використанням медіаторної системи (далі – МС) [12], модифікувавши методи Брайніної та співроб. [13] і Аронбаєва і співроб. [14].

Для вимірювання окисно-відновного потенціалу (далі – ОВП) використовували прилад марки рН-150 МИ. Для приготування МС брали $K_3[Fe(CN)_6]$ і $K_4[Fe(CN)_6]$ у фосфатному буфері з рН 7,2 [12; 13]. Стандартом інтегральної АОА були свіжовиготовлені водні та спиртові розчини аскорбінової кислоти (далі – АК) різної концентрації. Обрахунок інтегральної АОА проводили на основі отриманих двох калібрувальних графіків залежності різниці потенціалу МС до та після додавання розчину АК від логарифма її концентрації в початковому стандартному розчині для водного та спиртового розчинів АК. Такі калібрування проводили для кожної наступної серії екстрактів ЛРС [13].

Інтегральну антиоксидантну активність АОАх для екстрактів трави рослин *H. officinalis* і *M. officinalis* обчислювали за загальною формулою для отриманих калібрувальних залежностей (1):

$$\lg[C(АК)] = A \cdot \Delta E + B, \quad (1)$$

де А, В – коефіцієнти відповідних калібрувальних залежностей;
 ΔE – різниця між ОВП МС до та після додавання розчину,
у якому вимірювали інтегральну АОА.

АОА_x в одиницях концентрації АК (мг/мл) в екстракті обчислювали за формулою (2):

$$АОА_x = 10^{\lg[C(АК)]}, \text{ [мг АК/ мл]} \quad (2)$$

Отримані результати опрацьовували статистично з використанням програми Microsoft Office Excel, розбіжності між вибірками вважали достовірними за $p \leq 0,05$. Аналізували інтегральну АОА досліджуваної ЛРС у трьох біологічних і п'яти аналітичних повтореннях. Було визначено середнє арифметичне та квадратичне значення (М), стандартну похибку середнього (m), коефіцієнт Стьюдента та достовірність для кожної вибірки показників.

РЕЗУЛЬТАТИ

З літературних джерел [15] відомо, що *H. officinalis* синтезує значну кількість БАР: ефірну олію (0,6–1%), стероїди, флавоноїди, тритерпеноїди, вітаміни, органічні кислоти, жирні олії. Велике практичне значення має ефірна олія, що синтезується в листку та чашечці оцвітини та, поряд із багатьма іншими БАР, проявляє антиоксидантні властивості.

У результаті проведених досліджень із вивчення впливу способу екстракції на величину АОА екстрактів трави *H. officinalis* з'ясовано, що найвищою АОА характеризуються спиртові витяжки рослини, що становить $2,66 \pm 0,08$ мг АК/мл (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика АОА витяжок трави *Hyssopus officinalis* за різних способів екстрагування (М ± m, n = 5)

Спосіб екстрагування	Різниця потенціалів, (ΔE), мВ	$\lg C$ (АК)	АОА, мг АК / мл
Настій. 1 спосіб	111,9	0,21	$1,63 \pm 0,08$ * t = 3,32, p = 0,01; ** t = 2,34, p = 0,05
Настій. 2 спосіб	115,3	0,28	$1,93 \pm 0,1$ ** t = 2,31, p = 0,05
Настій. 3 спосіб	108	0,12	$1,47 \pm 0,09$ * t = 3,80, p = 0,01; ** t = 3,42, p = 0,01
Спиртовий екстракт	124	0,42	$2,66 \pm 0,26$

Примітка: t – критерій Стьюдента, p – достовірність, * – порівняння щодо АОА спиртового екстракту, ** – порівняння щодо АОА настою, отриманого 2-им способом

Показник інтегральної АОА у водних витяжках рослини є нижчим в 1,4–1,8 раз порівняно зі спиртовими. Це зумовлено тим, що більшість БАР, які містяться у траві *H. officinalis*, мають нижчий ступінь гідрофільності, а тому краще екстрагуються

етанолом. Етанол має низьку величину діелектричної сталої – 25,2, що значно нижча, ніж у води (78,3), тому може інтенсивніше екстрагувати речовини, у яких меншою мірою виражені гідрофільні властивості.

Аналіз водних витягів із трави рослини засвідчив, що кращим способом водної екстракції для гісопу є настій, отриманий 2-им способом. За такого способу екстрагування АОА екстракту рослини становить $1,93 \pm 0,1$ мг АК/мл, що на 31,3% є вищою, ніж у 3-му способі, та на 18,4% від екстракції 1-им способом. Це можна пояснити тим, що для екстракції БАР трави *H. officinalis* не досить настоювання протягом 15 хв, як у 3-му способі, та тривалості дії температурного чинника – як у 1-му способі. Різниця АОА настоїв *H. officinalis*, отриманих 1-им та 3-ім способами, не є достовірною.

ЛРС *M. officinalis* характеризується вмістом ефірної олії (від 0,05 до 0,35%) з лимонним запахом (цитраль, гераніол, мірцен тощо), 0,007–0,01% каротину, майже 5% дубильних речовин, органічних кислот, серед яких кавова, олеанолова, урсолова тощо, речовин фенольної природи (головно похідні коричної кислоти, флавоноїди, зокрема, глікозиди лютеоліну й апігеніну). Під час кількісного визначення фенольних сполук у траві рослини визначають уміст гідроксикоричних кислот, у перерахунку на розмаринову кислоту [16]. Уважають, що гідроксикоричні кислоти виявляють антиоксидантну, антирадикальну, протівірусну, імуностимулювальну, гіпоазотемічну, антибластому, антибактеріальну, протизапальну фармакологічну дію [17].

Під час проведення аналізу АОА екстрактів рослин, отриманих різними способами екстрагування, спостерігали достовірно більшу ($p = 0,01$, $p \leq 0,05$) різницю електричних потенціалів, що виникали в МС за внесення в неї спиртових витяжок, порівняно з водними (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристика АОА витяжок трави *Melissa officinalis* за різних способів екстрагування ($M \pm m$, $n = 5$)

Спосіб екстрагування	Різниця потенціалів, (ΔE), мВ	lgC(АК)	АОА, мг АК/мл
Настій. 1 спосіб	117	0,32	$2,09 \pm 0,1$ * $t = 4,29$, $p = 0,01$; ** $t = 2,42$, $p = 0,05$
Настій. 2 спосіб	120	0,39	$2,45 \pm 0,11$ ** $t = 2,42$, $p = 0,05$
Настій. 3 спосіб	117,4	0,33	$2,1 \pm 0,1$ * $t = 4,26$, $p = 0,01$; ** $t = 2,35$, $p = 0,05$
Спиртовий екстракт	126,1	0,47	$2,94 \pm 0,17$

Примітка: t – критерій Стьюдента, p – достовірність, * – порівняння щодо АОА спиртового екстракту, ** – порівняння щодо АОА настою, отриманого 2-им способом

Результати досліджень щодо впливу способу екстракції на величину АОА екстрактів трави *M. officinalis* засвідчили, що спиртові витяжки ЛРС меліси виявляють в 1,2–1,4 раз вищу АОА порівняно з іншими способами водної екстракції. Це зумовлено поганою розчинністю у воді, проте доброю розчинністю у спирті фармакологічно активних речовин трави меліси лікарської, зокрема коричної кислоти.

З'ясовано, що водні екстракти трави меліси характеризуються різною АОА, залежно від способу екстрагування. Зокрема, найвищу АОА – 2,45 мг АК/мл – виявили в настоях

рослин, отриманих другим способом, що на 16,7% є вищою, ніж у 3-му способі, та на 17,2% від екстракції 1-им способом. Отримані результати АОА екстрактів трави *M. officinalis*, приготовлених 1-им та 3-ім способами, засвідчили, що між ними немає достовірної різниці. Це, на нашу думку, може бути зумовлено особливістю гістологічної будови трави меліси, що є досить пухкою та сприяє екстракції. Тому часу настоювання 10 хв у 3-му способі екстрагування та тривалість його за дії поступового підвищення температури в 1-му способі екстрагування більш-менш однаково вплинули на повноту екстракції БАР *M. officinalis*, що виявляють антиоксидантну дію.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що спиртовий і водні екстракти, отримані різними способами, трави *M. officinalis* характеризуються вищими значеннями інтегральної АОА порівняно з такими ж показниками для трави *H. officinalis*. Показано, що кращим способом водної екстракції трави *H. officinalis* і *M. officinalis* є 2-ий спосіб, за якого рослинний матеріал заливали гарячою водою (70 °С), настоювали впродовж 15 хв на киплячій водяній бані та 45 хв охолоджували. Спиртові витяжки досліджуваної рослинної сировини виявляють в 1,2–1,8 раз вищу АОА порівняно з водними екстрактами, отриманими різними способами.

У перспективі планується продовжити пошук оптимального способу екстрагування, що забезпечив би високі показники АОА екстрактів ЛРС, охопити дослідженнями інші види рослин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антиоксидантні властивості деяких видів рослинної сировини / М. Головка та ін. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2011. Т. 4. № 6 (52). С. 9–11.
2. Гончарук Є., Коршун М. Вільнорадикальне окиснення як універсальний неспецифічний механізм пошкоджуючої дії шкідливих чинників довкілля (огляд літератури та власних досліджень). *Журнал Академії медичних наук України*. 2004. Т. 10. № 1. С. 131–150.
3. Гиріна О., Глущенко А. Перебіг вільнорадикальних процесів і підбір антиоксидантної терапії при ішемічній хворобі серця. *Ліки України*. 2003. № 4. С. 13–19.
4. Антиоксидантна система захисту організму: огляд / І. Беленічев та ін. *Сучасні проблеми токсикології*. 2002. № 3. С. 5–17.
5. Dillard C.J., German J.B. Phytochemicals: nutraceuticals and human health. *J. Sci. Food Agric.* 2000. Vol. 80. P. 1744–1756.
6. Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids / D. Prochazkova et al. *Fitoterapia*. 2011. Vol. 82. Iss. 4. P. 513–523. DOI: 10.1016/j.fitote.2011.01.018.
7. Modern extraction methods for preparation of bioactive plant extracts / A. Gupta et al. *International J. of Applied and Natural Sciences*. 2012. Vol. 1. Iss. 1. P. 8–26.
8. Дослідження параметрів екстракції трави приворотня / А. Грицик та ін. *Modern Pharmacy and Medicine*. 2021. Vol. 1. Iss. 2. P. 1–9.
9. Дослідження технологічних характеристик квіток календули (*Flores Calendulae*) для оптимізації екстракції флавоноїдів / О. Протункевич та ін. *Південноукраїнський медичний науковий журнал*. 2019. № 24. С. 56–60.
10. Бандура В., Коляновська Л. Аналіз сучасних методів та факторів, що впливають на процес екстрагування. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія «Технічні науки»*. 2014. № 2 (85). С. 130–135.

11. Державна Фармакопея України : у 3 т. 2-е вид. Харків : Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. Т. 1. 1128 с.
12. Потенціометричне визначення антиоксидантної активності екстрактів рослин *Calendula officinalis* L. за впливу біостимуляторів росту / О. Лупак та ін. *Scientific Journal "Science Rise: Biological Science"*. 2017. № 6 (9). С. 10–13.
13. Potentiometric Study of Antioxidant Activity: Development and Prospects / A. Ivanova et al. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2015. Vol. 45. Iss. 4. P. 311–322.
14. Исследование антиоксидантной активности растительности Ферганской долины / Д. Аронбаев и др. *Молодой учёный*. 2015. № 4 (84). С. 30–34.
15. Котюк Л. Особливості мікрморфологічної будови гісопу лікарського. *Modern Phytomorphology*. 2016. Vol. 10. P. 59–67.
16. Шпичак О. Ідентифікація трави меліси, шишок хмелю та суцвіть лаванди у сумішах з рослинної сировини методом тонкошарової хроматографії. *Вісник фармації*. 2012. № 1 (69). С. 57–60.
17. Дослідження кислот гідроксикоричних трави чистецю Зібольда / С. Марчишин та ін. *Медична та клінічна хімія*. 2016. Т. 18. № 3. С. 13–16.

REFERENCES

1. Holovko, M.P., Penkina, N.M., Kolesnyk, V.V. (2011). Antyoksydantni vlastyvoli deiaxykh vydiv roslynnoi syrovyny [Antioxidant properties of some types of vegetable raw materials]. *Shkidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Т. 4. № 6 (52). P. 9–11 [in Ukrainian].
2. Honcharuk, Ye.H., Korshun, M.M. (2004). Vilnoradykalne okysnennia yak universalnyi nespetsyfichniy mekhanizm poshkodzhuuchoi dii shkidlyvykh chynnykiv dovkillia (ohliad literatury ta vlasnykh doslidzhen) [Free radical oxidation as a universal non-specific mechanism of damaging effects of harmful environmental factors (review of the literature and own research)]. *Zh-l Akad. med. nauk Ukrainy – Journal of the Academy of Medical Sciences of Ukraine*. Т. 10. № 1. P. 131–150 [in Ukrainian].
3. Hyrina, O., Hlushchenko, A. (2003). Perebih vilnoradykalnykh protsesiv i pidbir antyoksydantnoi terapii pry ishemichnii khvorobi sertsia [The course of free radical processes and selection of antioxidant therapy in coronary heart disease]. *Liky Ukrainy – Medicine of Ukraine*. № 4. P. 13–19 [in Ukrainian].
4. Bielenichev, I.F., Levytskyi, I.F., Hunskyi, Yu.I. (2002). Antyoksydantna systema zakhystu orhanizmu: ohliad [Antioxidant system of body protection: overview]. *Suchasni problemy toksykolohii – Modern problems of toxicology*. № 3. P. 5–17 [in Ukrainian].
5. Dillard, C.J., German, J.B. (2000). Phytochemicals: nutraceuticals and human health. *J. Sci. Food Agric*. Vol. 80. P. 1744–1756 [in English].
6. Prochazkova, D., Bousova, I., Wilhelmova, N. (2011). Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids. *Fitoterapia*. Vol. 82. Iss. 4. P. 513–523. DOI: 10.1016/j.fitote.2011.01.018 [in English].
7. Gupta, A., Naraniwal, M., Kothari, V. (2012). Modern extraction methods for preparation of bioactive plant extracts. *International J. of Applied and Natural Sciences*. 2012. Vol. 1. Iss. 1. P. 8–26 [in English].
8. Grytsyk, A., Dubel, N., Grytsyk, L. (2021). Doslidzhennia parametriv ekstraktsii travy pryvorotnia [Study of the parameters of the extraction of lovage grass]. *Modern Pharmacy and Medicine*. Vol. 1. Iss. 2. P. 1–9 [in Ukrainian].
9. Protunkevych, O.O., Prysiashniuk, K.O., Ponomarova, L.A. (2019) Doslidzhennia tekhnolohichnykh kharakterystyk kvitok kalenduly (*Flores Calendulae*) dlia optymizatsii ekstraktsii flavonoidiv [Study of technological characteristics of calendula flowers (*Flores*

- Calendulae) for optimization of flavonoid extraction]. *Pivdennoukrainskyi medychnyi naukovi zhurnal – South Ukrainian medical scientific journal*. № 24. P. 56–60 [in Ukrainian].
10. Bandura, V.M., Kolianovska, L.M. (2014). Analiz suchasnykh metodiv ta faktoriv, shcho vplyvaiut na protses ekstraktsii [Analysis of modern methods and factors affecting the extraction process]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky" – Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian. Series "Technical sciences"*. № 2 (85). P. 130–135 [in Ukrainian].
 11. Derzhavna Farmakopeia Ukrainy : v 3 t. Derzhavne pidpriemstvo "Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyi tsentr yakosti likarskykh zasobiv". 2-e vyd. –State Pharmacopoeia of Ukraine : in 3 vol. State Institution "Ukrainian Scientific Pharmacopoeial Center for Quality of Medicines". The 2-nd edition. Kharkiv : Derzhavne pidpriemstvo "Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyi tsentr yakosti likarskykh zasobiv", 2015. T. 1. 1128 p. [in Ukrainian].
 12. Lupak, O.M., Kovalchuk, H.Ya., Antonyak, H.L. (2017). Potentsiometrychne vyznachennia antyoksydantnoi aktyvnosti ekstraktiv roslyn *Calendula officinalis* L. za vplyvu biostymulatoriv rostu [Potentiometric determination of antioxidant activity of Calendula officinalis L. plant extracts under the influence of growth biostimulators]. *Scientific Journal "ScienceRise: Biological Science"*. № 6 (9). P. 10–13 [in Ukrainian].
 13. Ivanova, A.V., Gerasimova, E.L., Brainina, K.Z. (2015). Potentiometric Study of Antioxidant Activity: Development and Prospects. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. Vol. 45. Iss. 4. P. 311–322 [in English].
 14. Aronbaev, D.M., Ten, V.A., Julaev, M.F., Aronbaev, S.D. (2015). Issledovanie antioksidantnoj aktivnosti rastitel'nosti Ferganskoj doliny [Investigation of the antioxidant activity of vegetation of the Fergana valley]. *Molodoj uchënyj – Young scientist*. № 4 (84). P. 30–34 [in Russian].
 15. Kotiuk, L.A. (2016). Osoblyvosti mikromorfologichnoi budovy hisopu likarskoho [Peculiarities of the micromorphological structure of medicinal hyssop]. *Modern Phytomorphology*. Vol. 10. P. 59–67 [in Ukrainian].
 16. Shpychak, O.S. (2012) Identyfikatsiia travy melisy, shyshok khmeliu ta sutsvit lavandy u sumishakh z roslynnoi syrovyny metodom tonkosharovoï khromatohrafiï [Identification of lemon balm grass, hop cones and lavender flowers in mixtures of vegetable raw materials by thin-layer chromatography]. *Visnyk farmatsii – News of Pharmacy*. № 1 (69). P. 57–60 [in Ukrainian].
 17. Marchyshyn, S.M., Husak, L.V., Berdei, T.S. (2016). Doslidzhennia kyslot hidroksykorychnykh travy chystetsiu Zibolda [Research of hydroxycinnamic acids of Siebold's chistacea herb]. *Medychna ta klinichna khimii – Medical and Clinical Chemistry*. T. 18. № 3. P. 13–16 [in Ukrainian].

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF METHODS OF EXTRACTING ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF THE EXTRACTS OF THE HERB OF PLANTS *HYSSOPUS OFFICINALIS* L. AND *MELISSA OFFICINALIS* L.

The article considers the issue of the search of medicinal plants with higher content of antioxidants and working out the methods of their maximal withdrawal into extracts. It deals with the analysis of the influence of different factors on the dynamics of process of extracting of medicinal plant raw material, in particular, its kind, chemical nature, degree of grinding, ratio of raw material and extractant, nature of extractant, duration and temperature of extracting. We have

investigated the integral antioxidant activity (AOA) of alcohol and obtained with the help of three methods extracting of aqueous extracts of the herb of medicinal hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) and lemon balm (*Melissa officinalis* L.), gathered on the educational and research plot of Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University. One determined AOA of the extracts by potentiometric method with the help of mediating system. We have ascertained, that alcohol extracts of the investigated substance of the medicinal plant raw material detect AOA 1,2–1,8 times higher compared to the aqueous ones, obtained by different methods. The indices of AOA for the alcohol extracts of the herb of plants *H. officinalis* and *M. officinalis* respectively are $2,66 \pm 0,08$ mg AA/ml and $2,94 \pm 0,17$ mg AA/ml. We have shown, that best way of aqueous extracting of both the herb *H. officinalis* and *M. officinalis* is the second one, at which one the plant raw material was poured on with hot water (70 °C), infused during 15 min. on boiling water steam and condensed 45 min. The AOA of the obtained with one of those methods of aqueous extract *H. officinalis* is $1,93 \pm 0,1$ mg AA/ml. This index is by 31,3% higher from AOA of the extract, obtained by the third method, and by 18,4% – by the first one. All the extracts of *M. officinalis* detect higher AOA compared to the *H. officinalis*. In case of the second method of aqueous extraction of AOA extracts of *M. officinalis* makes $2,45 \pm 0,11$ mg AA/ml, that is by 16,7% higher, compared to the third method and by 17,2% – from extracting by the first method.

Keywords: extracting, antioxidant activity, medicinal plant raw material, *Hyssopus officinalis* L., *Melissa officinalis* L.

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, e-mail: natahoyvan@gmail.com

Соломія Степанівна Навачкевич,

здобувач середньої освіти
Дрогобицький ліцей Дрогобицької міської ради, Україна

Аліна Віталіївна Пукшин,

здобувач другого рівня вищої освіти
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
e-mail: pukshyn.alina1855@gmail.com

Вероніка Василівна Боган,

здобувач другого рівня вищої освіти
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
e-mail: veronikamel18@gmail.com

ВПЛИВ МІКРОДОБРИВА З НАНОЧАСТИНКАМИ “AVATAR 2 ORGANIC” НА ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ *PISUM SATIVUM*

Анотація. Упродовж останніх років ведеться постійний пошук способів підвищення стійкості та продуктивності сільськогосподарських культур засобами, що не будуть шкодити довкіллю (як комплексні органічні добрива) і не будуть акумулюватися у ґрунтах. Багато уваги приділено бактерійним добривам, проте їх використання є дорогим і видоспецифічним для рослин. Мікродобриво з наночастинками “Avatar-2 organic” є препаратом, призначеним для покращення азотно-фосфорного живлення, підвищення стресостійкості та продуктивності рослин.

У процесі дослідження впливу мікродобрива з наночастинками “Avatar-2 organic” на морфогенез *Pisum sativum* вивчали такі показники: схожість насіння гороху посівного, біотестування насіння та визначення фітотоксичності впливу мікродобрива, кількісні показники сходження в умовах *in vitro* на ґрунтовому субстраті з різним дозування мікродобрива.

Установлено, що відсоток схожості насіння гороху посівного залежить від дозування мікродобрива “Avatar-2 organic”. Відсоток схожості насіння зростає пропорційно до збільшення дозування мікродобрива, якщо за дозування 5 мкл схожість зростає лише на 6,7%, то за 100 мкл – на 26,7% щодо контролю. Приріст корінців насіння гороху посівного в дослідних групах є вищим за контрольні значення, тобто мікродобриво “Avatar-2 organic” не зумовлює токсичної дії та затримки росту рослин.

Установлено, що обробка насіння гороху звичайного мікродобривом із наночастинками “Avatar 2 organic” приводить до підвищення схожості насіння, отже, до збільшення продуктивності, зменшення періоду сходів, покращення морфогенезу рослин, кращого розвитку кореневої системи через пришвидшення приросту корінців. Найвищі показники встановлено за внесення мікродобрива “Avatar-2 organic” у дозуванні 50 і 100 мкл.

Ключові слова: мікродобриво, “Avatar-2 organic”, продуктивність, морфогенез, схожість насіння, біотестування, *Pisum sativum*.

ВСТУП

Упродовж останніх десятиліть синтезовано багато нових наносполук, які активно використовуються в різних сферах людської діяльності, як-от наночастинки оксидів кремнію, титану, цинку, заліза, церію, алюмінію, міді, кобальту, нікелю, срібла, золота [1–3]. Використання наночастинок, нанотехнологій і наноматеріалів є перспективним у медицині, харчовій промисловості, будівництві, сільському господарстві й охороні навколишнього середовища [2–5].

Використання нанопрепаратів у рослинництві сприяє росту та розвитку рослин, підвищенню врожайності та якості продукції сільськогосподарських культур, активізує механізми підвищення стійкості рослин до стресів, патогенів, оздоровлення насіння, покращення його посівних властивостей [6–8]. Завдяки високій біодоступності більшість наночастинок можуть проникати у клітини рослин і брати участь у найважливіших біохімічних і фізіологічних процесах, а деякі з них – у формуванні балансу мікроелементів [9]. Тому деякі наночастинки використовують як біологічні регулятори морфогенетичних процесів у рослин [10].

Мікродобриво з наночастинками “Avatar-2 organic” – це мікроелементний 20-тикомпонентний препарат для покращення кореневого живлення рослин, підвищення їх стресостійкості та продуктивності [11]. До складу мікродобрива входять нанокарбоксилати калію, магнію, бору, цинку, заліза, міді, марганцю, молібдену, кобальту, ванадію, нікелю, титану, лантану, селену, германію, сірки, йоду, кремнію, срібла, церію та вода очищена [11; 12].

Метою дослідження є вивчення впливу мікродобрива “Avatar-2 organic” на підвищення продуктивності гороху посівного (*Pisum sativum*) як рослинного тест-об’єкта.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Об’єктом дослідження є горох посівний (*Pisum sativum*) фірми «Щедрий урожай» (Україна). Робота виконувалася на базі Науково-дослідної лабораторії експериментальної біології Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка впродовж 2021 р. за такою схемою:

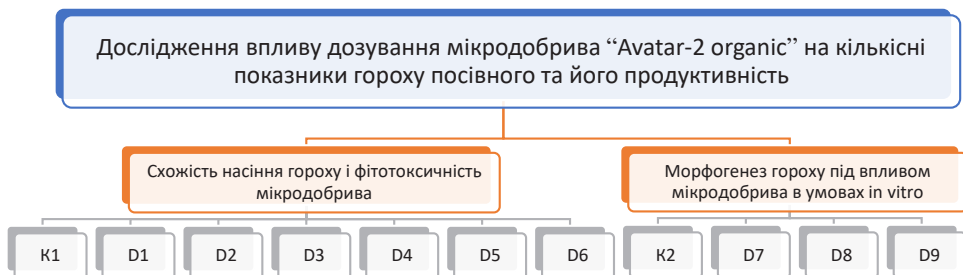


Рис. 1. Схема досліджень

Де K1 – контроль (вироснування насіння на дистильованій воді); D1 – дослідна група з дозуванням мікродобрива 5 мкл на 5 мл дистильованої води (15 насіння);

D2 – 10 мкл мікродобрива; D3 – 20 мкл мікродобрива; D4 – 30 мкл мікродобрива; D5 – 50 мкл мікродобрива; D6 – 100 мкл мікродобрива; K2 – контроль (вирощування насіння у ґрунтовому субстраті); D7 – дослідна група з дозуванням мікродобрива 5 мкл на 5 мл дистильованої води і вирощуванням на ґрунтовому субстраті; D8 – 50 мкл мікродобрива; D9 – 100 мкл відповідно.

У процесі дослідження встановлювали такі показники: схожість насіння гороху посівного, біотестування насіння та визначення фітотоксичності впливу мікродобрива, кількісні показники сходження в умовах *in vitro* на ґрунтовому субстраті з різним дозуванням мікродобрива.

Лабораторна схожість насіння визначалася шляхом його пророщування за оптимальних умов протягом конкретного для кожної культури терміну (для більшості культур – 7–8 діб). Тип субстрату, температура, умови аналізування (при світлі чи у темряві), строки обліку для кожної культури визначені в ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» та в міжнародному стандарті ISTA [13]. Пророщували насіння гороху на чашках Петрі в термостаті за температури +25 °С. До 5 мл дистильованої води додавали різне дозування мікродобрива “Avatar 2 organic” (5, 10, 20, 30, 50, 100 мкл).

Біотестування проводили за методикою А. Горової [14]. Як тест-культури використовували насіння гороху посівного. Довжину коренів тест-культур вимірювали за допомогою лінійки на 4, 7 і 10-ту добу спостережень. Розраховували середній показник для кожного тест-об’єкта. Результати обробляли статистично. Для порівняння токсичності за ростовим тестом фітоіндикатора використовували шкалу рівнів фітотоксичності.

В умовах *in vitro* горох посівний вирощували на ґрунтовому субстраті з різним дозуванням мікродобрива з наночастинками “Avatar-2 organic”. Попередньо насіння гороху замочували в дистильованій воді (1 доба). У дослідних зразках до води, у якій замочували насіння, додавали мікродобриво в дозуванні 5, 50, 100 мкг на 5 мл води. Для досліду використовували торф’яний субстрат PEATFIELD. Горох посівний вирощували в кімнатних умовах за температури +21 °С упродовж 10 діб, фіксуючи добу появи перших сходів і морфогенез рослин.

РЕЗУЛЬТАТИ

Вплив дозування мікродобрива “Avatar-2 organic” на схожість насіння гороху посівного. Упродовж останніх років ведеться постійний пошук способів підвищення стійкості та продуктивності сільськогосподарських культур засобами, що не будуть шкодити довкіллю (як комплексні органічні добрива) і не будуть акумулюватися у ґрунтах. Багато уваги приділено бактерійним добривам, проте їх використання є дорогим і видоспецифічним для рослин [7; 8; 10].

Одним із методів підвищення стійкості рослин є додавання наночастинок деяких біогенних металів, що впливають на етапи онтогенезу. Мікродобриво “Avatar-2 organic” із наночастинками є добривом українського виробництва (ТОВ «НБК «Аватар»») і має вигідне ціноутворення [12]. Завданням роботи було визначення дозування мікродобрива для підвищення кількісних показників гороху посівного (*Pisum sativum*).

Першим етапом роботи було встановлення залежності лабораторного сходження насіння гороху від дозування мікродобрива “Avatar-2 organic”. Повторність досліду 5-ти разова. Контролем є схожість насіння на дистильованій воді. На рис. 2 зображено різницю між дослідними та контрольними чашками.



Рис. 2. Схожість насіння гороху в різних групах

Під час проведення аналізу результатів досліджень необхідно зазначити, що додавання мікродобрива в дозуванні 20, 30, 50 і 100 мкл приводить до швидшого сходження насіння, оскільки в цих групах воно проростає на 2 доби, а в контрольних і дослідних (D1 – 5 мкл, D2 – 10 мкл) перші сходи з’являються на 3 доби.

Додавання мікродобрива “Avatar-2 organic” також впливає на тривалість усього періоду сходів, якщо в дослідних групах D3 – D6 вона становить 3 доби, то в D2 – 4 доби, D1 і контрольній – 5 діб. Результати лабораторної схожості насіння гороху посівного в дослідній групі з дозуванням мікродобрива 5 мкл достовірно не відрізняються від контрольної.

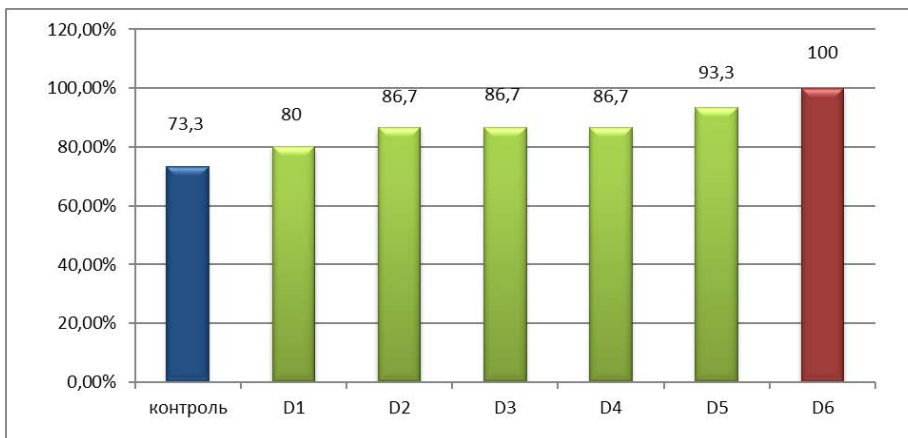


Рис. 3. % схожості насіння гороху посівного в разі додавання мікродобрива

Порівняння % схожості насіння гороху залежно від дозування мікродобрива свідчить, що відсоток сходження насіння зростає пропорційно до збільшення дозування “Avatar-2 organic”. Якщо за дозування 5 мкл схожість зростає лише на 6,7%, то за 100 мкл – на 26,7% щодо контролю. Також встановлено, що відсоток сходження у групах D2 – D4 не відрізняється. Додавання 100 мкл мікродобрива зумовлює 100% сходження насіння гороху посівного.

Аналіз фітотоксичності мікродобрива з наночастинками “Avatar-2 organic” щодо насіння гороху звичайного. Перший етап показав достовірний позитивний результат мікродобрива з наночастинками “Avatar-2 organic” на сходження насіння гороху посівного. Проте відомо, що надмірна кількість наночастинок може призводити до їх токсичного ефекту щодо рослин, тобто зворотної дії. Тому наступним етапом нашої роботи було проведення біотестування мікродобрива “Avatar-2 organic” методом Горвої та встановлення фітотоксичного ефекту. Приріст корінців насіння гороху

посівного в дослідних групах на 4-ту добу є вищим за контрольні значення, тобто мікродобриво “Avatar-2 organic” не зумовлює токсичної дії та затримки росту рослин.

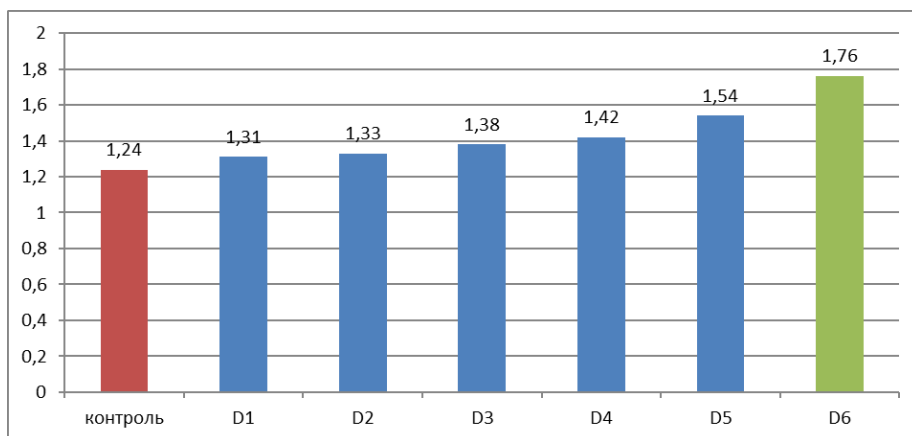


Рис. 4. Приріст корінців насіння гороху звичайного на тлі додавання мікродобрива, см

Аналіз результатів біотестування насіння гороху вказує на позитивний ефект мікродобрива щодо темпів приросту корінців. Це добре простежується на дослідних групах D5 і D6, де довжина корінців зростає на 24,2 і 41,9% щодо контрольних значень. Менше дозування мікродобрива (5–30 мкл) зумовлює незначний приріст корінців гороху щодо контрольних показників (5,6–14,5%).

Вплив мікродобрива “Avatar-2 organic” на морфогенез гороху звичайного. Найкращі кількісні показники зростання продуктивності гороху звичайного встановлено за дозування мікродобрива “Avatar-2 organic” 50 і 100 мкл, результатами біотестування також підтверджено, що таке дозування не зумовлює фітотоксичного ефекту. Тому завершальним етапом нашої роботи було вирощення насіння гороху звичайного за різного дозування “Avatar-2 organic” на ґрунтовому субстраті за кімнатної температури.

Після аналізу результатів досліджень встановлено, що перші сходи насіння гороху на ґрунтовому субстраті за додавання мікродобрива спостерігаються на добу пізніше, ніж у разі лабораторного пророщування. Однак загалом період сходів подібний за тривалістю, додавання мікродобрива зменшує його на 1 добу.

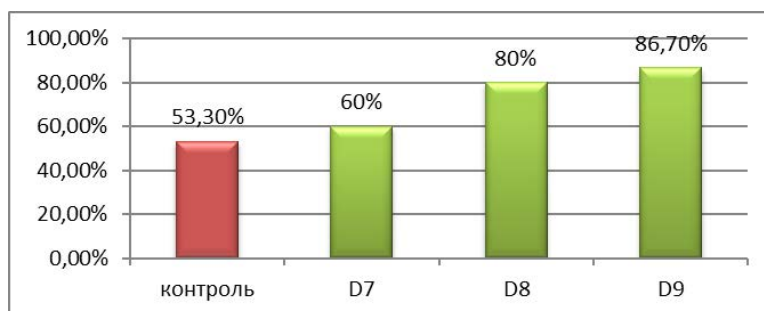


Рис. 5. % схожості насіння гороху посівного в разі додавання мікродобрива на ґрунтовому субстраті

Схожість насіння гороху звичайного в кімнатних умовах у разі додавання мікродобрива дещо нижча за лабораторну. Найвища вона встановлена на дослідних групах із дозуванням мікродобрива 50 і 100 мкл – збільшується на 27,7 і 33,4% відповідно до контрольних показників.

Підсумовуючи результати досліджень, можна стверджувати, що удобрення насіння гороху звичайного мікродобривом із наночастинками “Avatar-2 organic” у дозуванні 50 і 100 мкл приводить до підвищення його схожості та продуктивності.

ВИСНОВКИ

1. Відсоток схожості насіння гороху посівного залежить від дозування мікродобрива “Avatar-2 organic”. Приріст корінців насіння гороху посівного в дослідних групах є вищим за контрольні значення, тобто мікродобриво “Avatar-2 organic” не зумовлює токсичної дії та затримки росту рослин.

2. Обробка насіння гороху звичайного мікродобривом із наночастинками “Avatar-2 organic” приводить до підвищення схожості насіння, отже, до збільшення продуктивності, зменшення періоду сходів, покращення морфогенезу рослин, кращого розвитку кореневої системи через пришвидшення приросту корінців. Найвищі показники встановлено в разі внесення мікродобрива “Avatar-2 organic” у дозуванні 50 і 100 мкл.

ЛІТЕРАТУРА

1. Експериментальна оцінка безпеки металевих наночастинок мікроелементів / І. Трахтенберг та ін. *Мікроелементи в медицині, ветеринарії, харчуванні: перспективи співпраці та розвитку* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 2014. С. 263–267.
2. Use of magnetic susceptibility measurement for analysis of self-organized magnetic nanoparticles in biological systems / T. Kavetsky et al. *Nanoscience and Nanotechnology in Security and Protection against CBRN Threats*. 2020. P. 215–221.
3. Bioavailability enhancement of bioactive compounds using food-grade engineered nanomaterials: a review of evidence / K. Oehlke et al. *Food Funct.* 2014. 25. 5 (7). P. 1341–59.
4. Prodanchuk N., Balan G. Nanotoxicology: Status and prospects of research. *Modern problems of toxicology*. 2009. № № 3–4. P. 4–18.
5. Salata O. Applications of nanoparticles in biology and medicine. *J. of nanobiotechnology*. 2004. № 1. P. 3.
6. Kumari M., Chandrasekaran N. In vivo nanotoxicity assays in plant models. *Methods Mol Biol.* 2012. 926. P. 399–410. DOI: 10.1007/978-1-62703-0021_26.
7. Nanotechnology in sustainable agriculture: future aspects and present concerns / R. Prasad et al. *African Journal of Biotechnology*. 2014. № 6. P. 705–713.
8. Ковбасенко Р., Дмитрієв О. Використання наночастинок біогенних елементів і хітозану при вирощуванні пасльонових in vitro та in vivo. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія «Біологія»*. 2019. № 1 (46). С. 73–80.
9. Sabir S., Chaudhari S.K., Arshad M. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *The Scientific World Journal*. 2014. № 11. P. 1–8.
10. Вплив мікродобрив та імуномодельючих препаратів на лабораторну схожість насіння / С. Каленська та ін. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2018. № 94. С. 9–16.

11. Комплексне мікродобриво Аватар. ТУ У 24.1-37033728-001:2010. Реєстраційний номер: серія Б № 04535 від 04.09.2017 р.
12. Аватар. URL: http://www.avataragro.com/page/avatar_2.php (дата звернення: 26.01.2022).
13. Схожість насіння як один із важливих показників. URL: <https://www.syngenta.ua/news/povini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvikh-pokaznykiv> (дата звернення: 20.10.2021).
14. Загальна екологія : практичний курс. Ч. 1 / С. Руденко та ін. Чернівці : Рута, 2003. 320 с.

REFERENCES

1. Trakhtenberh I.M., Krasnokutska L.M., Dmytrukha N.M., Korolenko T.K. (2014). Eksperymentalna otsinka bezpeky metalevykh nanochastynok mikroelementiv [Experimental assessment of the safety of metal nanoparticles of trace elements]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Mikroelementy v medytsyni, veterynarii, kharchuvanni: perspektyvy spivpratsi ta rozvytku"*. Odesa. S. 263–267 [in Ukrainian].
2. Kavetskyu T., Voloshanska S., Zubrytska O., Pan'kiv L., Stebeletska N. (2020). Use of magnetic susceptibility measurement for analysis of self-organized magnetic nanoparticles in biological systems. *Nanoscience and Nanotechnology in Security and Protection against CBRN Threats*. P. 215–221 [in English].
3. Oehlke K., Greiner R., Mayer-Miebach E., Adamiuk M., Behsnilian D., Walz E. (2014). Bioavailability enhancement of bioactive compounds using food-grade engineered nanomaterials: a review of evidence. *Food Funct.* 25. 5 (7). P. 1341–59 [in English].
4. Prodanchuk, N.G., Balan, G.M. (2009). Nanotoxicology: Status and prospects of research. *Modern problems of toxicology*. № № 3–4. P. 4–18 [in English].
5. Salata O.V. (2004). Applications of nanoparticles in biology and medicine. *J. of nanobiotechnology*. № 1. P. 3 [in English].
6. Kumari M., Chandrasekaran N. (2012). In vivo nanotoxicity assays in plant models. *Methods Mol Biol.* 926. Pp. 399–410. DOI: 10.1007/978-1-62703-0021_26 [in English].
7. Prasad R., Prasad K.S., Kumar V. (2014). Nanotechnology in sustainable agriculture: future aspects and present concerns. *African Journal of Biotechnology*. № 6. P. 705–713 [in English].
8. Kovbasenko R.V., Dmytriiev O.P. (2019). Vykorystannia nanochastynok biohennykh elementiv i khitozanu pry vyroshchuvanni paslonovykh in vitro ta in vivo [The use of nanoparticles of biogenic elements and chitosan in the cultivation of nightshades in vitro and in vivo]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia "Biolohiia" – Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Biology"*. № 1 (46). S. 73–80 [in Ukrainian].
9. Sabir S., Chaudhari S.K., Arshad M. (2014). Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *The Scientific World Journal*. № 11. P. 1–8 [in English].
10. Kalenska S.M., Novytska N.V., Maksin V.I., Kaplunencko V.H., Karpenko L.D., Martynov O.M. (2018). Vplyv mikrodobryv ta imunomodeliuiuchykh preparativ na laboratornu skhozhist nasinnia [The effect of microfertilizers and immunomodulating drugs on laboratory seed germination]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine*. № 94. S. 9–16 [in Ukrainian].
11. Комплексне мікродобриво Аватар. ТУ У 24.1-37033728-001:2010. Реєстраційний номер: серія Б № 04535 від 04.09.2017 р. [Complex microfertilizer Avatar.

TU U 24.1-37033728-001:2010. Registration number: series B No. 04535 dated September 4, 2017]. [in Ukrainian].

12. Avatar. Retrieved from: http://www.avataragro.com/page/avatar_2.php (data zvernennia: 26.01.2022) [in Ukrainian].
13. Skhozhist nasinnia yak odyn iz vazhlyvykh pokaznykiv [Similarity of seeds as one of the important indicators]. Retrieved from: <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvih-pokaznykiv> (data zvernennia: 20.10.2021) [in Ukrainian].
14. Rudenko S.S., Kostyshyn S.S., Morozova T.V. (2003). Zahalna ekolohiia : prakt. kurs. Ch. 1. [General ecology: practical course. Part 1]. Chernivtsi : Ruta, 320 s. [in Ukrainian].

ABSTRACT

EFFECT OF “AVATAR-2 ORGANIC” MICROFERTILIZER WITH NANOPARTICLES ON PRODUCTIVITY ENHANCEMENT OF *PISUM SATIVUM*

In recent years, there has been a constant search for ways to increase crop sustainability and productivity not harming the environment (such as complex organic fertilizers) and not accumulating in the soil. Significant attention is paid to bacterial fertilizers, but their application is expensive and species-specific for plants. Microfertilizer with nanoparticles “Avatar-2 organic” is a preparation designed to improve nitrogen-phosphorus nutrition, and increase the plants’ stress resistance and productivity.

In the process of studying the effect of microfertilizer with nanoparticles “Avatar-2 organic” on the morphogenesis of *Pisum sativum*, the following indicators were studied: the similarity of seeds of peas sown, seed biotesting and determination of phytotoxicity of the microfertilizer impact, and quantitative indicators of convergence in vitro on a soil substrate with different microfertilizer dosages.

It was found that the percentage of sown peas seeds similarity depends on the dosage of “Avatar-2 organic” microfertilizer. The percentage of seed similarity increases in proportion to the increase in the dosage of microfertilizer, if at a dosage of 5 μl the similarity increases by only 6,7%, then it increases by 26,7% relative to the control at 100 μl . The increase in the root of pea seeds in the research groups is higher than the control values, that is, the “Avatar-2 organic” microfertilizer does not cause toxic effects and plant growth retardation.

It has been established that the treatment of pea seeds with microfertilizer with nanoparticles “Avatar-2 organic” leads to an increase in seed germinating power, and, accordingly, an increase in productivity, a decrease in the germination period, improved morphogenesis of plants, better development of the root system through the root growth acceleration. The highest values were found when applying “Avatar-2 organic” microfertilizer at a dosage of 50 and 100 μl .

Key words: microfertilizer, “Avatar-2 organic”, productivity, morphogenesis, seed germinating power, biotesting, *Pisum sativum*.

Лілія Михайлівна Кропивницька,

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-4419-3727, e-mail: kropliliya@ukr.net

Ірина Володимирівна Бриндзя,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін,
географії та екології
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-2873-7712, e-mail: ira_3107@ukr.net

Іван Миколайович Мартинюк,

кандидат біологічних наук, начальник науково-дослідної лабораторії
(аналізу та прогнозування надзвичайних ситуацій)
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Україна
orcid.org/0000-0001-5996-7687, e-mail: ivanmartyn@i.ua

Андрій Михайлович Каршень,

начальник кафедри інженерних спеціальних дисциплін
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Україна
orcid.org/0000-0003-0387-0370, e-mail: figys@meta.ua

Олена Миколаївна Стаднічук,

кандидат хімічних наук, викладач кафедри інженерних спеціальних дисциплін
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Україна
orcid.org/0000-0002-9710-9015, Scopus Author ID: 9134184100, e-mail: stadnichyk-o@ukr.net

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ ОПІР У МЕЖАХ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «СКОЛІВСЬКІ БЕСКИДИ»

Анотація. Постійний екологічний моніторинг, контроль за туристично-рекреаційними територіями та проведення необхідного комплексу заходів для збереження та відновлення туристичних об'єктів і територій, які поступово втрачають свою первинну привабливість і цінні рекреаційні властивості, є досить актуальними. Малі річки виступають індикаторами змін екологічного стану довкілля, оскільки внаслідок малої площі вони дуже чутливі до деяких антропогенних навантажень. Мета дослідження – визначення якості поверхневих вод басейну річки Опір у межах Національного природного парку «Сколівські Besкиди» і оцінка екологічного ризику порушення водного благополуччя. Поверхневі води є нейтральними, слабомінералізованими, гідрокарбонатно-кальцієвого складу, що загалом характерно для цього регіону. За гідрохімічними показниками поверхневі води річки Опір у межах ділянки Національного природного парку «Сколівські Besкиди» можна вважати задовільними. Уздовж течії річки спостерігали зміни стану водної екосистеми від оптимально-тривожної до конфліктної. Найкращою вважається якість води, відібраної в селі Гребенів, найгіршими – проби, відібрані поблизу міста Сколе й у межах самого міста, де екологічний ризик порушення благополуччя досягнув критичної межі. Загалом, із збільшенням густоти населення

спостерігається зростання антропогенного тиску на водні об'єкти, що погіршує їхній екологічний стан: за показником гідроекологічного потенціалу оцінка змінюється із «зони оптимуму» до зони «песимуму». Упродовж 2018–2022 років екологічний ризик постійно зростає. Це спонукає до ранжування позитивних і негативних чинників впливу на розвиток стабілізаційних процесів у річкових басейнах і розроблення комплексу природоохоронних заходів для їх збереження. Аналіз природних і антропогенних чинників і раціональність господарського використання водозабірної площі річкового басейну дозволить визначити комплекс природоохоронних заходів. Планується продовження дослідження екологічного стану гідрологічної мережі Національного природного парку «Сколівські Бескиди» з метою загального оцінювання ризику розвитку деградаційних процесів водних екосистем. Використання різних систем оцінювання показників якості поверхневих вод дозволить визначити екологічний ризик, що враховує здатність водної екосистеми до самовідновлення, тривалість і віддаленість від джерела антропогенного тиску.

Ключові слова: річка Опір, поверхневі води, екологічний ризик, Національний природний парк «Сколівські Бескиди».

ВСТУП

Подорожі, рекреація та туризм до 2020 р. були модними й одними із прибуткових галузей економіки. Проте пандемія COVID-19 змінила акценти і, починаючи з кінця 2020 р., різко зросла потреба в регіональному туристично-рекреаційному продукті. Унаслідок цього виникла потреба не лише в оцінюванні рекреаційного потенціалу кожного регіону, але й контролю за антропогенним впливом на екологічний стан довкілля загалом і гідромереж зокрема.

В українських Карпатах, навколо природно-заповідних територій і всередині них, досить добре сформована соціально-економічна інфраструктура, транспортні артерії міжнародного та регіонального значення. Прикладом є Національний природний парк (далі – НПП) «Сколівські Бескиди», де високо розвинена туристично-рекреаційна діяльність [1]. Проте внаслідок нерегульованого інтенсивного лісокористування, прокладання транспортних шляхів, розвитку активного відпочинку, зеленого туризму, знищення пасовищ, переведення земель у невідповідне користування екологічний стан самого парку та територій поблизу різко погіршується, що створює значні проблеми у відновленні природного стану території та функціонуванні екосистем [2].

Наявна пряма залежність між рекреаційним навантаженням і відновленням території: чим вище навантаження, тим важче проводити відновлення [3]. На території НПП «Сколівські Бескиди», зокрема, найгіршою є ситуація в м. Сколе, що через значну урбанізацію навантажує приміські ліси, водні й архітектурні об'єкти [3]. Дані про наявні антропогенні навантаження дають можливість корегувати використання рекреаційних територій, обмежувати проведення фестивалів, масових заходів, планувати й організовувати спостереження за екологічними змінами в регіоні. Здійснення постійного екологічного моніторингу, контроль за туристично-рекреаційними територіями та проведення необхідного комплексу заходів для збереження та відновлення туристичних об'єктів і територій, які поступово втрачають свою первинну привабливість і цінні рекреаційні властивості, є досить актуальними.

Малі річки виступають індикаторами змін екологічного стану довкілля, оскільки вони формують гідрохімічні умови водних ресурсів, гідрологічні режими залежать від поверхні водозабору, лісистості, розораності та внаслідок малої площі дуже чутливі до деяких антропогенних навантажень [4; 5]. Водні ресурси малих річок тісно пов'язані

з ландшафтом і часто є єдиними джерелами місцевого водопостачання. Збільшення забруднення води ставить під загрозу здоров'я людей [5], баланс в екосистемах [6], економічний розвиток і соціальне процвітання [1].

Густа гідрологічна мережа НПП «Сколівські Бескиди» складається з малих і середніх рік, що формувалась під дією кліматичних, метеорологічних, топографічних чинників. Сам парк розташований між двома основними поперечними типово гірськими ріками Стрий і його правою притокою Опір. Екологічний стан малих річок Карпат вивчається частково, характеризується оцінкою «задовільно» [2; 7; 8] і майже не узагальнюється [9; 10]. Водночас дослідники відзначають наростання антропогенного тиску на території НПП «Сколівські Бескиди» [1–3], як можливий наслідок – збільшення екологічного ризику для водних екосистем.

Мета дослідження – визначення якості поверхневих вод басейну річки Опір у межах НПП «Сколівські Бескиди», оцінка екологічного ризику порушення водного благополуччя.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для дослідження екологічного стану річки Опір відбирали проби в шести точках (гірлових частинах приток річки Опір) у межах НПП «Сколівські Бескиди»: проба № 1 – гірло річки Опір, с. Верхнє Синьовидне, проба № 2 – річка Опір за м. Сколе, проба № 3 – річка Опір (біля Павлова потоку), м. Сколе, проба № 4 – гірло річки Орява (за с. Коростів), проба № 5 – гірло річки Бутивля, притоки р. Орява, с. Коростів, проба № 6 – річка Опір, с. Гребенів.

Дослідження проводили в бездошовий період упродовж 2018–2022 рр., відповідно до основних гідрологічних сезонів, характерних для всіх гірських річок басейну річки Опір: весняної повені, літньої, осінньої та зимової межени, літніх і осінніх паводків.

Оцінка екологічного стану річки Опір здійснювалась на основі аналізу гідрохімічних показників, які визначали відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 [11], розрахунку індексу забруднення води (далі – ІЗВ), індексу гідроекологічного потенціалу (далі – ІГЕП) [12] і оцінювання екологічного ризику порушення благополуччя водної екосистеми (за величиною пробіт-регресії P_{EP}) [7] (табл. 1). Одержані результати опрацьовували за допомогою стандартної програми Microsoft Office Excel.

Таблиця 1. Розрахунок індексу забрудненості води, індексу гідроекологічного потенціалу й екологічного ризику

Індекс	Формула	Позначення
Індекс забрудненості води	$ІЗВ = \sum_{i=1}^n \frac{C_i / C(ГДК)_i}{n}$	$C(ГДК)_i$ – граничнодопустима концентрація (далі – ГДК) для кожного параметра якості води, мг/дм ³ ; C_i – виміряні параметри якості води, мг/дм ³ ;
Індекс гідроекологічного потенціалу	$ІГЕП = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{C(ГДК)_i}{C_i} - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C(ГДК)_i} \right)$	P_{EP} – показник пробіт-регресії екологічного ризику порушення благополуччя водної екосистеми; n – число показників, що визначали.
Ризик порушення благополуччя водної екосистеми	$P_{EP} = -2.3 + 2.2 \log \sum \left[\frac{C_i}{C(ГДК)_i} \right]$	

Ідентифікацію рівня небезпеки антропогенного навантаження встановлювали за відповідними класифікаціями за класом, категорією якості води, рівнем забруднення, здатністю до самоочищення тощо [7; 11; 12].

РЕЗУЛЬТАТИ

Аналітичні дослідження на вміст гідрохімічних показників води вказують на задовільну якість досліджуваних проб. Перевищення ГДК спостерігалось лише за деякими загальносанітарними та токсикологічними показниками: розчиненого кисню (у всіх пробах), біологічного споживання кисню (у пробах № № 1, 2 та 3), йонів амонію (у всіх пробах), нітратів (у пробах № № 4 та 5), нітритів (у пробах № № 1–4) та йонів феруму (проба № 3).

За органолептичними показниками: запахом, прозорістю та кольоровістю в усіх досліджуваних пробах відхилень від допустимих значень не має: прозорість коливається в межах 20–30 см, кольоровість – від 10 до 15°, запах – менше 2 балів. Мінералізація досліджуваних проб води коливається в межах 156–650 мг/дм³ і зростає зі збільшенням густоти та чисельності населених пунктів, готелів, мотелів, баз відпочинку та приватних садиб для екотуризму (від с. Коростів до с. Верхнє Синьовидне). За твердістю вода досліджуваних проб – м'яка та середньо-тверда (від 2,5 до 4,2 ммоль/дм³), гідрокарбонатно-кальцієвого класу з переважанням іонів HCO₃⁻ і Ca²⁺ (особливо проби № № 1, 2). Вміст Ca²⁺ коливається в межах від 45,6 до 138 мг/дм³, а Mg²⁺ – 2,8–22,4 мг/дм³. Найбільша твердість, вміст йонів кальцію та магнію спостерігається у пробах № № 2 та 3.

Рівень рН становив 7,8–8,5, що перебуває на верхній межі нормативних значень. Інколи, за умови відбору проби води після дощу, рівень рН знижувався. Поблизу наметових містечок, баз відпочинку, розташованих на берегах рік, з'являлися необладнані сміттєзвалища, збільшувався скид несанкціонованих каналізаційних стоків, що містили органічні речовини та розкладалися мікроорганізмами, що водночас споживали кисень та знижували рівень рН.

Уміст хлоридів (від 12,5 до 78,5 мг/дм³), сульфатів (від 48,2 до 115,6 мг/дм³) не перевищує значень ГДК.

Вміст нітратів несуттєво переважав у пробах № № 1, 2 (в 1,6 раз) та № 3 (1,3 раз), що пов'язано зі збільшенням антропогенного впливу поблизу. Основним джерелом забруднення річкової води є несанкціоновані побутові стічні води, відходи тваринництва, ерозія ґрунту. Рівень йонів амонію перевищував значення ГДК у всіх пробах (в 1,8–9,6 разів), що є свідченням надходження стічних вод у водойму. Причому за останній рік кількість стоків збільшилась, що зумовило значне зростання концентрації нітратів (майже у 2–2,5 рази щодо минулого року). Нітрити були виявлені у пробах № № 1–4, максимальне перевищення рівня ГДК – у 9 разів, що теж підтверджує припущення щодо збільшення скидів несанкціонованих відходів із м. Сколе та с. Верхнє Синьовидне. Власне, густа забудова закладів туристично-рекреаційного характеру, розташованих у долинах басейну річки Опір, і значна кількість відпочивальників (особливо на весні та влітку 2022 р.) сприяли збільшенню вмісту забруднювачів нітрогенної групи.

Загалом, результати досліджень свідчать про відповідність води в досліджуваних об'єктах установленим показникам якості, регламентованим чинними нормативними документами, і вказують на сприятливий гідрохімічний стан, що почасти корелюється з результатами, отриманими раніше [2; 5].

Неодноразово [6; 10] наголошувалось на тому, що для системи оцінювання та прогнозування якості води важливо мати надійний набір індикаторів (критеріїв), які

дозволять визначити екологічний стан і ймовірність порушення благополуччя водної екосистеми. Екологічні нормативи базуються на даних одиночних і багаторічних спостережень за гідрологічними, гідрохімічними та гідробіологічними показниками. Розрахунок індексів ІЗВ, ІГЕП та пробіт-регресії P_{EP} для досліджуваних зразків дозволив визначити ступінь забруднення, екологічний стан водних екосистем та ідентифікувати рівень небезпеки антропогенного навантаження (рис. 1), простежити динаміку їхніх змін упродовж 2018–2022 рр. (рис. 2, 3).

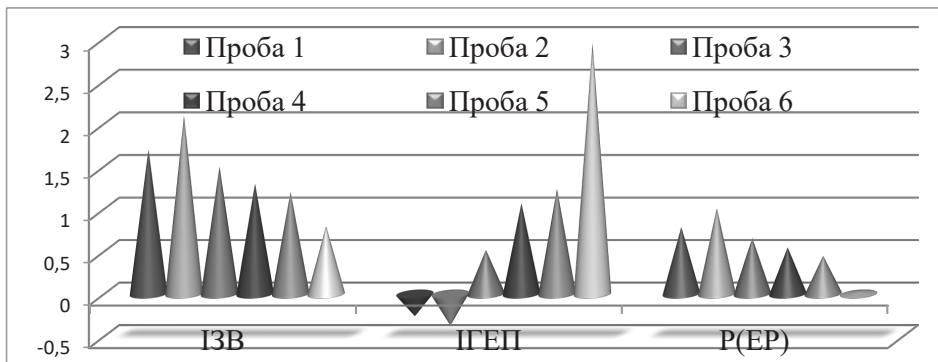


Рис. 1. Усереднені значення індексу забрудненості води, індексу гідроекологічного потенціалу й екологічного ризику погіршення ситуації р. Опір за 2022 р.

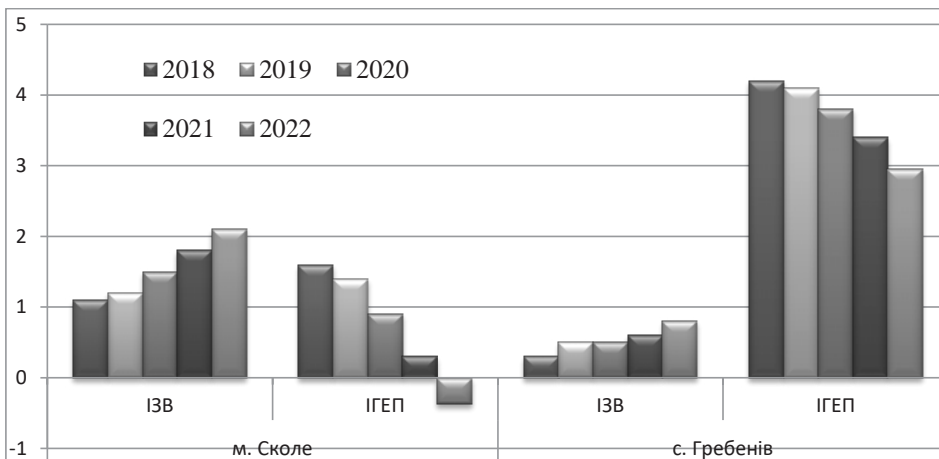


Рис. 2. Зміна значень індексу забрудненості води й індексу гідроекологічного потенціалу у пробах, відібраних у м. Сколе та с. Гребенів упродовж 2018–2022 рр.

За усередненим ІЗВ досліджувані проби характеризуються як помірно чисті (II клас якості води, 3 категорія якості), а за рівнем забрудненості – переважають «помірно забруднені». Чистою є проба, відібрана в с. Гребенів, де техногенне навантаження мінімальне, а забрудненою – на ділянці за м. Сколе, проба № 2 (III клас, 4 категорія якості, «забруднені»). Упродовж останніх років числове значення ІЗВ несуттєво зросло: у 2018–2020 рр. усі проби води належали до II класу 2 категорії («чисті»), а із 2021 р. – перейшли в категорію «помірно забруднені» (окрім проби № 6).

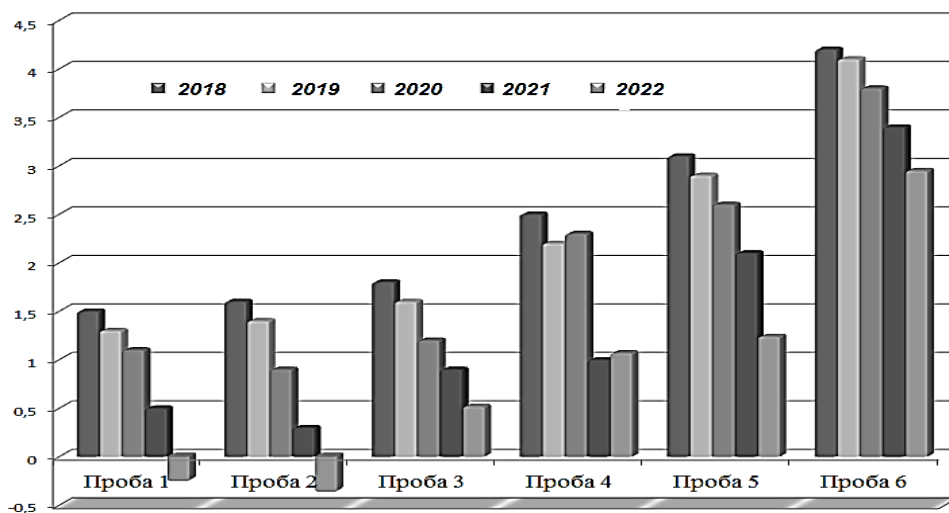


Рис. 3. Усереднені значення ІГЕП за результатами спостережень 2018–2022 рр.

За допомогою ІГЕП, розрахованого на основі 15 показників санітарно-гігієнічних, токсикологічних і загальносанітарних груп, оцінили буферну здатність водної екосистеми, допустимий антропогенний вплив на водне середовище для збереження екологічної рівноваги. Для проб № № 1, 2 у 2022 р. спостерігали від’ємне значення, що вказує на те, що гідроекологічний потенціал відсутній (перебуває в зоні «песимуму»), а використання вод для господарсько-питної та рибогосподарської діяльності небажане. За усередненими показниками річки Опір у межах НПП «Сколівські Бескиди» оцінюють як перехідні від ділянки до м. Сколе та від м. Сколе до с. Верхнє Синьовидне: за здатністю водної екосистеми з високої (у 2018–2020 рр.) → середньої (у 2021 р.) → до низької, за категорією природно-техногенної безпеки – із задовільної до незадовільної, за станом водної екосистеми – з оптимально-тривожної до конфліктної. Зниження значення ІГЕП за останні п’ять років (рис. 3) вказує на посилення антропогенного тиску на довкілля. Загальний кількарічний розподіл кількісної складової частини гідроекологічного показника має складну закономірність сезонного розподілу якості води (лінія тренду має поліномний характер 5-го ступеня), бо суттєво залежить від живлення річок, кількості опадів, лісистості.

Для визначення інтенсивності деградаційних процесів, що відбуваються в басейні річки, необхідно ранжувати чинники впливу на «позитивні» (ті, що стабілізують стан водних екосистем) і «негативні» (ті, що прискорюють процес регресії екосистеми). Результати оцінки екологічного ризику порушення благополуччя водної екосистеми показали зміну його характеру: з «підвищеного» (для всіх досліджуваних точок відбору впродовж 2018–2020 рр.) → «значного» (упродовж 2021–2022 рр.) → до «критичного» (точково у 2022 р.). Власне, найгірші показники у пробі № 2, де додається додаткове антропогенне навантаження міста, що й відбивається на якості води (рис. 2).

ВИСНОВКИ

За гідрохімічними показниками поверхневі води річки Опір у межах ділянки НПП «Сколівські Бескиди» можна вважати задовільними. Поверхневі води є нейтральними, слабомінералізованими, гідрокарбонатно-кальцієвого складу, що загалом характерно

для цього регіону. Уздовж течії річки спостерігали зміни стану водної екосистеми від оптимально-тривожної до конфліктної. Найкращою вважається якість води, відібраної в с. Гребенів («чиста»), найгіршими – проби, відібрані поблизу міста Сколе й у межах самого міста («забруднена»), де екологічний ризик порушення благополуччя досягнув критичної межі. Загалом, із збільшенням густоти населення спостерігається зростання антропогенного тиску на водні об'єкти, що погіршує їхній екологічний стан: лише за 24 км (від с. Гребенів до с. Верхнє Синьовидне) за показником гідроекологічного потенціалу оцінка змінюється із «зони оптимуму» до зони «песимуму». Упродовж 2018–2022 рр. екологічний ризик постійно зростає. Це спонукає до ранжування позитивних і негативних чинників впливу на розвиток стабілізаційних процесів у річкових басейнах і розроблення комплексу природоохоронних заходів для їх збереження. Аналіз природних і антропогенних чинників і раціональність господарського використання водозабірної площі річкового басейну дозволять визначити комплекс природоохоронних заходів.

Планується продовження дослідження екологічного стану гідрологічної мережі НПП «Сколівські Бескиди» з метою загального оцінювання ризику розвитку деградаційних процесів водних екосистем. Використання різних систем оцінювання показників якості поверхневих вод дозволить визначити екологічний ризик, що враховує здатність водної екосистеми до самовідновлення, тривалість і віддаленість від джерела антропогенного тиску.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соціо-еколого-економічні аспекти розвитку екологічного туризму в Українських Карпатах / Л.І. Максимів та ін. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2020. № 20. С. 149–161. DOI: 10.15421/412014.
2. Антропогенна діяльність на території НПП «Сколівські бескиди» та її вплив на екологічний стан гідромережі / М.І. Вовкунович та ін. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Хімія»*. 2020. № 1 (43). С. 86–91. DOI: 10.24144/2414-0260.2020.1.86-91.
3. Кепеняк Н.М. Лісорекреаційна активність жителів населених пунктів на території НПП «Сколівські Бескиди». *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2014. № № 1–2 (21). С. 24–30.
4. Проблеми басейнів малих річок / О.В. Нестерова та ін. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 5. С. 257–258. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524.
5. The Impact of the mineral water composition on the population health / O. Stadnichuk et al. *Periodyk naukowy Akademii Polonijnej, Częstochowa, Akademia Polonijna w Częstochowie*. 2019. 34. № 3. S. 91–98. DOI: 10.23856/3411.
6. Giri S, Qiu Z. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *J Environ Manage*. 2016. 15. 173. P. 41–8. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.02.029.
7. Development of estimation methods of environmental risk degrading the surface water state / O. Rybalova et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2/10 (92). P. 4–17. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.127829.
8. Сезонна мінливість екологічного стану природних вод гірської частини річки Стрий / Л.М. Кропивницька та ін. *Acta Carpathica*. 2021. № 2. С. 33–43. DOI: 10.32782/2450-8640.2021.2.4.
9. Особливості формування поверхневого стоку гірських річок за вирубки лісів та розорювання схилів територій / В.В. Снітинський та ін. *Екологічні науки* :

науково-практичний журнал. 2020. № 3 (30). С. 73–77. DOI: 10.32846/2306-9716/2020.есо.3-30.12.

10. 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.
11. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 р. № 400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>.
12. Архипова Л.М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем. Івано-Франківськ, 2011. 355 с.

REFERENCES

1. Maksymiv L., Garmatiy T., Betz M. (2020). Sotsio-ekoloho-ekonomichni aspekty rozvytku ekolohichnoho turyzmu v Ukrayinskykh Karpatakh [Socio-ecological and economic aspects of the ecological tourism development in the Ukrainian Carpathians]. *Naukovi pratsi Lisivnychoyi akademiyi nauk Ukrayiny – Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. 20. 149–161 [in Ukrainian].
2. Vovkunovich M.I., Roman L.Yu. & Chundak S.Yu. (2020). Antropohenna diyalnist na terytoriyi NPP “Skolivski beskydy” ta yiyi vplyv na ekolohichnyy stan hidromerezhi [Anthropogenic activity on the territory of the NPP “Skolivski Beskydy” and its impact on the ecological state of the water network]. *Nauk. visnyk Uzhhorod. un-tu. Ser. “Khimiya” – Science Herald of Uzhgorod. University. Ser. “Chemistry”*. 1 (43). P. 86–91 [in Ukrainian].
3. Kepenyak N.M. (2013). Hidrolohichna merezha natsional'noho pryrodnoho parku “Skolivski Beskydy” ta yiyi vykorystannya v heohrafiyi [The hydrological network of the Skolivski Beskydy National Nature Park and its use in geography]. *Lyudyna ta dovkillya. Problemy neoekolohiyi – Man and environment. Problems of neoecology*. 3–4 [in Ukrainian].
4. Nesterova O.V., Sharkov V.V., Zhuravlyova O.A. & Nesterov Ya.S. (2019). Problemy baseyniv malykh richok [Problems of small river basins]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury – Bulletin of the Dnipro State Academy of Construction and Architecture*. 5. P. 257–258 [in Ukrainian].
5. Stadnichuk O., Kropyvnytska L., Kucher L., Martyniuk I., Platonov M. (2019). The Impact of the mineral water composition on the population health. *Periodyk naukowy Akademii Polonijnej*. 34. № 3. S. 91–98. DOI: 10.23856/3411 [in English].
6. Giri S. & Qiu Z. (2016). Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *J Environ Manage*. 2016. 15; 173: 41–8. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.02.029 [in English].
7. Rybalova O., Artemiev S., Sarapina M., Tsymbal B., Bakhareva A., Shestopalov O., et. al. (2018). Development of estimation methods of environmental risk degrading the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2/10 (92). 4–17 [in English].
8. Kropyvnytska L., Stadnichuk O. & Karshen A. (2021). Sezonna minlyvist ekolohichnoho stanu pryrodnykh vod hirs'koyi chastyny richky Stryy [Seasonal variability of the environmental condition of the natural waters of the his part of the Stry river]. *Acta Carpatica*. 2. 33–43 [in Ukrainian].
9. Snitynskyi V., Khirivskyi P. & Hnativ I. (2020). Osoblyvosti formuvannya poverkhnevoho stoku hirs'kykh richok za vyrubky lisiv ta rozoryuvannya skhylovykh terytoriy [Features of surface runoff formation of mountain rivers during deforestation and plowing of slope areas]. *Naukovo-praktychnyy zhurnal. Ekolohichni nauky – Scientific and practical journal. Environmental sciences*. 3 (30). S. 73–77 [in Ukrainian].

10. Bosak P.V., Korol K.A. & Lutsyk A.H. (2019). Ekologichna kharakterystyka richok u Slavskomu Lvivskoyi oblasti [Ecological characteristics of rivers in Slavsky, Lviv region]. *Visnyk LDUBZHD – Bulletin of the LDUBZH*. 20. 80–84 [in Ukrainian].
11. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla “Hihiyenichni vymohy do vody pytnoyi, pryznachenoyi dlya spozhyvannya lyudynoyu” (DSanPiN 2.2.4-171-10). [State sanitary norms and rules are the “Hygienical requirements to the water drinkable, intended for a consumption a man” (DSanPiN 2.2.4-171-10)] : Order of the Ministry of Health of Ukraine, May, 12, 2010, № 400 [in Ukrainian].
12. Arkhypova L.M. (2011). Pryrodno-tekhnohenna bezpeka hidroekosystem [Natural and man-made safety of hydroecosystems]. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT OF THE SURFACE WATER CONDITION OF THE OPIR RIVER WITHIN THE BOUNDARIES OF THE NNP “SKOLIVSKY BESKIDS”

Permanent environmental monitoring, control of tourist and recreational areas and the implementation of the necessary set of measures for the preservation and restoration of tourist objects and territories that are gradually losing their original attractiveness and valuable recreational properties is quite relevant. Small rivers act as indicators of changes in the ecological state of the environment, because due to their small area, they are very sensitive to certain anthropogenic loads. The purpose of the study: to determine the quality of the surface waters of the Opir River basin within the NNP “Skolivski Beskydy” and to assess the ecological risk of water well-being disturbance. Surface waters are neutral, weakly mineralized, with a hydrocarbonate-calcium composition, which is generally characteristic of this region. According to hydrochemical indicators, the surface waters of the Opir River within the area of the NPP “Skolivski Beskydy” can be considered satisfactory. Along the course of the river, changes in the state of the water ecosystem were observed from optimally disturbing to conflicting. The quality of water taken from the village is considered the best. Hrebeniv, the worst are the samples taken near the city of Skole and within the city itself, where the ecological risk of disturbance of well-being has reached a critical limit. In general, with the increase in population density, there is an increase in anthropogenic pressure on water bodies, which worsens their ecological condition: according to the indicator of hydro-ecological potential, the assessment changes from the “optimum zone” to the “pessimum” zone. During 2018–2022, the environmental risk is constantly increasing. This prompts the ranking of positive and negative factors influencing the development of stabilization processes in river basins and the development of a set of environmental protection measures for their preservation. The analysis of natural and anthropogenic factors and the rationality of economic use of the water intake area of the river basin will allow to determine a set of environmental protection measures. It is planned to continue the study of the ecological state of the hydrological network of the NNP “Skolivski Beskydy” for the purpose of general assessment of the risk of the development of degradation processes of water ecosystems. The use of various systems for evaluating surface water quality indicators will allow determining the ecological risk, which takes into account the ability of the water ecosystem to self-restore, the duration and distance from the source of anthropogenic pressure.

Key words: Opir River, surface waters, ecological risk, NNP “Skolivski Beskydy”.

UDC 539.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.2.4>

Ivan Donchev,

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, Odesa, Ukraine
e-mail: idonchev@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

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

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

Mariya Kushniyazova,

Kazakh-British Technical University, Almaty, Republic of Kazakhstan
e-mail: kshnmariya@gmail.com

Lyudmyla Pan'kiv,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine
orcid.org/0000-0002-4918-2138, Scopus Author ID: 35485114300,
Scopus Author ID: 6505589435, e-mail: lyuda_pankiv@ukr.net

Yuliia Kukhazh,

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

Oksana Mushynska,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine
e-mail: nokr@ukr.net

Oksana Zubrytska,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine
e-mail: oksanazubrytska23.02@gmail.com

Alina Vinkovskaya,

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, Odesa, Ukraine
e-mail: alina.vinkovskaya@gmail.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

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

OPTIMIZATION OF ION TRACK CHARACTERISTICS IN A TRACK BIOSENSOR

Abstract. When constructing a computer model of an ion track in a biosensor, it is important to take into account the main structural features of a real track. As now established, the transition from track to sample volume is not abrupt. In the present work, the three layer structure of the inner walls of the track (including Penumbra) is taken into account. It is shown that the passage of a charged liquid through the track depends significantly on the defect structure of this transition layer. Since the profile of the current density flowing through the liquid track depends on the defective structure of the transition layer in the track, it is important to determine the ion bombardment conditions that provide its optimization. Thus, at the first stage of creating a track structure, it is necessary to solve certain problems of radiation physics of the interaction between fast ions and a thin film. In turn, these characteristics of track structure will determine the sensitivity of the biosensor to the detection of contaminants in a particular environment. It is shown that it is important to take into account the specific influence of each of the three-layer boundary layer on the flow of the “carrier” fluid. Carrier liquid means a “pure” substance into which contaminants should be determined. Studies have shown that the optimization of the functioning of a track biosensor is a multi-parameter task, in which several parameters must be varied simultaneously. Therefore, computer simulation makes it possible to be an effective method for optimizing the parameters of a track biosensor. Further studies should be aimed at finding a correlation between the structural features of Penumbra and biosensor parameters. However, this requires a significant improvement in the algorithms and computer model.

Key words: defect structure of track, sensitivity of track biosensor, computer modelling.

INTRODUCTION

The action of a track biosensor is based on the passage of ion flows (in particular, electrolytes) through cylindrical nanopores. These nanopores (nanotracks) are obtained by ion bombardment of thin dielectric films (for example, polymeric ones). When foreign nano-micro-objects enter the liquid flowing through the nanotracks, the profile of the current flowing through the nanotrack changes, which, in principle, makes it possible to identify biological contaminants in the medium.

The main difficulties in improving the parameters of the track biosensor are due to the fact that the processes of migration and diffusion in nanopores differ significantly from these processes in macro-volumes [1; 2]. Attempts to investigate the features of diffusion in nanopores were made long ago in the 20'th century. It has recently been found [3; 4] that these features are largely due to the fact that in nanopores a significant part of diffusing particles interacts with the inner surfaces of nanopores. It is these interactions that determine the features of the passage of ion flows in nanopores, which can improve the parameters of the track biosensor.

A nanotrack in a track biosensor is modeled as a nanocylinder [5]. The model should reflect the real features of the defect structure of the internal surfaces. The presented models provide for the presence of adsorption and scattering centers [6; 7]. The roughness of the inner surface (RIS) significantly affects the movement of the ion flow in the track. In this work, the model is implemented allowing varying the value of RIS.

Computer simulation of the passage of ion flows through nanocylinder allows one to simultaneously check the influence of various factors on the efficiency of the biosensor: the shape of the nanotrack and its diameter, the defective structure of the inner surface of the ratio of the characteristics of the carrier liquid and biological contaminants.

1. SIMULATION OF A REAL STRUCTURE OF THE ION TRACK

A formation of internal surfaces of tracks in a thin film is accompanied by complex defect formation processes and various diffusion-controlled reactions. Experiments show that the track area consists mainly of 3 parts: the inner part (core), a disordered cylindrical layer (Penumbra) and a slightly deformed surrounding volume in the film (Fig. 1).

1.1. SIMULATION OF AN INTERNAL SURFACE OF THE ION TRACK

The track wall consists of ions with identical characteristics, which we called nodal ions (NI). The charge of NI is half that of the ions of the liquid flowing through the track. The construction of the ion track is as follows:

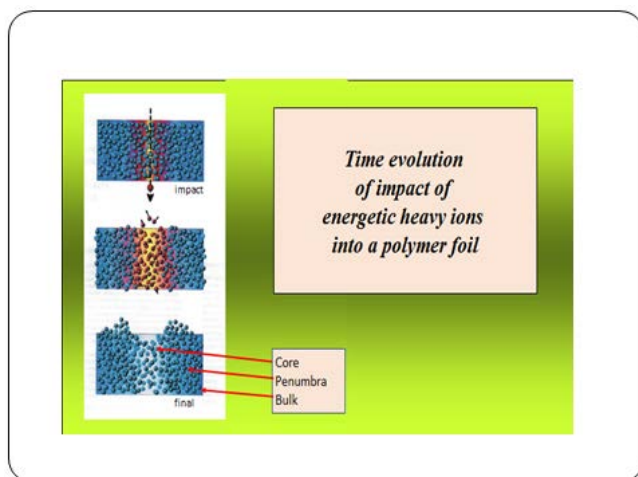


Fig. 1. The real structure of the ion track

1. From the nodal ions, we build the first layer, which is a circle with a diameter equal to the track diameter.
2. Then it's necessary to count the number of layers that we need to build in accordance with the length of the track. We build the required number of layers.
3. The even layers are located relative to the odd ones with an offset of 0,5 of the diameter of the nodal ion, so a dense surface of track (without breaks) is obtained (Fig. 2). Modeling of adsorption centers is described in [3; 8]. Nodal atoms with increased charge are scattering centers.

After the first layer in the nanocylinder wall a layer of Penumbra with a thickness of several nodal ion radii is built (Fig. 1). The closer to the core of the track, the more disordered this layer. This can be achieved by varying the size of the ions that make up the layer. As you move away from the core of the track gradually, Penumbra turns into a normal volume lattice.

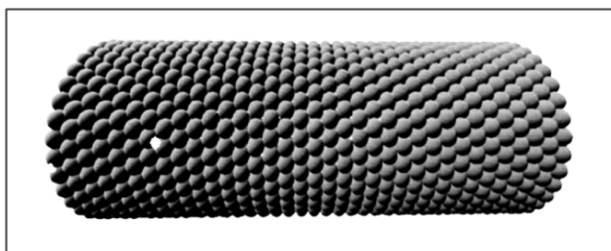


Fig. 2. View of the roughness of the inner surface of the model nanocluster

Thus, the proposed model makes it possible to create conditions for the flow of an ionic liquid through a nanotrack, which reflect the defective structure of the interior of the nanotrack. It should be noted that in some cases it becomes necessary to give the model a conical shape (Fig. 3), which, according to the experimental results, improves the parameters of the biosensor.

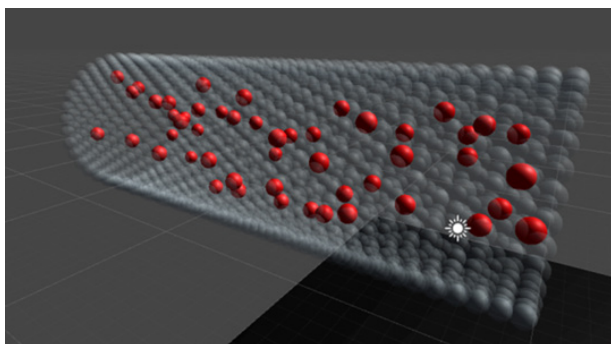


Fig. 3. Conical nanotrack model

It is also important to take into account the specific influence of the three-layer boundary layer (Fig. 1) on the flow of the “carrier” fluid. Carrier liquid (CL) means a “pure” substance into which contaminants (including biological ones) get. During the functioning of the biosensor, there is an influence of Penumbra on the core of the track. There is a certain evolution of this Penumbra and, accordingly, the evolution of the nucleus (Fig. 1). The model should capture and show all these processes: these processes affect the flow of the CL in the track. In the case of a conical track shape, the nature of the influence of Penumbra on the flow of CL through the track changes. Therefore, it is important in the process of computer simulation to find out the possibility of forming such a nucleus and Penumbra that provides an optimal ion current for the track sensitivity. To this end, for different structures of the track walls, we studied the nature of the CL flow through the tracks.

1.2. SIMULATION OF THE ION FLUX THROUGH THE TRACK

Creating an ion flow includes several steps:

1. The track is filled with a certain amount of ions, which provides the required density of the CL. These ions are randomly and evenly distributed along the length of the track. The Random program is used. 2. An array of ions in the CL is given a temperature in accordance with the approach of the molecular dynamics method [9]. All ions in the array are given initial velocities taken from the Maxwell distribution for a specific temperature and using the Random program. The program sets the magnitude and direction of the velocity for each ion. 3. Next, an external force is applied to each ion in the array, which simulates the external applied voltage in the biosensor.

Earlier [6], it was found that the appearance of an extraneous micro-nano-object in the CL is detected in connection with the appearance of negative peaks on the time dependence of the current in the track biosensor. Further studies showed that a change in the current through the tracks when a foreign object enters the CL can also be used when the polluting object is discrete. In this case, a series of peaks appears in the current profile, and their number is proportional to the number of discrete polluting objects (Fig. 4). Modeling of foreign pollution is carried out by changing the basic characteristics (size, mass, charge) of randomly selected ions in the CL.

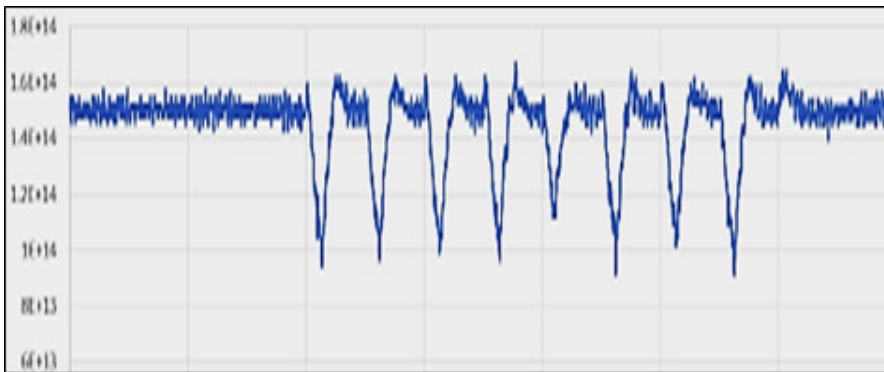


Fig. 4. Negative peaks in the profile of ion current. In general, the number of peaks is proportional to the number of discrete foreign objects in the CL

2. INFLUENCE OF TRACK PARAMETERS ON BIOSENSOR SENSITIVITY

The problem of improving the track biosensor is complicated by the fact that the track characteristics are mutually dependent and difficult to reproduce. For example, adsorption centers significantly affect the sensitivity of the device. However, this effect can be compensated if the exact conditions of penumbra formation are not taken into account when fabricating the track structure. Therefore, model experiments are extremely important. As an example, let us consider the influence of the density of adsorption centers on the sensitivity of a Fig. 5 shows the dependence of the CL current on the concentration of foreign contaminants.

It can be seen that with an increase in the density of adsorption centers (yellow line), their influence on the ion current increases sharply. Current changes caused by the presence of contaminants will also be greater.

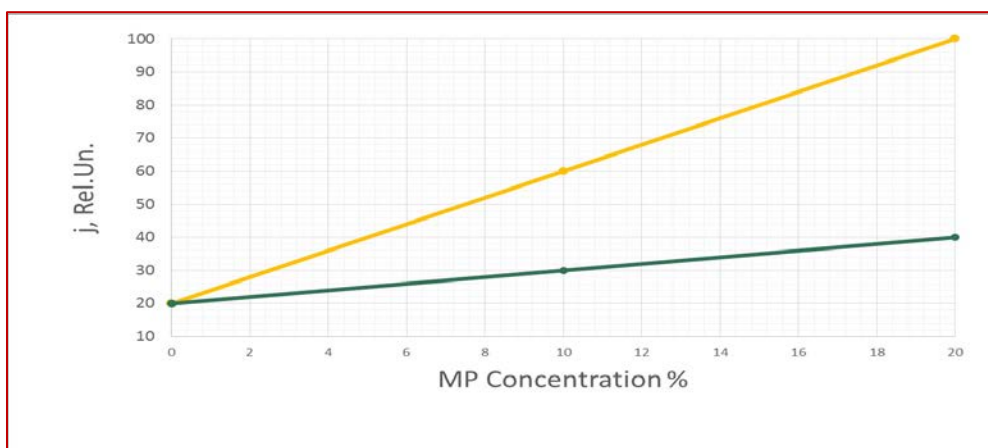


Fig. 5. Dependence of the CL current on the concentration of mixed products (MP). Yellow line corresponds to larger concentration of adsorption centers

DISCUSSION AND CONCLUSION

The article shows that despite the fact that the track biosensor operation scheme is quite simple, the creation of a high-quality device requires optimization of a large number of track structure parameters. The operation of a track biosensor is based on the migration of liquids and gases in nanopores. Migration and diffusion of a substance in nanopores does not proceed in accordance with the usual Fick laws and requires a special study. It has been established that the interaction of a diffusant with the inner surfaces of a nanopore plays a decisive role when considering diffusion in nanopores. To improve the parameters of the track biosensor, the main task is to find ways to control the passage of CL through the tracks. The solution of this problem is connected with the directed creation of local centers on the inner surfaces of tracks and the corresponding defective structure of Penumbra.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by the Ministry of Education and Science of Ukraine (projects Nos. 0121U109543, 0122U000850, and 0122U000874) 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.

REFERENCES

1. Renkin E.M. Filtration, diffusion, and molecular sieving through porous cellulose membranes. *J. Gen. Physiol.* 1954. Vol. 38. P. 225–243.
2. Fundamentals of Ion-Irradiated Polymers / Ed. D. Fink. *Springer*. 2004. 406 p. URL: <http://www.springer.com/978-3-540-04027-9>.
3. Simulation of the passage of ion flows through nanotracks / Y. Bondaruk et al. *International Journal of Advanced Computer Technology (IJACT)*. 2020. Vol. 9. P. 1–4.

4. Ion Track Etching Revisited: I. Correlations between track parameters in aged polymers / D. Fink et al. *Nucl. Instrum. Meth. B*. 2018. Vol. 420. P. 57–68.
5. Theory and Modelling of real-time physical and bio-nanosensor systems / Yu. Shunin et al. *Computer Modelling & New Technologies*. 2016. Vol. 20. P. 7–17.
6. Computer model of track biosensor / I. Donchev et al. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron*. 2022. Vol. 25. № 4. P. 148–152.
7. Nano-sensor devices for CBRN-agents detection: Theory and design / Yu. Shunin et al. *NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*. 2018. P. 169–184.
8. Improving the design of ion track-based biosensor / D. Fink et al. *NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*. 2018. P. 185–197.
9. Computer modeling of ion current pulsations in track-containing foils / N. Mykytenko et al. *Journal Comp. Sci*. 2015. Vol. 6. P. 34–39.

АНОТАЦІЯ

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРЕКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІОНІВ У ТРЕКОВОМУ БІОСЕНСОРІ

При побудові комп'ютерної моделі іонного треку в біосенсорі важливо враховувати основні структурні особливості реального треку. Як тепер установлено, перехід від треку до об'єму зразка не є різким. У цій роботі враховано тришарову структуру внутрішніх стінок треку (включаючи Penumbra). Показано, що проходження зарядженої рідини через трек істотно залежить від дефектної структури цього перехідного шару. Оскільки профіль густини струму, що протікає через рідинний трек, залежить від дефектної структури перехідного шару у треку, важливо визначити умови іонного бомбардування, які забезпечують його оптимізацію. Таким чином, на першому етапі створення трекової структури необхідно вирішити певні задачі радіаційної фізики взаємодії швидких іонів з тонкою плівкою. У свою чергу, ці характеристики структури треку визначатимуть чутливість біосенсора до виявлення забруднень у конкретному середовищі. Показано, що важливо враховувати специфіку впливу кожного з тришарових пограничних шарів на протіканні «носій» рідина. Рідина-носій означає «чисту» речовину, в якій слід визначати забруднення. Дослідження показали, що оптимізація функціонування трекового біосенсора є багатопараметричною задачею, в якій необхідно змінювати декілька параметрів одночасно. Таким чином, комп'ютерне моделювання дає можливість бути ефективним методом оптимізації параметрів трекового біосенсора. Подальші дослідження мають бути спрямовані на виявлення кореляції між структурними особливостями Penumbra та параметрами біосенсора. Однак це потребує значного вдосконалення алгоритмів і комп'ютерної моделі.

Ключові слова: дефектна структура треку, чутливість трекового біосенсора, комп'ютерне моделювання.

Світлана Семенівна Монастирська,
кандидат біологічних наук, завідувач кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

Мар'яна Іванівна Біла,
викладач природничих наук
Дрогобицький музичний фаховий коледж імені Василя Барвінського, Україна

Ірина Богданівна Задільська,
здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

Софія Іванівна Гункевич,
здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

ПОШИРЕНІСТЬ ІНВАЗІЙНИХ ВИДІВ У ДРОГОБИЦЬКОМУ РАЙОНІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Анотація. Досліджували поширення інвазійних рослин на території східної частини Дрогобицького району в околицях сіл Нове Село, Раневичі, Верхні Гаї, Нижні Гаї, Бійничі, Далява, Почаєвичі, Болахівці. На досліджуваних ділянках Дрогобицького району виявлено 38 видів інвазійних рослин, які належать до 21 родини та 35 родів. Встановлено, що родина Asteraceae налічує найбільшу кількість видів – 11, що становить 29,3% від загальної кількості видів. Родини Poaceae і Fabaceae налічують по 3 види (7,9%); родини Apiaceae, Convolvulus та Balsaminaceae – по 2 види (5,3%); решта 15 родин представлені одним видом, що становить 2,6%.

Серед виявлених видів рослин Дрогобицького району за часом занесення переважають кенофіти – 25 видів (65,8% від загальної кількості інвазійних видів), археофіти налічують 13 видів (34,2%).

За походженням переважають види північноамериканського (16 видів – 42,2%); середземноморського (7 видів – 18,4%); середземноморсько-ірано-туранського (4 види – 10,5%) і азійського (3–7,9%) походження. Східноазійський і кавказький ареали налічують по 2 види (5,3%), а інші первинні ареали мають 1 представника (2,6%).

За ступенем натуралізації переважають агріо-епекофіти (16 видів – 42,1%) і епекофіти (15 видів – 39,4%). Агріофіти представлені 3 видами – 7,9%; ергазіофіти й ефемерофіти налічують по 2 види, що становлять 5,3%. Більшість інвазійних видів рослин Дрогобицького району подолали Е-бар'єр – 23 види (60,5%). Видів, які подолали F-бар'єр, менше – 15 (39,5%).

За гігроморфою переважають мезофіти – 22 види (57,9%), на другому місці – ксеромезофіти, які представлені 14 видами (36,8%), мезоксерофіти налічують 2 види (5,3%).

Отже, чужинні види рослин витісняють природні види, займаючи все нові території, що спричиняє непоправні втрати серед видів автохтонної флори. Поширення інвазійних рослин впливає не тільки на характер рослинності, а й на біогеохімічні характеристики ландшафтів. Це знижує господарську та комерційну вартість земель. Уважасмо за доцільне проведення подальшого моніторингу за станом поширення інвазійних видів і впливом їх на природні угруповання.

Ключові слова: інвазійні рослини, біорозмаїття Дрогобицького району, натуралізація інвазійних видів, біоекологічні властивості.

ВСТУП

Однією з найбільших загроз для біорозмаїття, після руйнування природних місцезростань, є процес адвентизації флори. Він стрімко прогресує в усьому світі, Україна не є винятком. Під час проведення моніторингу та складання списків флори різних областей нашої країни науковці все частіше засвідчують збільшення видового розмаїття інвазійних рослин, ступеня їх натуралізації, темпів занесення, поширення та розширення територій місцезростань тощо [1; 2].

Інвазійні рослини розповсюджуються швидко та масово, є стійкими та конкурентоспроможними в рослинних угрупованнях, оскільки характеризуються високим адаптаційним потенціалом [2]. Вони становлять небезпеку не тільки для цілісності природних екосистем, господарської діяльності, економіки країни, а й для здоров'я населення. Збитки в лісовому, сільському та водному господарствах унаслідок поширеності інвазійних рослин є значними. Також досить масштабний їхній вплив на біорозмаїття, екологічну рівновагу, склад ґрунтів і сукцесії природних екосистем, особливо територій природно-заповідного фонду. Процес поширення інвазійних видів рослин у різних регіонах України відбувається з різною інтенсивністю. Найсильніший негативний вплив цієї групи рослин на біорозмаїття помітний у регіонах з антропогенним впливом [3].

Інформація щодо поширення інвазійних видів рослин є неповною та не до кінця систематизованою, часто малодоступною або ж недоступною [4].

Біорозмаїття Дрогобицького району зазнає різноманітних негативних впливів через розвинену сітку автомобільних доріг і залізничних шляхів, високу розораність регіону, що впливає на залишки природної флори [5]. Одним із несприятливих чинників є розповсюдження чужинних видів рослин. Тому для збереження автохтонної флори необхідно проводити моніторинг поширення таких видів рослин у даному регіоні.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Об'єктом дослідження були види інвазійних рослин, поширені на території Дрогобицького району. Для виокремлення таких видів рослин застосовували критерії та списки небезпечних інвазійних рослин України [2; 6]. До переліку також включені види, які на досліджуваній території дичавіють та розмножуються самовисівом. З метою вивчення їхнього видового складу було вибрано декілька дослідних пробних ділянок у межах досліджуваного району.

Обстежували природні й антропогенно трансформовані екотопи околиць сіл східної частини досліджуваного району (Нове Село, Раневичі, Верхні Гаї, Нижні Гаї, Бійничі, Далява, Почасвичі, Болехівці) уздовж автомобільних доріг і залізничних колій. Дослідження видового складу інвазійних рослин проводились протягом квітня – вересня 2021–2022 рр. маршрутним методом.

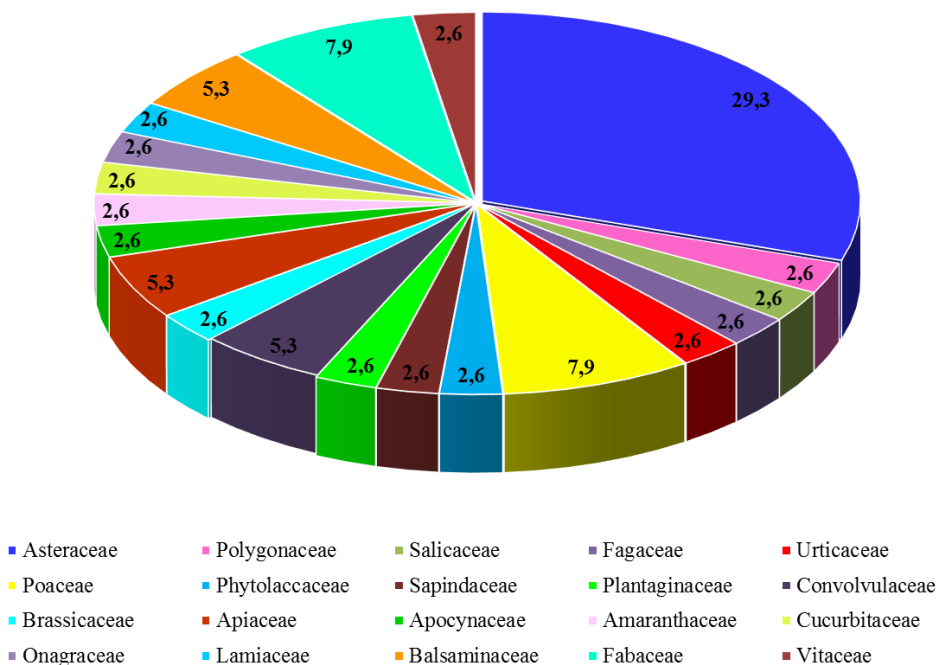
Усі виявлені види рослин ідентифікували за допомогою визначників [7; 8], після чого занесли в конспект флори, де розподіляли виявлені інвазійні види рослин за родами та родинами. Аналіз натуралізації інвазійних видів рослин проводили за класифікацією професора Цюріхського університету Альберта Теллунга (модифікована В.В. Протопоповою) [9].

Для визначення бар'єрів, які подолали інвазійні види, користувалися схемою бар'єрів, запропонованою Д. Ріхардсоном зі співавторами [9]. За впливом режиму зволоження інвазійні види рослин розподіляли на групи [10].

РЕЗУЛЬТАТИ

За результатами наших досліджень встановлено, що на досліджуваних ділянках Дрогобицького району виявлено 38 видів інвазійних рослин, які належать до 21 родини та 35 родів.

Домінує за кількістю видів родина Айстрових (*Asteraceae*), яка представлена 11 видами (29,3% від загальної кількості видів). Злакові (*Poaceae*) і Бобові (*Fabaceae*) налічують по 3 види (7,9%); родини Зонтичні (*Apiaceae*), Берізкові (*Convolvulaceae*) та Бальзамінові (*Balsaminaceae*) – по 2 види (5,3%); інші родини представлені одним видом і становлять 2,6% (діаграма 1).



Діаграма 1. Родинний спектр інвазійних рослин Дрогобицького району

Наступним етапом нашої роботи було встановлення біо-еколого-географічної характеристики інвазійних видів рослин, які виявлені нами на досліджуваних територіях Дрогобицького району. Результати представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Біо-еколого-географічна характеристика інвазійних видів рослин Дрогобицького району

№	Назва виду	Походження / Час занесення	Ступінь натуралізації / Бар'єр	Гігроморфа
1.	Амброзія полинолиста (<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.)	північноамериканське / кенофіт	епокофіт / Е	ксеромезофіт

№	Назва виду	Походження / Час занесення	Ступінь натуралізації / Бар'єр	Гігроморфа
2.	Цикорій дикий (<i>Cichorium intybus L.</i>)	середземноморсько-ірано-туранське / археофіт	агріо-епекофіт / E	ксеромезофіт
3.	Злинка канадська (<i>Erigeron canadensis L.</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріо-епекофіт / F	мезоксерофіт
4.	Злинка однорічна (<i>Phalacrolooma annuum</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріо-епекофіт / F	мезофіт
5.	Незбутниця дрібноцвіта (<i>Galinsoga parviflora Cav.</i>)	північноамериканське / кенофіт	епекофіт / E	ксеромезофіт
6.	Жовтий осот польовий (<i>Sonchus arvensis</i>)	середземноморське / археофіт	епекофіт / F	мезофіт
7.	Рудбекія кінчаста (<i>Rudbeckia laciniata</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріо-епекофіт / E	мезофіт
8.	Роман польовий (<i>Anthemis arvensis L.</i>)	середземноморське / археофіт	епекофіт / E	ксеромезофіт
9.	Золотушник канадський (<i>Solidago canadensis</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріо-епекофіт / F	ксеромезофіт
10.	Айстра американська (<i>Symphotrichum novae-angliae</i>)	північноамериканське / кенофіт	ергазіофіт / F	мезофіт
11.	Будяк звичайний (<i>Carduus acanthoides</i>)	середземноморське / археофіт	епекофіт / E	ксеромезофіт
12.	Далекосхідна гречка японська (<i>Reynoutria japonica</i>)	східноазійське / кенофіт	агріо-епекофіт / E	мезофіт
13.	Верба ламка (<i>Salix fragilis L.</i>)	малоазійське / археофіт	агріо-епекофіт / F	мезофіт
14.	Дуб червоний (<i>Quercus rubra</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріо-епекофіт / F	ксеромезофіт
15.	Кропива жалка (<i>Urtica urens L.</i>)	середземноморське / археофіт	епекофіт / F	мезофіт
16.	Мишій сизий (<i>Setaria pumila</i>)	середземноморське / археофіт	агріо-епекофіт / F	ксеромезофіт
17.	Стоколос змінений (<i>Bromus commutatus</i>)	середньоевропейське / кенофіт	епекофіт / E	мезофіт
18.	Плоскуха звичайна (<i>Echinochloa crus-galli (L.)</i>)	азійське / археофіт	агріо-епекофіт / E	мезофіт
19.	Лаконос ягідний (<i>Phytolacca acinosa</i>)	азійське / кенофіт	ефемерофіт / E	мезофіт
20.	Клен ясенелистий (<i>Acer negundo L.</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріофіт / F	ксеромезофіт
21.	Вероніка ниткувата (<i>Veronica filiformis</i>)	кавказьке / кенофіт	ефемерофіт / E	мезофіт
22.	Повитиця польова (<i>Cuscuta campestris</i>)	північноамериканське / кенофіт	епекофіт / E	мезофіт

№	Назва виду	Походження / Час занесення	Ступінь натуралізації / Бар'єр	Гігроморфа
23.	Грицики звичайні (<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.)	західносередземноморське / археофіт	агріо-епекофіт / E	ксеромезофіт
24.	Болиголов плямистий (<i>Conium maculatum</i>)	середземноморсько-ірано-туранське / археофіт	епекофіт / E	мезофіт
25.	Барвінок малий (<i>Vinca minor</i> L.)	азійське / кенофіт	епекофіт / E	мезофіт
26.	Щириця звичайна (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	пн. американське / кенофіт	епекофіт / E	ксеромезофіт
27.	Ехіноцистис шипуватий (<i>Echinocystis lobata</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріофіт / F	мезофіт
28.	Енотера червоначашечкова (<i>Oenothera glazioviana</i>)	північноамериканське / кенофіт	епекофіт / E	мезоксерофіт
29.	Борщівник Сосновського (<i>Heraclеum sosnowskyi</i>)	кавказьке / кенофіт	агріо-епекофіт / F	мезофіт
30.	Глуха кропива біла (<i>Lamium album</i> L.)	середземноморсько-ірано-туранське / археофіт	епекофіт / E	мезофіт
31.	Мак дикий (<i>Papaver rhoeas</i>)	середземноморсько-ірано-туранське / археофіт	епекофіт / E	мезофіт
32.	Розрив-трава дрібноцвіта (<i>Impatiens parviflora</i>)	центрально-азійське / кенофіт	агріофіт / E	мезофіт
33.	Розрив-трава залозиста (<i>Impatiens glandulifera</i>)	східноазійське / кенофіт	ергазіофіт / E	мезофіт
34.	Люпин багатолістий (<i>Lupinus polyphyllus</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріо-епекофіт / F	мезофіт
35.	Вика волохата (<i>Vicia villosa</i>)	середземноморське / археофіт	агріо-епекофіт / F	ксеромезофіт
36.	Робінія звичайна (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	північноамериканське / кенофіт	агріо-епекофіт / E	ксеромезофіт
37.	Дикий виноград п'ятилистий (<i>Parthenocissus quinquefolia</i>)	пн. американське / кенофіт	агріо-епекофіт / F	мезофіт
38.	Берізка польова (<i>Convolvulus arvensis</i>)	середземноморське / кенофіт	епекофіт / E	ксеромезофіт

Серед виявлених видів рослин Дрогобицького району за часом занесення переважають кенофіти – 25 видів, які становлять 65,8% від загальної кількості інвазійних видів. Археофіти налічують 13 видів (34,2%) та представлені в основному агріо-епекофітами й епекофітами. Переважання кенофітів є свідченням того, що відбувається активізація процесів занесення чужинних видів рослин у сучасну флору України.

Під час проведення аналізу первинних ареалів інвазійних видів рослин, поширених у Дрогобицькому районі, необхідно відзначити переважання видів

північноамериканського походження (16 видів – 42,2%). Менша видова різноманітність рослин середземноморського (7 видів – 18,4%), середземноморсько-ірано-туранського (4 види – 10,5%) і азійського (3 – 7,9%) походження. Східноазійський і кавказький ареали налічують по 2 види (5,3%), а інші первинні ареали (малоазійський, середньоєвропейський, центральноазійський і західносередземноморський) представлені 1 представником, що становить 2,6% від загальної кількості видів.

Переважає в досліджуваному районі видів інвазійних рослин північноамериканського походження може свідчити про кращу адаптацію рослин до нових умов, які схожі до умов їхнього первинного ареалу [2].

За ступенем натуралізації види інвазійних рослин досліджуваного району розподіляються на 5 груп. Найчисленнішими за кількістю видів такі групи, як: агріо-епокофіти (16 видів – 42,1%), епокофіти (15 видів – 39,4%). Агріофіти представлені 3 видами – 7,9%; ергазіофіти й ефемерофіти налічують по 2 види, що становлять 5,3%. Агріо-епокофіти й епокофіти мають велике значення, оскільки переважають у рослинному покриві цілком трансформованих місцезростань.

Під час натуралізації в нових умовах інвазійні види долають деякі бар'єри. Більшість інвазійних видів рослин Дрогобицького району подолали Е-бар'єр – 23 види (60,5%), а 15 видів подолали F-бар'єр (39,5%).

Одним із важливих екологічних чинників, який має вплив на розподіл видів чужинних рослин за ектопами, є відношення до вологи. За гігморфою переважають мезофіти – 22 види (57,9%), на другому місці – ксеромезофіти, які представлені 14 видами (36,8%), мезоксерофіти налічують 2 види (5,3%).

1. Отже, чужинні види рослин витісняють природні види, займаючи все нові території, що спричиняє непоправні втрати серед видів автохтонної флори. На досліджуваних територіях Дрогобицького району виявлено 2 види інвазійних рослин, які викликають занепокоєння Європейського Союзу, як-от борщівник Сосновського (*Heracleum sosnowskyi*) та розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera*) [11].

2. Шість видів інвазійних рослин внесені до списку інвазійних чужинних рослин Європейської та Середземноморської організацій із захисту рослин [12]: борщівник Сосновського (*Heracleum sosnowskyi*), амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisifolia* L.), далекосхідна гречка японська (*Reynoutria japonica*), розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera*), золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.) та люпин багатолістий (*Lupinus polyphyllus*). Ці рослини є небезпечними для природної флори Дрогобицького району. Вони, як і всі інші інвазійні види, здатні змінювати біотопи, у яких поширюються, та пригнічувати ріст і розвиток інших рослин, впливати не тільки на характер рослинності, а й на біогеохімічні характеристики ландшафтів. Це призводить до знецінювання господарської та комерційної вартості земель.

Підсумовуючи отримані результати щодо поширення інвазійних видів рослин у Дрогобицькому районі та їхнього впливу на біорозмаїття, можна зробити висновок, що такі види рослин дуже негативно впливають на біорозмаїття досліджуваного району.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень щодо вивчення поширеності інвазійних видів рослин на окремих територіях у Дрогобицькому районі нами зроблені такі висновки:

1. На території досліджуваного регіону Дрогобицького району виявлено 38 видів інвазійних рослин, які належать до 21 родини та 35 родів. Домінує за кількістю видів родина Айстрових (*Asteraceae*) – 11 видів (29,3% від загальної кількості видів).

2. За часом занесення переважають кенофіти – 25 видів (65,8% від загальної кількості інвазійних видів); археофіти – 13 видів (34,2%).

3. За походженням переважають види північноамериканського походження (16 видів – 42,2%); середземноморського (7 видів – 18,4%); середземноморсько-ірано-туранського (4 види – 10,5%) і азійського (3–7,9%) походження. Східноазійський і кавказький ареали налічують по 2 види (5,3%), а інші первинні ареали мають 1 представника (2,6%).

4. За ступенем натуралізації переважають агріо-епокофіти (16 видів – 42,1%) і епокофіти (15 видів – 39,4%). Агріофіти представлені 3 видами – 7,9%; ергазіофіти й ефемерофіти налічують по 2 види, що становлять 5,3%. Більшість інвазійних видів рослин Дрогобицького району подолали Е-бар'єр – 23 види (60,5%). Видів, які подолали F-бар'єр, менше – 15 (39,5%).

5. За гігморфою переважають мезофіти – 22 види (57,9%), на другому місці – ксеромезофіти, які представлені 14 видами (36,8%), мезоксерофіти налічують 2 види (5,3%).

Отримані результати можуть бути використані з метою контролю поширеності інвазійних рослин у флорі Передкарпаття для збереження біорозмаїття. Уважаємо за доцільне проведення подальшого моніторингу за станом поширення інвазійних видів і впливом їх на природні угруповання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мінарченко В.М. Звіт про науково-дослідну роботу «Ведення державного кадастру рослинного світу». Київ, 2018. 507 с.
2. Протопопова В.В., Шевера М.В. Інвазійні види у флорі України. I. Група високоактивних видів. *GEO&BIO*. 2019. Vol. 1. P. 113–135.
3. Інвазійні рослини в урбоекосистемі Львова / З.І. Мамчур та ін. *VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів із міжнародною участю*. Львів, 2017. С. 137.
4. Малиновський А.К. Основні напрями та результати досліджень фітоінвазій. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. Львів, 2018. Вип. 34. С. 55–68.
5. Павлишак Я.Я., Гойванович Н.К. Синантропна флора Передкарпаття (Дрогобицький район) та її аналіз. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2017. С. 38–41.
6. Обґрунтування «чорного списку» загрозливих для біорізноманіття інвазійних видів рослин України / О.С. Абдулоєва та ін. *Вісник Київського національного університету. Серія «Біологія»*. 2008. Вип. 52–53. С. 106–107.
7. Нечитайло В.А., Кучерява Л.Ф. Ботаніка. Вищі рослини. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 432 с.
8. Морозюк С.С., Протопопова В.В. Трав'янисті рослини України. Атлас-визначник. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2007. 216 с.
9. Протопопова В.В., Шевера М.В. Фітоінвазії. II. Аналіз основних класифікацій, схем і моделей. *Промышленная ботаника*. 2012. Вип. 12. С. 88–95.
10. Екофлора України / Я.П. Дідух та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. 284 с.
11. Assessment of existing lists of invasive alien species for Europe, with particular focus on species entering Europe through trade, and proposed responses. Draft. Prepared by mr Piero Genovesi and mr Riccardo Scalera. Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats (t-pvs/inf (2007)).
12. EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). Lists of Invasive Alien Plants. URL: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/invasive_alien_plants/iap_lists.

REFERENCES

1. Minarchenko V.M. (2018). *Zvit pro naukovo-doslidnu robotu "Vedennia derzhavnoho kadastru roslynnoho svitu" [Report on the research work "Maintenance of the State Cadastre of the Plant World"]*. Kyiv, 507 [in Ukrainian].
2. Protopopova V.V., Shevera M.V. (2019). Invaziini vydy u flori Ukrainy. I. Hrupa vysokoaktyvnykh vydiv [Invasive species in the flora of Ukraine. I. Group of highly active species]. *GEO&BIO*. Vol. 1. R. 113–135 [in Ukrainian].
3. Mamchur, Z.I., Chuba, M.V., Drach, Yu.A. (2017). Invaziini roslyny v urboekosystemi Lvova [Invasive plants in the urban ecosystem of Lviv]. *VI-yi Vseukrainskyi zizd ekolohiv z mizhnarodnoiu uchastiu – VI All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation*. Lviv, 137 [in Ukrainian].
4. Malynovskyi A.K. (2018). Osnovni napriamky ta rezultaty doslidzhen fitoinvazii [Main directions and results of phytoviasion research]. *Naukovi zapysky Derzhavnoho pryrodnavchoho muzeiu – Scientific notes of the State Natural History Museum*. Lviv, 34. S. 55–68 [in Ukrainian].
5. Pavlyshak Ya.Ya., Hoivanovych N.K. (2017). Synantropna flora Peredkarpattia (Drohobyskyi raion) ta yii analiz [Synanthropic flora of Precarpathia (Drohobysky district) and its analysis]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 38–41 [in Ukrainian].
6. Abduloieva O.C., Karpenko H.I., Senchylo O.O. (2008). Obhruntuvannia "chornoho spysku" zahrozyvykh dlia bioriznomanittia invaziinykh vydiv roslyn Ukrainy ustification of the "black list" of invasive plant species of Ukraine threatening biodiversity. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu. Seriya "Bioloheia"*, 52–53, 106–107 [in Ukrainian].
7. Nechytailo V.A., Kucheriava L.F. (2005). *Botanika. Vyschi roslyny [Botany. Higher plants]*. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 432 [in Ukrainian].
8. Moroziuk S.S., Protopopova V.V. (2007). *Trav'ianyisti roslyny Ukrainy. Atlas-vyznachnyk [Herbaceous plants of Ukraine. Atlas-determiner]*. Ternopil : Navchalna knyha – Bohdan, 216 [in Ukrainian].
9. Protopopova V.V., Shevera M.V. (2012). Fitoinvazii. II. Analiz osnovnykh klasyfikatsii, skhem i modelei [Phytoviasions. II. Analysis of the main classifications, schemes and models]. *Promyshlennaia botanika – Industrial botany*, 12, 88–95 [in Ukrainian].
10. Didukh Ya.P., Pliuta P.H., Protopopova V.V., Yermolenko V.M., Korotchenko I.A., Karkutsiiev H.M., Burda R.I. (2000). *Ekoflora Ukrainy [Ecoflora of Ukraine]*. Kyiv : Fitosotsiotsentr. [in Ukrainian]
11. Assessment of existing lists of invasive alien species for Europe, with particular focus on species entering Europe through trade, and proposed responses. Draft. Prepared by mr Piero Genovesi and mr Riccardo Scalera. Convention on the conservation of european wildlife and natural habitats (t-pvs/inf (2007) [in English].
12. EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). Retrieved from: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/invasive_alien_plants/iap_lists. [in English].

ABSTRACT

PREVALENCE OF INVASIVE SPECIES IN DROHOBYCH DISTRICT AND THEIR IMPACT ON BIODIVERSITY

The spread of invasive plants in the eastern part of Drohobych district in the vicinity of the villages of Nove Selo, Ranevychi, Verkhni Gai, Nyzhni Gai, Biynychi, Dalyava, Pochaevychi, Bolekhytsi was studied. 38 species of invasive plants belonging to 21 families and 35 genera were

identified in the study areas of the Drohobych district. It was found that the Asteraceae family has the largest number of species – 11, which is 29,3% of the total number of species. Poaceae and Fabaceae have 3 species each (7,9%); Apiaceae, Convolvulus, and Balsaminaceae have 2 species each (5,3%); the remaining 15 families are represented by one species, which is 2.6%. Among the identified plant species of the Drohobych district, endophytes dominate by the time of introduction – 25 species (65,8% of the total number of invasive species), archeophytes have 13 species (34,2%).

The species of North American origin (16 species – 42,2%); Mediterranean (7 species – 18,4%); Mediterranean-Iranian-Turanian (4 species – 10,5%) and Asian (3–7,9%) origin predominate. East Asian and Caucasian habitats have 2 species each (5,3%), and other primary habitats are represented by 1 representative (2,6%).

Agri-epicophytes (16 species – 42,1%) and epicophytes (15 species – 39,4%) dominate by the degree of naturalization. Agriophytes are represented by 3 species – 7,9%; ergasiophytes and ephemerophytes number 2 species, which are 5,3%. The majority of invasive plant species of Drohobych district overcame the E-barrier – 23 species (60,5%). The number of species overcoming the F-barrier is less than 15 species (39,5%).

According to the hygromorph, mesophytes predominate – 22 species (57,9%), xeromesophytes, which are represented by 14 species (36,8%), possess second place; mesoxerophytes number 2 species (5,3%).

Thus, alien plant species displace native species, occupying more and more new territories, which results in irreparable losses among the species of autochthonous flora. The spread of invasive plants affects not only the nature of vegetation but also the biogeochemical characteristics of landscapes. This reduces the economic and commercial value of the land. We consider it advisable to conduct further monitoring of the state of the invasive species spread and their impact on native plant groups.

Key words: invasive plants, biodiversity of Drohobych district, naturalization of invasive species, bioecological characteristics.

Степан Семенович Бегей,

кандидат сільськогосподарських наук

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, Україна

orcid.org/0000-0002-7193-0550, e-mail: begey100357@gmail.com

Наталія Владиславівна Карасевич,

науковий співробітник

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, Україна

orcid.org/0000-0002-1416-559X, e-mail: nataliakarasevych@gmail.com

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: svtlana.voloshanska@gmail.com

Оксана Валеріївна Николаїшин,

кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри біології та хімії

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0002-1385-3980, e-mail: nykolaishynoksana@gmail.com

ЕФЕКТИВНІСТЬ СПОСОБІВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ОСУШУВАНИХ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТИХ ҐРУНТІВ ПІД ПОСІВИ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УМОВАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

Анотація. Кукурудза – це третя за значенням після пшениці та рису, важлива зернова культура в Україні та в усьому світі. Її цінність і універсальність полягають у напрямках, де її використовують: як кормову та технічну культуру, а також у харчовій промисловості. Тому збільшення посівних площ кукурудзи, одержання стабільно високих урожаїв є дуже важливим питанням, адже наша країна входить до п'ятірки найбільших експортерів зерна кукурудзи у світі.

Меліоративні заходи дали змогу залучити в сільськогосподарське використання та перетворити на орні землі значні площі перезвожених земель, які раніше не використовувались. Важливою проблемою осушуваних систем Передкарпаття є забезпечення сприятливого меліоративного стану земель, зокрема й на основі поліпшення їхніх агрофізичних властивостей. Тому питання вибору технологій, які варто застосовувати на осушуваних землях для забезпечення приросту обсягів виробництва основних сільськогосподарських культур без порушення сучасних стандартів збереження навколишнього середовища, є актуальним.

Мета дослідження – дати порівняльну оцінку впливу різних способів основного обробітку на агрофізичні показники дерново-підзолистого ґрунту та продуктивність посівів кукурудзи на зерно в умовах Передкарпаття.

Установлено, що вологість ґрунту на час посіву кукурудзи була вищою на варіантах, де проводилася оранка із ґрунтопоглибленням. У фазі воскової стиглості вища вологість у підорному шарі ґрунту відмічена на варіантах, де проводилося його розпушування.

Нижчу об'ємну масу, вищу загальну шпаруватість і повітроємність отримано на варіантах із розпушуванням підорного шару ґрунту.

Істотний приріст урожайності зерна кукурудзи отримано на варіантах, де проводилася оранка на 20–22 см, оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см, глибока оранка без

обертання скиби (25–27 см), причому найвищу врожайність зерна забезпечила оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см.

Вищий рівень рентабельності (60,2%), енергетичний еквівалент (2,32) забезпечила оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки.

Ключові слова: осушувані землі, обробіток ґрунту, кукурудза, вологість, об'ємна маса.

ВСТУП

На Передкарпатті, що являє собою природний район Карпатської лісолучної зони, найбільш поширені дерново-підзолисті поверхнево-оглеєні ґрунти. Глибина їхнього верхнього гумусо-елювіального горизонту становить 18–25 см, збігаючись із глибиною орного шару. За гранулометричним складом ці ґрунти здебільшого пілувато-суглинкові, малоструктурні, що за кліматичних особливостей регіону (зона надлишкового зволоження) сприяє формуванню заболочених і перезволожених земель. Меліоративні заходи дали змогу залучити в сільськогосподарське використання та перетворити на орні землі значні площі перезволожених земель, які раніше не використовувались. Більшість із них (89,4%) осушені горизонтальним закритим дренажем для прискореного відведення із ґрунту надлишкової вологи. Специфіка цього способу полягає у відведенні поверхневих вод від орного горизонту провідними каналами у водоприймачах і зайвих вод із меліорованої площі. Тривале осушення та подальше використання таких земель призвело до сталих змін у природних процесах, які мають різне спрямування, зокрема й пов'язане з деградацією ґрунтів і погіршення їхнього екологічного стану [2; 4]. Тому питання раціонального використання осушуваних земель, відтворення їхньої родючості посідає одне із провідних місць у практиці землеробства.

Родючість ґрунту пов'язують головним чином із наявністю в ньому поживних елементів і недооцінюють важливість фізичних параметрів. Але несприятливі фізичні чинники (вологість, ущільнення, розпиленість ґрунту, недостатня аерація тощо) лімітують урожай жорсткіше, ніж нестача елементів живлення [13; 15]. Тому агрофізична характеристика ґрунту є важливою складовою частиною теоретичного обґрунтування всіх основних заходів землеробства, оскільки їхнім головним завданням є створення сприятливих фізичних умов у ґрунтах для потреб культурних рослин. Тільки оптимальні фізичні умови, що поєднуються з належною кількістю елементів живлення рослин, забезпечують максимальну продуктивність агрофітоценозів [6; 16].

Висока продуктивність будь-якої культури, кукурудзи також, залежить від технології її вирощування, основною складовою частиною якої є основний обробіток ґрунту. Своєчасно та якісно виконаний і правильно підібраний обробіток ґрунту сприяє окультуренню орного шару, поліпшує водно-повітряний, тепловий і поживний його режими для вирощування сільськогосподарських культур. За допомогою обробітку регулюють агрофізичні, біологічні й агрохімічні процеси, що відбуваються у ґрунті, інтенсивність розкладання та нагромадження органічної речовини, ефективність використання внесених добрив. Загальновідомо, що обробіток ґрунту – один із найефективніших заходів боротьби з бур'янами, шкідниками та хворобами сільськогосподарських культур. Нині на осушуваних землях Передкарпаття відсутня чітка позиція щодо застосування того чи іншого способу основного обробітку ґрунту під пізні ярі культури, зокрема й під кукурудзу [7; 9; 11]. Тому питання вибору технологій, які варто застосовувати на осушуваних землях для забезпечення приросту обсягів виробництва основних сільськогосподарських культур без порушення сучасних стандартів збереження навколишнього середовища, є актуальним.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження проводилися в польовому досліді на дерново-підзолистих поверхнево-оглеєних осушуваних ґрунтах зі схилом 1–2°.

Об'єктом досліджень обрані агроценози кукурудзи на зерно.

Предмет досліджень – різноглибинні обробітки ґрунту, урожайність кукурудзи на зерно.

Агрофізичні властивості визначали за такими методиками: щільність складення – методом ріжучого кільця, пошарово через кожні 10 см до глибини 30 см (ДСТУ ISO 11272–2001). Загальну пористість обчислювали співвідношенням щільності складення ґрунту та щільності твердої фази, польову вологість – термоваговим методом (ДСТУ ISO 11465:2001). Зразки ґрунту відбирали на час посіву (травень) і перед збиранням кукурудзи на зерно. Забур'яненість посівів визначалася методом накладання рамки (0,25 м²).

Ефективність способів основного обробітку ґрунту визначалася на посівах кукурудзи на зерно (сорт Хотин).

Схема досліду:

1. Мілка оранка (14–16 см).
2. Середня оранка (20–22 см).
3. Оранка із ґрунтопоглибленням (оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки).
4. Глибока оранка без обертання скиби (25–27 см).
5. Середня оранка (20–22 см) + глибоке меліоративне розпушування (60 см).

Інші технологічні операції є загальноприйнятими для умов Передкарпаття.

Норма удобрення – N₉₀P₉₀K₉₀.

РЕЗУЛЬТАТИ

На врожайність рослин великий вплив мають водно-фізичні властивості ґрунту, у формуванні яких значна роль відводиться основному обробітку.

Дані наших досліджень показують залежність водно-фізичних властивостей ґрунту від способів основного обробітку. Вода належить до найбільш істотних біофізичних чинників, що відіграють величезну роль у формуванні врожаю культур і ґрунтової родючості [3].

Вологість ґрунту на час посіву, у шарі ґрунту 0–10 см, становила 13,7–14,2%, у шарі 10–20 см – 16,0–17,8%, у шарі 20–30 см – 17,2–18,0% і була вищою на варіантах, де проводилася оранка із ґрунтопоглибленням (оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки).

У фазі воскової стиглості вологість у шарі ґрунту 0–10 см становила 15,2–15,3% і була практично однаковою за всіх способів основного обробітку ґрунту, у шарі 10–20 см – 15,4–15,6%, у шарі 20–30 см – 15,5–15,9%. Варто зазначити, що в підорному шарі ґрунту вища вологість відмічена на варіантах, де проводилося його розпушування.

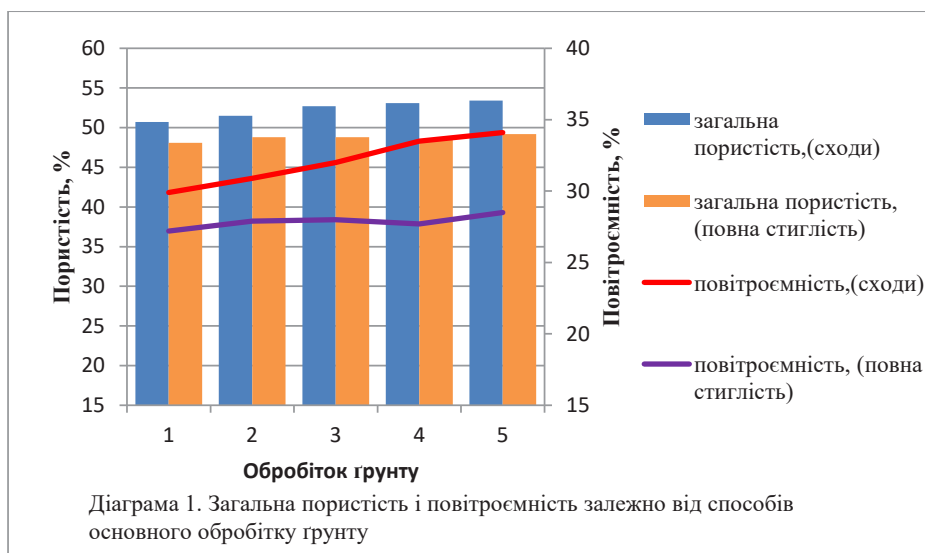
Запаси продуктивної вологи (у шарі 0–30 см) залежно від способів основного обробітку ґрунту на час посіву становили 30,9–34,9 мм і були вищими (на 2,6–12,9%) на варіантах, де проводилася оранка із ґрунтопоглибленням (оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки). У фазі воскової стиглості, у шарі ґрунту 0–30 см запаси продуктивної вологи становили 31,9–32,5 мм.

Об'ємна маса є основною агрономічною характеристикою ґрунту, яка відображає її будову, водно-фізичні властивості [8]. Об'ємна маса в шарі ґрунту 0–10 см становила 1,14–1,16 г/см³, у шарі 10–20 см – 1,22–1,30 г/см³, у шарі 20–30 см – 1,32–1,42 г/см³. У шарі ґрунту 0–30 см, залежно від способів основного обробітку ґрунту, становила 1,22–1,29 г/см³ і була нижчою на варіантах із розпушуванням підорного шару ґрунту. У фазі воскової стиглості об'ємна маса в шарі ґрунту 0–30 см становила 1,33–1,36 г/см³ і також була нижчою на варіантах із розпушуванням підорного шару ґрунту.

Шпаруватість – сумарний обсяг усіх пор і проміжків між частинками твердої фази ґрунту, є дуже важливою властивістю ґрунту. Загальна шпаруватість (пористість) залежно від ґрунту, обробітку перебуває в межах від 30 до 70% об'єму ґрунту. Для росту та розвитку рослин найкраща пористість становить 50–60%.

Коли відома загальна шпаруватість ґрунту та його вологість, можна розрахувати шпаруватість аерації, або повітроємність, що виражається в об'ємних відсотках. Повітроємність ґрунтів визначається відносним об'ємом вільних від вологи пор. Уважається, що оптимальні умови аерації мінеральних ґрунтів забезпечуються за вмісту ґрунтового повітря на рівні 20–40%. У разі падіння повітроємності нижче 15% газообмін між атмосферою та ґрунтом розглядається як незадовільний.

Загальна шпаруватість на час посіву кукурудзи на зерно становила 50,7–53,4% і була вищою на 1,6–5,3% на варіантах, де проводилися середня оранка (на 20–22 см) і оранки з розпушуванням підорного шару ґрунту, у фазі воскової стиглості 48,1–49,2%. Подібна закономірність відмічена і за повітроємністю ґрунту (Діаграма 1).



Отже, загальна шпаруватість на час посіву була доброю (50,7–53,4%), а у фазі воскової стиглості задовільною (48,1–49,2%), повітроємність ґрунту була оптимальною.

Урожайність є інтегральним показником оцінки будь-якого агротехнічного чи агрохімічного впливу на ґрунт, стану його агрофізичних властивостей [12; 14]. На врожайність кукурудзи на зерно мали вплив способи основного обробітку ґрунту, вона становила 6,71–7,92 т/га за 14% вологості зерна. Істотний приріст урожайності зерна кукурудзи ($НІР_{05т/га} = 0,49$) отримано на варіантах, де проводились оранка на 20–22 см,

оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см, глибока оранка без обертання скиби (25–27 см), причому найвищу врожайність зерна забезпечила оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см.

Забур'яненість посівів, зміна їх чисельності та складу зумовлюється насамперед технологією вирощування, попередниками тощо, а також особливостями окремих способів обробітку ґрунту [1].

Кількість і маса бур'янів, на час посіву, значно варіювали від застосування того чи іншого способу обробітку ґрунту. Так, за мілкої оранки (14–16 см) забур'яненість змінювалась у межах 14,2–16,6 шт./м², середньої оранки (20–22 см) – 10,0–11,2 шт./м², оранки на 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки – 10,1–11,6 шт./м², глибокої оранки без обертання скиби (25–27 см) – 15,7–17,2, середньої оранки (20–22 см) + глибоке меліоративне розпушування (60 см) – 11,0–11,4 шт./м².

Найменші кількісні показники були характерні для полицевої оранки (20–22 см) та полицевої оранки з розпушуванням підорного шару ґрунту. Застосування мілкої оранки (14–16 см) і глибокої оранки без обертання скиби (25–27 см) сприяло зростанню забур'яненості посівів кукурудзи через вищу локалізацію насіння у верхніх шарах ґрунту.

На час збирання врожаю забур'яненість посівів зернової кукурудзи зменшувалась, залежно від обробітку ґрунту й удобрення (N₉₀P₉₀K₉₀), у 2,2–3,1 рази (до 3,3–7,8 шт./м²) у зв'язку зі зростанням конкурентоспроможності посівів кукурудзи щодо бур'янів у більш пізні фази росту та розвитку рослин.

Отже, залежно від способу основного обробітку ґрунту активність цих видів бур'янів у посівах кукурудзи знижувалася у 2,2–3,1 рази.

Таблиця 1. Ефективність вирощування кукурудзи на зерно залежно від способів основного обробітку

№	Варіанти	Урожайність зерна, т/га	Рівень рентабельності, %	Енергетичний еквівалент
1.	Мілка оранка (14–16 см)	6,71	54,1	2,05
2.	Середня оранка (20–22 см)	7,40	57,8	2,21
3.	Оранка із ґрунтопоглибленням (оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки)	7,92	60,2	2,32
4.	Глибока оранка без обертання скиби (25–27 см)	7,27	56,5	2,07
5.	Середня оранка (20–22 см) + глибоке меліоративне розпушування (60 см)	7,05	54,6	1,98

Ефективність доцільності окремих заходів у технологіях землеробства визначається економічним і енергетичним аналізом. Ефективність вирощування кукурудзи на зерно залежно від способів основного обробітку подана в таблиці 1.

Рівень рентабельності вирощування кукурудзи на зерно становив 54,1–60,2%, причому рентабельність, вищу на 0,9–11,3%, отримано на варіантах, де проводились оранка на 20–22 см і оранки з розпушуванням підорного шару ґрунту. Найвищий

рівень рентабельності (60,2%) забезпечила оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки. Енергетичний аналіз запропонованих елементів технологій показує, що технологічні процеси в основному ефективні (табл. 1). Вищий енергетичний еквівалент (на 5,0–17,2%) порівняно з іншими обробітками відмічений на варіанті, де проводилась оранка 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки.

ВИСНОВКИ

1. Вологість ґрунту на час посіву була вищою на варіантах, де проводилась оранка із ґрунтопоглибленням. У фазі воскової стиглості вища вологість у підорному шарі ґрунту відмічена на варіантах, де проводилося його розпушування.

2. У шарі ґрунту 0–30 см, залежно від способів основного обробітку ґрунту, об'ємна маса становила 1,22–1,29 г/см³ і була нижчою на варіантах із розпушуванням підорного шару ґрунту. У фазі воскової стиглості об'ємна маса в шарі ґрунту 0–30 см становила 1,33–1,36 г/см³ і також була нижчою на варіантах із розпушуванням підорного шару ґрунту.

3. Загальна шпаруватість на час посіву кукурудзи на зерно – 50,7–53,4%, була вищою на 1,6–5,3% на варіантах, де проводилися середня оранка (на 20–22 см) і оранки з розпушуванням підорного шару ґрунту, а повітроємність ґрунту була оптимальною.

4. Істотний приріст урожайності зерна кукурудзи отримано на варіантах, де проводилися оранка на 20–22 см, оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см, глибока оранка без обертання скиби (25–27 см), причому найвищу врожайність зерна забезпечила оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см.

5. Найвищий рівень рентабельності (60,2%) забезпечила оранка на 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки.

6. Вищий енергетичний еквівалент (на 5,0–17,2%) порівняно з іншими обробітками відмічений на варіанті, де проводилась оранка 20–22 см + розпушування на 12–14 см нижче рівня оранки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Асанішвілі Н.М. Ефективність елементів технології вирощування кукурудзи в умовах північної частини Лісостепу. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України»*. Київ, 2013. № № 3–4. С. 68–74.
2. Белова Н.В. Екологічний стан агроландшафтів Передкарпаття. *Актуальні проблеми дослідження довкілля* : збірник наукових праць. 2013. Т. 2. С. 101–105.
3. Бородін А.Л., Криlach С.І. Вплив параметрів структури ґрунту, створених передпосівним обробітком, та їх динаміки на вологозабезпеченість кукурудзи. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 84. С. 128–133.
4. Гаськевич В.Г., Лемега Н.М. Агрофізична деградація підзолисто-дернових поверхнево-оглеєних ґрунтів Передкарпаття. *Ґрунтознавчо-географічна наука і практика – традиції та сьогодення* : матеріали Всеукраїнської наукової конференції, присвяченої 100-річчю від народження д. с.-г. н., проф. І.М. Гоголева, м. Одеса, 12–13 вересня 2019 р. Одеса : ОНУ імені І.І. Мечникова, 2019. С. 106–111.
5. Економіка сільського господарства / В.К. Збарський та ін. Київ : Каравела, 2009. 264 с.
6. Особливості сучасних світових технологій вирощування кукурудзи / С.В. Кліщенко та ін. Київ, 2006. 112 с.
7. Крученик В.І. Підходи до управління меліоративними системами в умовах реформування АПК. *Водне господарство України*. 2002. № № 3–4. С. 10–13.

8. Фізика ґрунту : навчальний посібник / В.В. Медведєв та ін. Київ, 2018. 289 с.
9. Перспективи використання меліорованих земель гумідної зони України в умовах змін клімату / Ю.О. Тараріко та ін. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 7. С. 55–59.
10. Томашівський З.М., Завірюха П.Д. Адаптивні системи землеробства : навчальний посібник. Львів, 2002. 184 с.
11. Уланчук В.С., Альошкіна Л.П. Шляхи підвищення ефективності використання земельних ресурсів у сільськогосподарських підприємствах регіону. *Економіка АПК*. 2009. № 9. С. 10–15.
12. Філоненко С.В. Формування зернової продуктивності кукурудзи за різних способів основного обробітку ґрунту. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 3. С. 56–60.
13. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від основного обробітку та удобрення / О.А. Цюк. *Агрономія*. 2018. Т. 10. № № 5/6. С. 139–145.
14. Agriculture : Workshop / S.P. Tanchik et al. Kyiv : FOP Korzun D. Yu., 2013. 278 p.
15. Begei S.S. Agro-technical measures efficient use of eroded lands of pre-carpathian. *Science for modern agriculture in the Carpathian region* : monograph. Lviv, 2021. P. 49–60.
16. Troyer A.F. Background of U.S. hybrid corn: II. Breeding, climate, and food. *Crop Science*. 2004. Vol. 44. № 2. P. 370–380.

REFERENCES

1. Asanishvili, N.M. (2013). Efektyvnist elementiv tekhnologii vyroshchuvannia kukurudzy v umovakh pivnichnoi chastyny Lisostepu [The list of elements of maize growing technology in the northern part of the Forest-Steppe]. *Zb. nauk. prats NNTs "Instytut zemlerobstva NAAN" – Collection of scientific works of the National Scientific Center "Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine"*. Kyiv. Vol. 3–4. P. 68–74 [in Ukrainian].
2. Bielova N.V. (2013). Ecological state of agricultural landscapes of Precarpathia [Ekolohichni stan ahrolandshaftiv Peredkarpattia]. *Zb. nauk. prats*. T. 2. P. 101–105 [in Ukrainian].
3. Borodin A.L., Krylach S.I. (2015). Vplyv parametriv struktury ґрунту, stvorenykh peredposivnym obrobikom, ta yikh dynamiky na volohozabezpechenist kukurudzy [Influence of soil structure parameters created by pre-sowing tillage and their dynamics on corn moisture availability]. *Ahrokhimiia i ґruntovnavstvo*. Vol. 84. P. 128–133 [in Ukrainian].
4. Haskevych V.H., Lemeha N.M. (2019). Ahrofizychna dehradatsiia pidzolysto-dernovykh poverkhnevo-ohleienykh ґruntiv Peredkarpattia [Agrophysical degradation of podzol-sod surface carbonated soils of Precarpathian region]. *ґruntovnavcho-heohrafichna nauka i praktyka – tradytsii ta sohodennia* : materialy Vseukrainskoi naukovoї konferentsii, prysviachenoї 100-richchiu vid narodzhennia d. s.-h. n., prof. I.M. Hoholieva, m. Odesa, 12–13 veresnia 2019 r. Odesa : ONU imeni I.I. Mechnykova. P. 106–111 [in Ukrainian].
5. Zbarskyi V., Matsyhora V., Chalyi A. (2009). *Ekonomika silskoho hospodarstva [Economics of agriculture]*. Kyiv : Karavela. 264 p. [in Ukrainian].
6. Klishchenko S.V., Zozulia O.L., Yermakova L.M., Ivanovska R.T. (2006). Osoblyvosti suchasnykh svitovykh tekhnologii vyroshchuvannia kukurudzy [Features of modern world technologies of corn cultivation]. Kyiv. 112 p. [in Ukrainian].
7. Kruchenyk V. (2002). Pidkhody do upravlinnia melioratyvnymy systemamy v umovakh reformuvannia APK [Approaches to the management of land reclamation systems in the context of reforming the agro-industrial complex]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. № № 3–4. P. 10–13 [in Ukrainian].
8. Medvediev V.V., Bulyhin S.Iu., Vitvitskyi S.V. (2018). *Fizyka ґruntu : navchalnyi posibnyk [Soil physics : textbook]*. Kyiv. 289 p. [in Ukrainian].

9. Tarariko Yu.O., Saidak R.V., Soroka Yu.V. (2016). Perspektyvy vykorystannia meliorovanykh zemel humidnoi zony Ukrainy v umovakh zmin klimatu [Prospects for the use of reclaimed lands of the humid zone of Ukraine in the context of climate change]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. № 7. P. 55–59 [in Ukrainian].
10. Tomashivskiy Z.M., Zaviriukha P.D. (2002). *Adaptyvni systemy zemlerobstva : navchalnyi posibnyk [Adaptive farming systems. Training manual]*. Lviv : Lviv. derzh. ahrar. un-t. 184 p. [in Ukrainian].
11. Ulanchuk B., Aloskina L. (2009). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia zemelnykh resursiv u silskohospodarskykh pidpriemstvakh rehionu [Ways to increase the efficiency of land resources use in agricultural enterprises of the region]. *Ekonomyka APK*. № 9. P. 10–15. [in Ukrainian]
12. Filonenko S. V. (2013). Formuvannia zernovoi produktyvnosti kukurudzy za riznykh sposobiv osnovnoho obrobittu gruntu [Formation of grain productivity of maize under different methods of basic tillage]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. № 3. P. 56–60 [in Ukrainian].
13. Tsiuk O.A., Tsentylo L.V., Melnyk V.I. (2018). Strukturno-ahrehatnyi sklad gruntu zalezhu vid osnovnoho obrobittu ta udobrennia [Structural and aggregate composition of the soil depending on the main cultivation and fertilization]. *Ahronomiia*. T. 10. № 5/6. P. 139–145 [in Ukrainian].
14. Agriculture : Workshop / S.P. Tanchik et al. Kyiv : FOP Korzun D.Yu., 2013. 278 p. [in English].
15. Begei S. (2021). Agro-technical measures efficient use of eroded lands of pre-carpathian. *Science for modern agriculture in the Carpathian region : monograph*. Lviv. P. 49–60 [in English].
16. Troyer A.F. (2004). Background of U.S. hybrid corn: II. Breeding, climate, and food. *Crop Science*. Vol. 44. № 2. P. 370–380. [in English].

ABSTRACT

EFFICIENCY OF METHODS OF MAIN PROCESSING OF DRAINED SEED-FLUID SOILS UNDER SOWING OF CORN FOR GRAIN IN THE CONDITIONS OF THE PRECARPATHIAN

Corn is the third most important crop after wheat and rice, an important grain crop in Ukraine and around the world. Its value and versatility lie in the directions where it is used: as a fodder and technical culture, as well as in the food industry. Therefore, the increase of corn sown areas, obtaining consistently high yields is a very important issue, because our country is one of the five largest exporters of corn grain in the world.

Land reclamation measures made it possible to bring in agricultural use and turn into arable land large areas of waterlogged land that were not used before. An important problem of the drained systems of Precarpathia is to ensure a favorable land reclamation condition, in particular on the basis of improving their agrophysical properties. Therefore, the issue of choosing technologies that should be used on drained lands to ensure an increase in the production of the main agricultural crops without violating modern standards of environmental protection is relevant.

The purpose of the study was to give a comparative assessment of different methods of main cultivation on the agrophysical parameters of sod-podzolic soil and the productivity of corn crops per grain in the conditions of Precarpathia.

It was established that the soil moisture at the time of corn sowing was higher in the variants where plowing with soil deepening was carried out. In the phase of waxy ripeness, higher humidity in the subsoil layer was noted on the variants where its loosening was carried out.

A lower volumetric weight, higher total porosity and air capacity were obtained on variants with loosening of the subsoil layer.

A significant increase in the yield of corn grain was obtained in the variants where plowing was carried out at 20–22 cm, plowing at 20–22 cm + loosening at 12–14 cm, deep plowing without rotating the skid (25–27 cm), and the highest grain yield was provided by plowing at 20–22 cm + loosening by 12–14 cm.

A higher level of profitability (60,2%) and energy equivalent (2,32) was provided by plowing at 20–22 cm + loosening at 12–14 cm below the level of plowing.

Key words: drained land, tillage, corn, humidity, volumetric mass.

Ярослава Ярославівна Павлишак,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0003-3402-6922, e-mail: pavlyshak2210@ukr.net

СТАН ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОПУЛЯЦІЙ РІДКІСНИХ І ЗНИКАЮЧИХ ВИДІВ РОСЛИН У ФЛОРИ ЛЬВІВЩИНИ

Анотація. Унаслідок деградації природних осередків рослинності швидкими темпами вимирають популяції раритетних видів рослин. Багатьом рослинам загрожує зникнення саме через порушення умов місцезростань, спричинених розорюванням земель, вирубуванням лісів. Такі процеси, як урбанізація та рекреаційне навантаження, неконтрольований туризм, спричиняють зменшення чисельності та ставлять під загрозу зникнення багатьох видів рослин, насамперед із лікарськими та декоративними властивостями. У зв'язку із цим особливого державного, наукового та практичного значення набуває охорона всього рослинного світу, особливо рідкісних і таких, що зникають, видів. Одним з основних завдань дослідження є виявлення таких, що зникають, видів рослин, які охороняються на державному та регіональному рівнях, постійний їх моніторинг, розроблення рекомендацій із метою збереження та відтворення фіторозмаїття.

У статті представлено результати дослідження рідкісних і таких, що зникають, видів рослин Дрогобицького району (с. Рівне). Визначено систематичний склад, встановлено рясність, визначено екологоценотичну структуру. З'ясовано, що флора району налічує 30 видів рідкісних і таких, що зникають, видів, які належать до 29 родів, 21 родини та 2 відділів. Відділ *Magnoliophyta* налічує 29 видів (96,6%), із яких на *Liliopsida* припадає 40,0%, *Magnoliopsida* – 56,6%. Відділ *Lycopodiophyta*, моногіпний, містить лише 1 вид (3,4%).

Найчисельнішими є родини *Orchidaceae*, *Ranunculaceae*, які налічують по 4 види, що становить 13,3%. Родини *Rosaceae*, *Amaryllidaceae* та *Iridaceae* налічують по 2 види (6,6%). Виявлено, що серед рослин домінує неморальний флороценотип 43,4% (13 видів), лучний флороценотип становить 40,0% (12 видів). Незначну частину становить гігрофільний спектр флори, що налічує 5 (16,6%) видів. За життєвими формами найчисленнішими є криптофіти (53,3%), друге місце посідають гемікриптофіти (33,3%).

Ключові слова: Червона книга, рідкісні рослини, флора, рясність, таксономічне різноманіття, категорія.

ВСТУП

Негативний вплив людського суспільства на природу призвів до того, що рослинний світ постійно та досить швидко змінюється. Помітно зменшились території, які зайняті природною рослинністю, збідніла флора більшості регіонів країни, рідкісні види зникають, типові стають рідкісними. Усе це може призвести до катастрофічних наслідків [2; 5]. Із складу флори України, яка налічує понад 4 500 видів вищих судинних рослин, зникло 9 ендемічних видів. Під загрозою зникнення перебуває 26 видів флори України [11].

Натепер залишається все менше природних районів, які ще не включені у сферу діяльності людини. Такі негативні тенденції призводять до збіднення флори та рослинності, поширення видів, які є стійкими до антропогенного навантаження [7].

Особливо протягом останніх років інтенсивне використання природних ресурсів дуже послабило здатність біологічного розмаїття до самовідновлення. Тривале й інтенсивне ведення сільського, лісового та мисливського господарства, негативні процеси втрати розмаїття вразили й Карпатський регіон, а це порушило стабільність регіону та загрожує збереженню біорозмаїття – насамперед рідкісних і таких, що зникають, видів. Виявлення та збереження таких, що зникають, видів флори посідає важливе місце в комплексі заходів щодо раціонального використання й охорони рослинного світу.

Мета дослідження – виявити особливості поширення рідкісних і таких, що зникають, видів рослин у місцезростаннях на Дрогобиччині, зробити їх аналіз за систематичною та біоморфологічною структурами.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Польові дослідження проводилися протягом 2019–2020 рр. за загальноприйнятою методикою флористичних досліджень. Дослідження проводили детально-маршрутним методом і методом тимчасових пробних ділянок. Для встановлення рідкісності видів використовували такі критерії, як: кількість, структура та причини зміни чисельності популяцій. Серед рідкісних видів за созологічним значенням виділяли такі категорії: регіонально рідкісні види (охороняються у Львівській області) [1], види занесені до Червоної книги України [11].

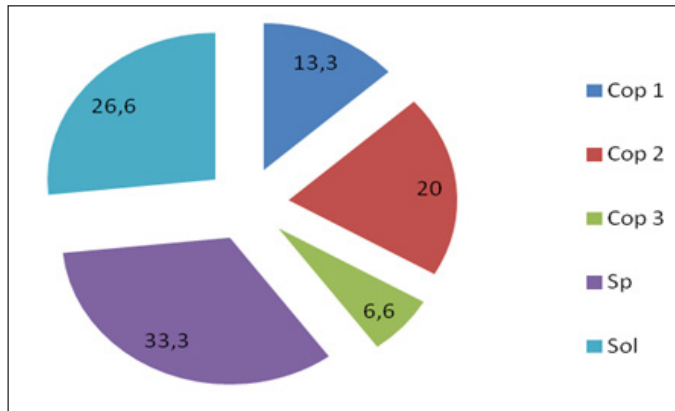
РЕЗУЛЬТАТИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що флора Дрогобицького району (с. Рівне) налічує 30 видів рідкісних і таких, що зникають, видів, які належать до 29 родів, 21 родини, 2 відділів. Основу флори рослин становлять представники *Magnoliophyta* – 95,2%. Належать вони до 2 класів – *Liliopsida* і *Magnoliopsida*, у яких відповідно об'єднано 20 родин і 29 видів. Один вид (3,4%) належить до *Lycopodiophyta*. Систематичний аналіз видів подано в таблиці 1.

Таблиця 1. Систематичний аналіз рослин

Відділ, клас	Родина		Вид	
	абс. к-сть.	%	абс. к-сть.	%
<i>Lycopodiophyta</i>	1	4,8	1	3,4
<i>Magnoliophyta</i> :	20	95,2	29	96,6
зокрема <i>Magnoliopsida</i>	13	61,9	17	56,6
<i>Liliopsida</i>	7	33,3	12	40,0

Часто трапляються (*Cop1*) за шкалою Друде [4] 13,3% видів (*Scilla bifolia* L., *Phlomis tuberosa* L., *Phlomis tuberosa* L.); рясно (*Cop2*) ростуть 20,0% рослин (*Draba nemorosa* L., *Pulmonaria angustifolia* L., *Anemone nemorosa* L.); дуже рясно (*Cop3*) – 6,7% (*Primula veris* L., *Galium rotundifolium* L.), розсіяно (Sp) – 33,3% видів (*Corydalis cava* L., *Huperzia selago* L., *Orchis militaris* L., *Iris hungarica* Woldst), поодинокі (Sol) – 26,7% видів (*Allium ursinum* L., *Plantanthera bifolia* L., *Atropa belladonna* L.). У діаграмі 1 представлено % співвідношення рясності видів за шкалою О. Друде.



**Діаграма 1. Рясність рослин
Дрогобицького району**

Аналіз систематичної структури показав, що найчисленнішими в кількісному співвідношенні видів є такі родини: *Orchidaceae*, *Ranunculaceae* – налічують по 4 види, що становить 13,3%; по 2 (6,6%) види – родини *Rosaceae*, *Amaryllidaceae* й *Iridaceae*. Шістнадцять родин налічують по одному виду (3,3%).

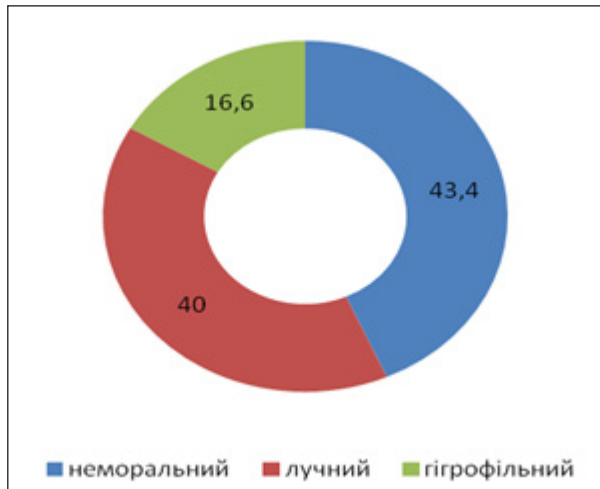
Родина *Rosaceae* представлена *Alchemilla monticola* Opiz., *Sorbus torminalis* Crant; *Amaryllidaceae* – *Galantus nivalis* L., *Leucojum vernum* L.; *Fabaceae* – *Calega officinalis* L.; *Tiliaceae* – *Tilia platyphyllos* Scop.; *Asteraceae* – *Senecio paludosus* L.; *Lamiaceae* – *Phlomis tuberosa*; *Rubiaceae* – *Galium rotundifolium* L.; *Primulaceae* – *Primula veris* L.; *Ranunculaceae* – *Anemone nemorosa* L., *Anemonana narcissiflora* L., *Trollius europaeus* L., *Hepatica nobilis* L.; *Convallariaceae* – *Polygonatum latifolium* L.; *Iridaceae* – *Iris sibirica* L.; *Iris hungarica* Woldst; *Violaceae* *Violla epipsila* Leded.; *Orchidaceae* *Gymnadenla conopsea* L., *Plantanthera bifolia* L., *Dactylorhiza majalis* L., *Orchis millitaris* L.; *Huperziaceae* – *Huperzia selago* L.; *Solanaceae* *Atropa belladonna* L.; *Hyacinthaceae* – *Scilla bifolia* L.; *Melanthiaceae* – *Varatrum nigrum* L.; *Brassicaceae* – *Draba nemorosa* L.; *Boraginaceae* – *Pulmonaria angustifolia* L.; *Alliaceae* – *Allium ursinum* L.; *Fumariaceae* – *Corydalis cava* L.

Щодо кількості родів, то 17 родин налічують лише по одному роду (*Fumariaceae*, *Alliaceae*, *Boraginaceae*, *Brassicaceae* та ін.). Родини *Amaryllidaceae* та *Rosaceae* – по 2 роди; *Ranunculaceae* й *Orchidaceae* налічують по 4 роди.

Аналіз видів за екотопологічними групами виявив, що найбільша кількість видів рослин зростають у межах лучних і лісових фітоценозів.

Згідно з отриманими результатами провідне місце належить неморальному флороцено типу, який становить 43,4% (13 видів). Це: *Corydalis cava* L., *Allium ursinum* L., *Plantanthera bifolia* L., *Polygonatum latifolium* L. Лучний флороцено тип становить 40,0% (*Draba nemorosa* L., *Primula veris* L., *Violla epipsila* Leded, *Senecio paludosus* L.) тощо. Гігрофільний спектр представлений незначною частиною (16,6%) (*Orchis millitaris* L., *Dactylorhiza majalis* L., *Iris sibirica* L.) (діаграма 2).

Аналізом життєвих форм видів за характером біоморф (за К. Раункієром) встановлено переважання криптофітів, до яких віднесено 16 (53,3%) видів (*Varatrum nigrum* L., *Allium ursinum* L., *Plantanthera bifolia* L. тощо). Другою за численністю у флорі є група гемікриптофітів – 10 (33,3%) видів (*Huperzia selago* L., *Violla epipsila* Leded, *Senecio paludosus* L. тощо). Фанерофіти та терофіти налічують по 6,6% (діаграма 3).



Діаграма 2. Співвідношення флороцено типів



Діаграма 3. Життєві форми за К. Раункієром

Созологічний аналіз показав наявність у складі флори району 30 видів, які мають різний охоронний статус. За класифікацією ЧКУ наведено 4 категорії: 2 види мають статус таких, що зникають, 4 – вразливі, 7 – рідкісні, 2 – неоцінені.

До переліку видів рослин, що підлягають особливій охороні на території Львівської області (офіційний перелік регіонально рідкісних рослин Львівської обл., 2003 р.) внесені 15 видів. Природоохоронний статус неоцінених мають 4 види, рідкісних – 6, вразливих – 4, таких, що зникають, – 1, зниклих – 1.

Регіонально рідкісні види на території представлені: *Pulmonaria angustifolia* L., *Corydalis cava* L., *Draba nemorosa* L., *Varatrum nigrum* L., *Iris hungarica* Woldst тощо.

Більшість видів характеризуються цінними властивостями: лікарськими (40,0%), декоративними (36,6%), медоносними (13,3%) та харчовими (10,0%).

ВИСНОВКИ

На основі здійсненого аналізу наявних загроз для рідкісних і таких, що зникають, видів флори визначено антропогенні чинники. Для декоративних видів небезпекою є виривання їх із цибулинами, пересаджування на присадибні ділянки та збирання квітів на букети тощо. Отримані результати мають значення для моніторингу стану популяцій, проведення заходів з їх охорони, а також для використання в навчально-виховній роботі в закладах загальної середньої освіти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андриєнко Т.Л., Перегрим М.М. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України. Київ : Альтерпрес. 2012. 148 с.
2. Голубець М.А. Біотична різноманітність і наукові підходи до її збереження. Львів : Ліга-Прес, 2003. 33 с.
3. Гапоненко М.Б., Комендар В.І. Карпатські сторінки Червоної книги України. Київ : Фітосоціоцентр, 2002. 280 с.
4. Друдє О. Екологія рослин. Київ : Фіона-К, 2003. 208 с.
5. Малиновський К.А., Царик Й.В. Проблема вивчення і охорони популяцій рідкісних видів флори Українських Карпат. *Український ботанічний журнал*. 1991. № 3. С. 13–21.
6. Попович С.Ю. Синфітосозологія лісів України. Київ : Академперіодика, 2002. 228 с.
7. Стойко С.М. Созологічна категоризація та екологічні засади збереження рідкісних і зникаючих видів рослин. *Український ботанічний журнал*. 1992. № 1. С. 50–56.
8. Раритетний фітогенофонд західних регіонів України / С.М. Стойко та ін. Львів : Ліга-Прес, 2004. 232 с.
9. Раритетні фітоценози західних регіонів України (Регіональна «Зелена книга») / С.М. Стойко та ін. Львів : Поллі, 1998. 190 с.
10. Рідкісні та зникаючі рослини Львівщини / Л.О. Тасєнкевич та ін. ; М-во еколо. та природ. ресурсів України ; Держ. упр. охорони навколиш. природ. середовища у Львів. обл. Львів : Бона, 2011. 124 с.
11. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.

REFERENCES

1. Andriienko T.L., Perehrym M.M. (2012). *Ofitsiini pereliky rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy [Official lists of regionally rare plants of administrative territories of Ukraine]*. Kyiv : Alterpress. 68–75 [in Ukrainian].
2. Holubets M.A. (2003). *Biotychna riznomanitnist i naukovi pidkhody do yii zberezhenia [Biodiversity and scientific approaches to its conservation]*. Lviv : Liga-Press. 33 p. [in Ukrainian].
3. Haponenko M.B., Commander V.I. (2002). *Karpatski storinky Chervonoii knyhy Ukrainy [Carpathian pages of the Red Book of Ukraine]*. Kyiv : Phytosociocenter. 280 p. [in Ukrainian].

4. Drude O. (2003). *Ekolohiia roslyn [Plant ecology]*. Kyiv : Fiona-K. 45–51 [in Ukrainian].
5. Malynovskyi K.A., Tsaryk Y.V. (1991). Problema vyvchennia i okhorony populiatsii ridkisnykh vydiv flory Ukrainskykh Karpat [The problem of studying and protecting populations of rare species of flora of the Ukrainian Carpathians]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal – Ukr. Botan. Journal*. 3. 13–21 [in Ukrainian].
6. Popovych S.Yu. (2002). *Synfitosozolohiya lisiv Ukrainy [Synphytosozology of forests of Ukraine]*. Kyiv : Akadempriodyka. 228 p. [in Ukrainian].
7. Stoiko S.M. (1992). Sozologichna katehoryzatsiia ta ekolohichni zasady zberezhenia ridkisnykh i znykaiuchykh vydiv Roslyn [Sozological categorization and ecological principles of rare and endangered plant species conservation]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal – Ukr. Botan. Journ.* 1. 50–56 [in Ukrainian].
8. Stoiko S.M., Yashchenko P.T., Kahalo O.O. (2004). Rarytetnyy fitogenofond zakhidnykh regioniv Ukraine. Lviv : Liha-Pres. 232 p. [in Ukrainian].
9. Stoiko S.M., Milkina L.I., Yashchenko P.T. (1998). Rarytetnyy fitogenofond zakhidnykh regioniv Ukraine (Rehionalna “Zelena knyha”). Lviv : Polli. 190 p. [in Ukrainian].
10. Tasankevych L., Kalinovych N., Soroka M., Borsukevych L., Danyiuk K. (2011). Ridkisini ta znykaiuchi roslyny Lvivshchyny [Rare and endangered plants of the Lviv region]. M. of ecology and nature Resources of Ukraine, State Dept. of Environmental protection in Lviv. reg. Lviv : Bona. 18–99 [in Ukrainian].
11. Chervona knyha Ukrainy [Red Book of Ukraine]. Flora (2009) / ed. Ya.P. Didukh. Kyiv : Global consulting, 900 p. [in Ukrainian].

ABSTRACT

CONSERVATION STATE OF POPULATIONS OF RARE AND ENDANGERED PLANT SPECIES IN THE FLORA OF LVIV OBLAST

Degradation of natural habitats causes rapid extinction of rare plant populations. Many plants are threatened with extinction precisely because of the violation of habitat condition caused by land plowing and deforestation. Such processes as urbanization and recreational load, uncontrolled tourism cause a decrease in the number and threaten the disappearance of many species of plants, primarily with decorative and medicinal properties. In this regard, the protection of the entire plant world, especially rare and endangered species, acquires a special state, scientific and practical importance.

One of the main tasks of research is the identification of endangered plant species that are protected at the state and regional levels, their constant monitoring and the development of recommendations for the purpose of preserving and reproducing phytodiversity.

The article presents the results of the study of rare and endangered species of Drohobysky district (Rivne village). The systematic composition was determined, and the ecological and coenotic structure was determined. It has been established that the flora of the district includes 30 species of rare and endangered species belonging to 29 genera, 21 families, and 2 divisions. Division of *Magnoliophyta* counts 29 species (96,6%), of which *Liliopsida* accounted for 40,0%, the *Magnoliopsida* – 56,6%. Division *Lycopodiophyta*, monotypic, contains only 1 species (3,4%).

The families Orchidaceae and Ranunculaceae are the most numerous, with 4 species each, which is 13,3%. The *Rosaceae*, *Amaryllidaceae* and *Iridaceae* families have 2 species (6,6%). It was found that among the plants, the immoral florocenotype dominates 43,4% (13 species), the meadow florocenotype is 40,0% (12 species). An insignificant part is the hygrophilic spectrum of flora, which includes 5 (16,6%) species. In terms of life forms, the most numerous are cryptophytes (53,3%), the second most numerous are hemicryptophytes (33,3%).

Key words: Red Book of Ukraine, rare plants, abundance, flora, taxonomic diversity.

Василь Іванович Стахів,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-8393-1120, e-mail: vasylstakhiv@ukr.net

Сузанна Василівна Волошин,

кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0003-0443-1679, e-mail: suzannavoloshun@ukr.net

Лілія Григорівна Стахів,

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри педагогіки та методики початкової освіти
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0001-8939-3928, e-mail: liliastahiv@ukr.net

ВИДОВИЙ СКЛАД І ЧИСЕЛЬНІСТЬ ЗИМУЮЧИХ ПТАХІВ ПРИМІСЬКОГО ПАРКУ МІСТА СТЕБНИКА

Анотація. Міста – штучно створені екосистеми, які постійно розвиваються у просторі та часі, поєднують у собі елементи різних типів ландшафтів, підсилюючи на своїй території концентрацію та розмаїття видів. Характерними елементами урбанізованих ландшафтів є фрагменти суцільних дерново-кущових насаджень – міські сквери, парки, лісопарки. Вони значним чином підвищують різноманітність екологічних умов і створюють сприятливі можливості для перебування (гніздування) тих видів птахів, життєдіяльність яких практично неможлива без дерново-кущової рослинності.

Міське середовище проживання є еволюційно новим для тварин, тому в останні десятиліття все більше уваги приділяється вивченню різних аспектів і закономірностей їхнього проживання в містах. Особливе місце в цих дослідженнях приділяють птахам, як одному з найбільш численних, помітних і мобільних компонентів екосистеми.

У статті подано результати видового складу та чисельності птахів приміського парку міста Стебника в зимовий період. Місто Стебник розташоване на межі двох географічних країн – Карпат і Передкарпатської височини.

За період дослідження було виявлено 38 видів зимуючих птахів. За вказаний період було зроблено 8 виходів у парк, протягом цього часу ми мали можливість підрахувати – число особин у ці дні, які ми спостерігали, у середньому становило 21 вид.

Систематичний список птахів приміського парку міста Стебника за результатами обліків показав, що 34 види належать до власне зимуючих, 8 – до пролітних, 20 – до гніздових, 5 – до залітних, 20 – до осілих, тобто є такими, що перебувають на досліджуваній території упродовж цілого року. На території парку під час зимових обліків був зафіксований червонокнижний вид – Сорокопуд сірий (*Lanius excubitor*).

Щодо таксономічного розподілу, виявлені види належать до 4 рядів, 15 родин.

Ключові слова: птахи, зимовий період, видовий склад, чисельність представників, таксономічний розподіл.

ВСТУП

Пошук шляхів оптимізації взаємодії суспільства із природним середовищем є одним із найважливіших завдань сьогодення. У зв'язку із цим актуальним напрямом є організація оперативного стеження за популяціями живих організмів. Насамперед

це стосується птахів – важливого компоненту наземних біоценозів. Проте мобільність орнітоелементів у просторі та часі дещо ускладнює проведення відповідних досліджень, особливо на суттєво змінених людиною територіях – у містах і міських конгломератах. Тому вивчення динаміки фауни та населення птахів протягом року в урбанізованих ландшафтах є актуальним і перспективним завданням наших днів [4; 6; 8].

Вивчення населення птахів саме урбанізованих ландшафтів є новим напрямом у вітчизняній орнітології. В Україні вивчення орнітофауни урбанізованих ландшафтів – молода галузь науки, якій донедавна не приділялось належної уваги.

Метою наших досліджень було визначення видового складу та чисельності зимуючих представників орнітофауни приміського парку міста Стебника.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Об'єктом нашого дослідження була орнітофауна зимуючих птахів приміського парку міста Стебника.

У виборі методики ми виходили з того, що натеper є три основні методи обліку птахів, для вивчення та встановлення кількісного та якісного складу орнітофауни у природних, окультурених і урбаністичних ландшафтах, а саме:

1. Метод картування території.
2. Метод лінійних трансектів.
3. Метод точкових обліків.

Деколи, залежно від поставленого завдання (наприклад, для уточнення фауністичних чи популяційних тенденцій), кожен із цих методів може бути доповнений або, навпаки, спрощений [7].

Оскільки перед нами стояло завдання якомога більш повно дослідити видовий склад, а також чисельність орнітофауни приміського парку міста Стебника, то для виконання даної роботи за основу було взято метод лінійних трансектів як найбільш придатний для цього завдання.

Метод лінійних трансектів дозволяє виявити на досліджуваній території всі присутні на час досліджень види птахів і з високою достовірністю облікувати їхню чисельність. Цей метод також дає можливість провести статистичну обробку отриманих даних, установити відносну щільність зустрічальності різних видів, а також скласти для кожного виду карту його поширення на досліджуваній території [9].

Завдяки візуальним і статистичним прийомам методу лінійних трансектів нам не довелося використовувати прийом картування, оскільки він придатний для територій будь-якого розміру у гніздовий період і лише для великих територій у зимовий період.

Щодо візуальних і статистичних прийомів методу лінійних трансектів, то, відповідно до міжнародного його стандарту, ми попередньо на плані місцевості чітко окреслили границі досліджуваної території та позначили обліковий маршрут. Маршрут для проходження заклали таким чином, щоб одноразовим виходом-обліком була перекрита вся площа території парку. Оскільки наша робота не передбачала картування отриманих результатів, то ми дещо змінили спосіб запису польових спостережень, без порушень методологічного принципу.

Оскільки метод лінійних трансектів передбачає картування отриманих даних на досліджуваній території (тобто складення для кожного виду птахів карти його поширення, часто з позначенням чисельності), то для цього перед проведенням польових робіт ми виготовили робочі карти-схеми, на яких має бути позначена трансекта, яка включає лінію облікового маршруту та симетрично від неї обабіч лінії,

які визначають основну смугу обліку. Можливе позначення на карті-схемі, далі від основної смуги обліку, ще двох ліній, які визначають додаткову смугу обліку. Тоді основна та додаткова смуги обліку разом становлять загальну смугу обліку. В основній і додатковій облікових смугах залишається місце для позначення всіх спостережень із використанням умовних символів і скорочених назв птахів. Із правого краю листка дається коротка характеристика біотопу.

Наші зміни у способі запису польових спостережень полягали в такому: маршрут було закладено так, щоб він проходив через територію парку зигзагом – таким чином, щоби границя загальної облікової смуги змикалася своїм одним краєм, створюючи покриття всієї площі парку.

Щодо загальних методичних підходів, треба ще зазначити таке: перед початком польових робіт ми склали графік проведення обліків на весь час досліджень таким чином, щоб рівномірно в часі охопити весь зимовий період. Це дало нам можливість максимально повно встановити видовий склад і чисельність птахів на досліджуваній території, а також простежити динаміку видового складу та чисельності птахів [3].

Під час руху за маршрутом ми реєстрували в польовому щоденнику кожен зустрінутий вид птаха, кількість особин кожного виду. Реєстрації підлягали як ті особини, які на час спостереження стало перебувати в парку (сиділи на деревах, на землі, перелітали в межах парку, жилилися тощо), так і ті, які в самому парку не перебували, а пролітали високо над ним (як мігранти або залітні із сусідніх територій). Щоб уникнути такого вкрай небажаного явища, як переоблік або недооблік птахів, ми вибирали оптимальну швидкість проходження маршрутом (приблизно 2 км/год) і максимально уважно стежили за переміщеннями як поодиноких особин, так і зграй птахів [2; 3; 10; 11]. Для візуальних обліків птахів використовували 8 x 30 бінокль БПЦ5.

РЕЗУЛЬТАТИ

Протягом зимового періоду виявлено 38 видів зимуючих птахів у приміському парку міста Стебника (рис. 1).

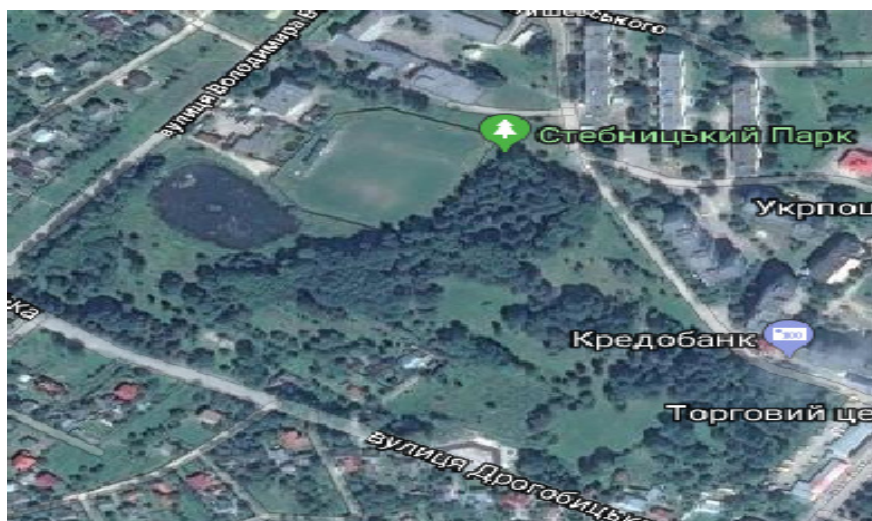


Рис. 1. Приміський парк міста Стебника

Систематичний список птахів приміського парку міста Стебника за результатами обліків зимового періоду показав, що 34 види належать до власне зимуючих, 8 – до пролітних, 20 – до гніздових, 5 – до залітних, 20 – до осілих, тобто є такими, що перебувають на досліджуваній території упродовж цілого року (табл. 1). На території парку під час зимових обліків був зафіксований червонокнижний вид – Сорокопуд сирій (*Lanius excubitor*) [12].

Щодо таксономічного розподілу, виявлені види належать до 4 рядів, 15 родин. Найбільш численний – ряд Горобцеподібні (*Paseriformes*), який охоплює 12 родин, що налічують 26 видів птахів, менш численними є Дятлоподібні (*Piciformes*), включає 1 родину, яка налічує 6 видів, а також ряди Соколоподібні (*Falconiformes*) і Голубоподібні (*Columbiformes*) – по 1 родині із 2 видами (табл. 2).

Таблиця 1. Систематичний список зимуючих птахів приміського парку міста Стебника

№	Назва виду	Статус виду				
		Зимуючий	Пролітний	Гніздовий	Залітний	Осілий
1.	Яструб малий (<i>Accipiter nisus</i>)				+	
2.	Канюк звичайний (<i>Buteo buteo</i>)	+				
3.	Голуб сизий (<i>Columba livia</i>)				+	
4.	Горлиця садова (<i>Streptopelia decaocto</i>)	+				+
5.	Жовна зелена (<i>Picus viridis</i>)	+				
6.	Жовна сива (<i>Picus canus</i>)	+				+
7.	Дятел звичайний (<i>Dendrocopos major</i>)	+		+		+
8.	Дятел сирійський (<i>Dendrocopos syriacus</i>)	+				
9.	Дятел білоспинний (<i>Dendrocopos leucotos</i>)	+				
10.	Дятел малий (<i>Dendrocopos minor</i>)	+				+
11.	Сорокопуд сирій (<i>Lanius excubitor</i>)				+	
12.	Сойка (<i>Garrulus glandarius</i>)	+				+
13.	Сорока (<i>Pica pica</i>)	+				+
14.	Галка (<i>Corvus monedula</i>)	+				
15.	Грак (<i>Corvus frugilegus</i>)	+				+
16.	Ворона сіра (<i>Corvus cornix</i>)	+				+
17.	Крук (<i>Corvus corax</i>)				+	
18.	Омелюх (<i>Bombycilla garrulus</i>)	+				
19.	Волове очко (<i>Troglodytes troglodytes</i>)	+				+
20.	Золотомушка жовточуба (<i>Regulus regulus</i>)	+	+			
21.	Чикотень (<i>Turdus pilaris</i>)	+	+	+		+

№	Назва виду	Статус виду				
		Зимуючий	Пролітний	Гніздовий	Залітний	Осілий
22.	Дрізд-омелях (<i>Turdus viscivorus</i>)	+	+			
23.	Синиця довгохвоста (<i>Aegithalos caudatus</i>)	+	+			
22.	Гаїчка-болотяна (<i>Parus palustris</i>)	+		+		+
23.	Гаїчка-пухляк (<i>Parus montanus</i>)	+	+			
24.	Синиця чорна (<i>Parus ater</i>)	+				+
25.	Синиця блакитна (<i>Parus caeruleus</i>)	+		+		+
26.	Синиця велика (<i>Parus major</i>)	+				+
27.	Повзик (<i>Sitta europaea</i>)	+				+
28.	Підкоришник звичайний (<i>Certhia familiaris</i>)	+		+		+
29.	Горобець хатній (<i>Passer domesticus</i>)	+		+		+
30.	Горобець польовий (<i>Passer montanus</i>)	+		+		+
31.	Чиж (<i>Spinus spinus</i>)	+				
32.	Щиглик (<i>Carduelis carduelis</i>)	+				+
33.	Шишкар ялиновий (<i>Loxia curvirostra</i>)	+				
34.	Снігур (<i>Pyrrhula pyrrhula</i>)	+	+			
35.	Костогриз (<i>Coccothraustes coccothraustes</i>)	+	+	+		
36.	Вівсянка звичайна (<i>Emberiza citrinella</i>)	+				
37	Кількість виявлених видів:	34	8	20	5	20

Таблиця 2. Таксономічний розподіл птахів приміського парку міста Стебника

Ряд	Родина	Вид
Соколоподібні <i>Falconiformes</i>	1. Яструбові <i>Accipitridae</i>	1. Яструб малий. 2. Канюк звичайний.
Голубоподібні <i>Columbiformes</i>	1. Голубові <i>Columbidae</i>	1. Голуб сизий. 2. Горлиця садова.
Дятлоподібні <i>Piciformes</i>	1. Дятлові <i>Picidae</i>	1. Жовна зелена. 2. Жовна сива. 3. Дятел звичайний. 4. Дятел сирійський. 5. Дятел білоспинний. 6. Дятел малий.

Ряд	Родина	Вид
Горбцеподібні <i>Passeriformes</i>	1. Сорокопудові <i>Lanidae</i>	1. Сорокопуд сірий.
	2. Воронові <i>Corvidae</i>	1. Сойка. 2. Сорока. 3. Галка. 4. Грак. 5. Ворона. 6. Крук.
	3. Омелюхові <i>Bombycillidae</i>	1. Омелюх.
	4. Воловоочкові <i>Troglodytidae</i>	1. Волове очко.
	5. Золотомушкові <i>Regulidae</i>	1. Золотомушка жовточуба.
	6. Мухоловкові <i>Muscicapidae</i>	1. Чикотень. 2. Дрізд-омелюх.
	7. Синицеві <i>Paridae</i>	1. Синиця довгохвоста. 2. Гаїчка-пухляк. 3. Синиця чорна. 4. Синиця блакитна. 5. Синиця велика.
	8. Повзикові <i>Sittidae</i>	1. Повзик.
	9. Підкоришникові <i>Certhidae</i>	1. Підкоришник звичайний.
	10. Горобцеві <i>Passeridae</i>	1. Горобець хатній. 2. Горобець польовий.
	11. В'юркові <i>Fringillidae</i>	1. Чиж. 2. Щиглик. 3. Снігур. 4. Костогриз.
	12. Вівсянкові <i>Emberizidae</i>	1. Вівсянка звичайна.

ВИСНОВКИ

За період дослідження нами було виявлено 38 видів зимуючих птахів. Нами було зроблено за вказаний період 8 виходів у парк, протягом цього часу ми мали можливість підрахувати, що число особин у ці дні, які ми спостерігали, в середньому становило 21 вид.

Систематичний список птахів приміського парку міста Стебника за результатами обліків показав, що 34 види належать до власне зимуючих, 8 – до пролітних, 20 – до гніздових, 5 – до залітних, 20 – до осілих, тобто є такими, що перебувають на досліджуваній території впродовж цілого року. На території парку під час зимових обліків був зафіксований червонокнижний вид – Сорокопуд сірий (*Lanius excubitor*). Щодо таксономічного розподілу, виявлені види належать до 4 рядів, 15 родин.

Результати дослідження показали, що фауна досліджуваної території є відносно багатогою, чому сприяють кілька чинників:

1. Вигідне географічне розташування. Місто Стебник розташоване на межі двох географічних країн – Карпат і Передкарпатської височини. Тому тут поширені як рівнинні, так і гірські види птахів. Основу фауни становлять рівнинні види. До гірських належать: чиж, снігур, дрізд-омелюх, шишкар ялиновий.

2. Окрім цього, місто Стебник – це типовий урбаністичний ландшафт, але серед нього є ділянка природного лісового ландшафту – приміський парк. Тому основу фауни становлять лісові види. Але варто відзначити, що її доповнюють представники урбаністичних ландшафтів: горобець хатній, голуб сизий, горлиця садова.

3. Окрему групу становлять залітні види із прилеглих навколо міста територій ландшафтів: дятел білоспинний, сорокопуд сірий, канюк звичайний, яструб малий.

4. Загальну фауністичну картину доповнюють ще види, які з'являються в регіоні лише взимку (омелюх), залітні взимку в парк із прилеглих ландшафтів (жовна зелена, дятел сирійський, чиж, снігур, вівсянка звичайна).

Отже, фауна курортного парку міста Стебника має ознаки рівнинні та гірські, лісові й урбаністичні, лучні та лісостепові.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бокотей А.А. Видовий склад і чисельність орнітофауни м. Львова. *Наукові записки Державного природознавчого музею Національної академії наук України*. 1994. Т. 11. С. 5–14.
2. Бокотей А.А. Огляд орнітофауни м. Львова. Беркут, 1995. Т. 4. № № 1–2. С. 3–13.
3. Горбань І.М. Оцінка чисельності зимуючих птахів України. *Обліки птахів: підходи, методики, результати* : збірник наукових статей Другої міжнародної науково-практичної конференції, 26–30 квітня 2004 р. Житомир, 2004. С. 93–99.
4. Екологічні аспекти охорони птахів. *Нарада орнітологів Західної України, присвячена пам'яті Володимира Дзедушицького (22.06.1825–18.09.1899 р.)* : матеріали. Львів, 1999. 121 с.
5. Ільїнський С.В. Загальна характеристика сучасної орнітофауни м. Хмельницького. *Наукові основи збереження біотичного різноманіття*. Львів, 2007. С. 96–99.
6. Матеріали II конференції молодих орнітологів України / укл. : В.М. Грищенко. Чернівці, 1996. С. 131–135; 161–165.
7. Обліки птахів: підходи, методики, результати. *Матеріали школи по уніфікації методів обліків птахів у заповідниках України, смт Івано-Франкове, 26–28 квітня 1995 р.* Львів ; Київ, 1997. 121 с.
8. Пріоритети орнітологічних досліджень. *VIII Наукова конференція орнітологів заходу України, присвяченої пам'яті Густава Бельке (24.07.1810 р. – 03.03.1873 р.), м. Кам'янець-Подільський, 10–13 квітня 2003 р.* : матеріали і тези доповідей / Захід. відділ. орнітол. товариства та ін. Львів ; Кам'янець-Подільський, 2003. С. 68–77; 187.
9. Проблеми вивчення та охорони птахів. *Нарада орнітологів Західної України б. 1–3. 11. 1995 р., м. Дрогобич*. Матеріали. Львів ; Чернівці, 1995. 156 с.
10. Фесенко Г.В., Бокотей А.А. Птахи фауни України : польовий визначник. Київ, 2002. 416 с.
11. Фесенко Г.В., Бокотей А.А. Анотований список українських назв птахів фауни України (з характеристикою статусу видів). Київ ; Львів, 2007. 111 с.
12. Червона книга України. Тваринний світ / за заг. ред. М.М. Щербака. Київ : Укр. енциклопедія, 1994. 464 с.

REFERENCES

1. Bokotei, A.A. (1994). Vydovyi sklad i chyselnist ornitofauny m. Lvova [Species composition and number of avifauna of Lviv]. *Naukovi zapysky DPM NAN Ukrainy – Scientific notes of the State Natural History Museum of the National Academy of Sciences of Ukraine*. T. 11. S. 5–14 [in Ukrainian].
2. Bokotei, A.A. (1995). *Ohliad ornitofauny m. Lvova [Overview of the avifauna of Lviv]*. Berkut. T. 4. № № 1–2. S. 3–13 [in Ukrainian].
3. Horban, I.M. (2004). Otsinka chyselnosti zymuiuchykh ptakhiv Ukrainy [Assessment of the number of wintering birds of Ukraine]. *Obliky ptakhiv: pidkhody, metodyky, rezultaty : zb. nauk. statei Druhoi mizh nar. nauk.-prakt. konf., 26–30 kvitnia 2004 r. Zhytomyr*, S. 93–99 [in Ukrainian].
4. Ekologichni aspekty okhorony ptakhiv [Ecological aspects of bird protection]. (1999). *Narada ornitologiv Zakhidnoi Ukrainy, prysviachenoj pamiaty Volodymyra Dzедushytskoho (22.06.1825–18.09.1899) : Materialy*. Lviv. 121 s. [in Ukrainian].
5. Ilinskyi, S.V. (2007). Zahalna kharakterystyka suchasnoi ornitofauny m. Khmelnytskoho [General characteristics of the modern avifauna of Khmelnytskyi]. *Naukovi osnovy zberezhennia biotychnoho riznomanittia – Scientific foundations of conservation of biotic diversity*. Lviv. S. 96–99 [in Ukrainian].
6. Materialy II konferentsii molodykh ornitologiv Ukrainy (1996). / ukl. : V.M. Hryshchenko [Materials of the II conference of young ornithologists of Ukraine / incl. : V.M. Hryshchenko]. Chernivtsi. S. 131–135; 161–165 [in Ukrainian].
7. Obliky ptakhiv: pidkhody, metodyky, rezultaty [Bird records: approaches, methods, results]. (1997). *Materialy shkoly po unifikatsii metodiv oblikiv ptakhiv u zapovidnykakh Ukrainy, smt Ivano-Frankove, 26–28 kvitnia 1995 r.* Lviv ; Kyiv. 121 s. [in Ukrainian].
8. Priorityety ornitologichnykh doslidzhen [Priorities of ornithological research]. (2003). *Materialy i tezy dopovidei VIII naukovoї konferentsii ornitologiv zakhodu Ukrainy, prysviachenoj pamiaty Hustava Belke (24.07.1810–03.03.1873), m. Kamianets–Podilskyi, 10–13 kvitnia 2003 r. / Zakhid. viddil. ornitol. tovarystva ta in.* Lviv ; Kamianets-Podilskyi. S. 68–77; 187 [in Ukrainian].
9. Problemy vyvchennia ta okhorony ptakhiv [Problems of studying and protecting birds]. (1995). *Narada ornitologiv Zakhidnoi Ukrainy* 6. 1–3. 11. 1995 ; Drohobych. Materialy. Lviv ; Chernivtsi. 156 s. [in Ukrainian].
10. Fesenko, H.V., Bokotei, A.A. (2002). *Ptakhiv fauny Ukrainy : polovyi vyznachnyk [Birds of the fauna of Ukraine: field guide]*. Kyiv. 416 s. [in Ukrainian].
11. Fesenko, H.V., Bokotei, A.A. (2007). Anotovanyi spysok ukrainskykh nazv ptakhiv fauny Ukrainy (z kharakterystykoiu statusu vydiv) [An annotated list of Ukrainian names of birds of the fauna of Ukraine (with characteristics of species status)]. Kyiv ; Lviv [in Ukrainian].
12. Chervona knyha Ukrainy. Tvarynny svit [Red Book of Ukraine. Animal world]. (1994). / za zah. red. M.M. Shcherbaka. Kyiv : Ukr. entsyklopediia. 464 s. [in Ukrainian].

ABSTRACT

SPECIES COMPOSITION AND NUMBER OF WINTERING BIRDS OF THE SUBURBAN PARK IN STEBNYK

Cities are artificially created ecosystems constantly evolving in space and time, combining elements of different types of landscapes, and enhancing the concentration and diversity of species on their territory. Typical elements of urbanized landscapes are fragments of solid sod-bush plantations – urban squares, parks, and forest parks. They significantly increase the diversity of

environmental conditions and create favorable opportunities for the stay (nesting) of those species of birds, which life is almost impossible without turf and bush vegetation.

Urban habitats are evolutionarily new to animals, and there has been increasing attention to studying the different aspects and patterns of their habitation in cities in recent decades. A special place in these studies is given to birds as one of the most numerous, prominent, and mobile components of the ecosystem.

The article presents the results of species composition and the number of birds in the suburban park in the city of Stebnyk in winter. The city of Stebnyk is located on the border of two geographical countries – the Carpathians and the Pre-Carpathian Highlands.

In the master's work, the student presents the results of the species composition and number of birds in the suburban park of the city of Stebnyk in the winter.

During the entire study period, 38 species of wintering birds were identified. During this period, 8 exits to the park were made, during which time the number of individuals in those days was calculated – an average of 21 species.

The systematic list of birds in the suburb of the city of Stebnyk, according to the records, showed that 34 species belong to the actual wintering, 8 to the flying, 20 to nesting, 5 to the vagrant, 20 to the settled, that is, to the studied areas throughout the whole year. On the territory of the park, during the winter records, a Red Book species was detected – Great grey shrike (*Lanius excubitor*).

Regarding the taxonomic distribution, the identified species belong to 4 rows, 15 families.

Key words: birds, winter period, species composition, number of representatives, taxonomic distribution.

Ярослав Васильович Лесик,

доктор ветеринарних наук, професор кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-7845-7006, e-mail: lesykyv@gmail.com

Василина Михайлівна Токар,

студентка
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
e-mail: vasulunatokar17@gmail.com

ВПЛИВ НАНОЦИНКУ НА МОРФОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ КРОВІ КРОЛІВ

Анотація. На функціонування організму ссавців впливає низка чинників, але найважливішим є збалансоване живлення за всіма складниками поживності, особливо біодоступних мінеральних речовин. У науковій літературі багато інформації щодо проведення досліджень із використанням наномінералів, показано їхній неоднозначний вплив на організм ссавців. Тому метою наших досліджень було з'ясування впливу вживання різних доз цинку цитрату на морфологічні показники крові кролів після відлучення. Дослідження проводили у віварії на кролях термонської породи. Досліджували вплив різних кількостей наносполуки цинку – цинку цитрату, сполуки нанотехнологічного походження (1,3 г/дм³, рН = 1,30, розмір наночастинок – 20–60 нм), виготовленої ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології» (м. Київ). Кролі контрольної групи споживали гранульований комбікорм, збалансований за встановленими показниками поживності. Кролята дослідних груп Д-I; Д-II та Д-III, окрім основного раціону, додатково з водою упродовж доби отримували сполуку цинку цитрату в кількості 0,30; 0,60 і 0,90 мг Zn/кг маси тіла відповідно. На 5 добу підготовчого періоду та 14, 28 і 42 доби проводили дослідження крові. Встановлено, що застосування цинку цитрату з розрахунку 0,30 мг Zn/кг маси тіла позначилося незначними змінами клітин крові з вірогідним підвищенням кількості тромбоцитів ($P < 0,05$) на 14 добу дослідження. Вживання цинку цитрату в кількості 0,60 мг Zn/кг маси тіла відзначилося більшими змінами з підвищенням концентрації гемоглобіну ($P < 0,05$), кількості моноцитів ($P < 0,01$) на 14 добу, кількості лейкоцитів ($P < 0,05$) на 14 і 28 доби й еритроцитів ($P < 0,05$) на 42 добу дослідження. Цинку цитрат у дозі 0,90 мг Zn/кг маси тіла відзначився найбільшими змінами крові з більшим рівнем еритроцитів ($P < 0,05$), гемоглобіну ($P < 0,05$) на 28 та 42, гематокриту ($P < 0,05-0,01$) на 14 і 28, середнього вмісту гемоглобіну в еритроциті ($P < 0,05$) на 28, середньої концентрації гемоглобіну в еритроциті ($P < 0,05$) упродовж дослідження та зменшення лімфоцитів на 42 добу дослідження стосовно контролю.

Ключові слова: кролі, цинку цитрат, нанотехнології, формені елементи крові.

ВСТУП

На фізіологію кролів впливає низка чинників, одним із яких є живлення та його збалансованість [1]. Важливість кормових добавок у тваринництві зростає за останні десятиліття [2]. Збільшення виробництва м'яса можна досягти за допомогою правильної годівлі, включення інгредієнтів корму на фізіологічних або необхідних рівнях [3]. Addass та інші (2012 р.) стверджували, що живлення впливає на показники крові тварин. Переробка корму може також впливати на гематологічні параметри ссавців [4]. Збалансоване

живлення впливає на профіль крові здорових тварин [5]. Ісаак та інші (2013 р.) заявили, що морфологічні компоненти крові, особливо еритроцити, лейкоцити, концентрація гемоглобіну та середня концентрація гемоглобіну в еритроциті, є цінними для моніторингу токсичності корму, а також впливають на здоров'я та гомеостаз організму [6].

Цинк необхідний у генетичному складі кожної клітини та є есенціальним для будь-якого біологічного відтворення [7]. Цинк є компонентом різних ензимів, які допомагають підтримувати структурну цілісність протеїну та регулюють експресію генів [8]. Цинк є невід'ємним компонентом приблизно 200 металоензимів, включаючи полімерази рибонуклеїнової кислоти, алкогольдегідрогеназу, карбоангідразу, карбоксипептидазу, глутаміндегідрогеназу, лактодегідрогеназу та лужну фосфатазу, а також гормони, як-от тимулін, тестостерон, пролактин і соматомедин [9]. Біологічна функція Цинку може бути каталітичною, структурною або регуляторною. Понад 85% загального вмісту Цинку в організмі міститься у скелетних м'язах і кістках. ДНК приблизно в 5 000 разів менш сприйнятлива до пошкодження іоном Zn^{2+} , ніж РНК, що свідчить про її роль у переважному еволюційному відборі, а не РНК, як носія первинної генетичної інформації, а також у клітинній диференціації, синтезі та стабільності ДНК [10]. Дефіцит Цинку досить поширений. Він необхідний для метаболізму тестостерону, росту сім'яників, біосинтезу сперматозоїдів, рухливості та їх кількості. Вітаміни В₆ і С можуть сприяти засвоєнню Цинку [11]. Цинк у плазмі є органічною сполукою, утворюючи комплекси. Концентрація цинку в сироватці та плазмі крові ссавців коливається від 80 до 150 мг/дл [12]. Цілісність клітинних мембран, включаючи цілісність еритроцитів і лейкоцитів, залежить від слабозв'язаного іонного цинку. Дефіцит Цинку гальмує ріст і викликає серйозні метаболічні порушення [13].

Нанобіотехнологія дає перспективи для зміни майбутнього технології кормів. Є можливість виготовити комбікорми та розробити спеціальні біосенсори із застосуванням інструментів нанотехнологій. Нанобіосенсори можуть контролювати безпечність кормів і здоров'я тварин [14]. Маючи потенційні можливості застосування, нанотехнологія все ще перебуває в зародковому стані в дослідженні повноцінного живлення. Відома низка публікацій про позитивну дію наночастинок в організмі ссавців [9; 11–13]. Дослідженнями встановлено, що позитивний ефект залежить від розміру наночастинок та їхньої кількості в раціоні. Тому, зважаючи на сказане вище, метою нашого дослідження було з'ясування впливу вживання різних доз цинку цитрату на морфологічні показники крові кролів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Експерименти проводилися в типовому віварії Інституту біології тварин НААН. Для проведення дослідження використовували молодняк кролів породи Термонська. Для експерименту відбирали тварин віком 41 день, формували у групи по чотири тварини з урахуванням віку, маси тіла та фізіологічного стану організму. Для проведення дослідження з вивчення впливу різних кількостей наносполуки цинку – цинку цитрату, сполуки нанотехнологічного походження (1,3 г/дм³, рН – 1,30, розмір наночастинок – 20–60 нм), виготовленої ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології» (м. Київ). Розрахунок застосованої кількості препарату проводили розрахунково, беручи до уваги масу тіла кролів – 1,0 кг, споживання води на добу – 200 мл. Кролі контрольної групи споживали гранульований комбікорм, збалансований за встановленими показниками поживності за рецептом стандартного комбікорму ПК-90 (далі – (ОР)). Кроленята першої дослідної групи (Д-І) споживали (ОР) і додатково з водою упродовж доби отримували сполуку

цинку цитрату в кількості 0,30 мг Zn/кг маси тіла. Кроленята другої дослідної групи (Д-II) споживали (ОР) і додатково з водою упродовж доби отримували сполуку цинку цитрату в кількості 0,60 мг Zn/кг маси тіла. Кроленята третьої дослідної групи (Д-III) споживали (ОР) і додатково з водою упродовж доби отримували сполуку цинку цитрату в кількості 0,90 мг Zn/кг маси тіла.

Дослід тривав 42 доби. Підготовчий період із 35 до 40 доби – 5 діб, дослідний період – 42 доби дослідження. На 5 добу підготовчого періоду та 14, 28 і 42 доби проводили гематологічні дослідження відібраної крові з вушної вени кролів, за методикою, описаною в довіднику [15]. Отримані цифрові дані обраховували за допомогою статистичної програми та використанням таблиці Стьюдента. До програми задавали первинні результати й отримували середні арифметичні величини (М) та похибки середніх арифметичних величин ($\pm m$). Різниці вважали вірогідними за $P < 0,05$. Для розрахунків використано комп'ютерну програму Excel.

Усі експериментальні втручання та забій тварин проводили з дотриманням вимог Європейської конвенції про захист хребетних тварин, яких використовують для експериментальних та наукових цілей (Страсбург, 1985 р.) та ухвали Першого національного конгресу з біоетики (Київ, 2001 р.).

РЕЗУЛЬТАТИ

Необхідно зазначити, що проведені дослідження морфологічних показників крові кролів у підготовчому періоді не виявили вірогідних змін їхньої кількості стосовно контролю (табл. 1). Використання сполуки цинку цитрату в різній кількості через 14 днів випоювання добавки не позначилося вірогідними змінами, хоча кількість була дещо вища порівняно з контролем. Іншу картину крові спостерігали після випоювання вказаних сполук на 28 добу дослідження. Так, у крові кролів III дослідної групи кількість еритроцитів була вищою на 18,5% ($P < 0,05$) стосовно контролю. На завершальному етапі дослідження кількість еритроцитів у крові кролів II і III дослідних груп була відповідно вищою на 16,9 і 18,8% ($P < 0,05$) за тенденції до вищого рівня в інших дослідних групах порівняно з контролем. Аналіз показників кількості еритроцитів у крові молодняка кролів свідчить про вплив більших кількостей цинку цитрату на активацію еритропоезу.

Таблиця 1. Кількість еритроцитів і концентрація гемоглобіну у крові кролів за випоювання цинку цитрату ($M \pm m$, $n = 4$)

Показник	Група тварин	Періоди дослідження			
		підготовчий	дослідний (доба дослідження)		
			14	28	42
Еритроцити, $10^{12}/л$	К	$5,4 \pm 0,43$	$5,2 \pm 0,16$	$5,4 \pm 0,28$	$5,3 \pm 0,18$
	Д-I	$5,6 \pm 0,12$	$4,8 \pm 0,29$	$5,5 \pm 0,21$	$5,2 \pm 0,26$
	Д-II	$4,9 \pm 0,10$	$5,2 \pm 0,22$	$5,6 \pm 0,18$	$6,2 \pm 0,22^*$
	Д-III	$5,1 \pm 0,90$	$5,1 \pm 0,33$	$6,4 \pm 0,33^*$	$6,3 \pm 0,47^*$
Гемоглобін, г/л	К	$107,1 \pm 2,03$	$105,7 \pm 5,49$	$101,7 \pm 5,21$	$103,5 \pm 5,39$
	Д-I	$102,0 \pm 3,02$	$94,5 \pm 5,31$	$101,0 \pm 4,26$	$108,0 \pm 2,01$
	Д-II	$100,0 \pm 4,12$	$108,5 \pm 3,59$	$110,5 \pm 1,55^*$	$106,3 \pm 4,81$
	Д-III	$103,1 \pm 4,54$	$98,0 \pm 4,92$	$109,7 \pm 4,23^*$	$113,2 \pm 5,54^*$

Примітка: у цій і наступних таблицях вірогідні різниці порівняно з контрольною групою: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Більше виражених змін отримано в результаті аналізу рівня гемоглобіну у крові кролів, який залежав від кількості та тривалості впоювання наносполуки. Найбільше вірогідних різниць відзначено на другому етапі застосування добавок. Так, концентрація гемоглобіну у крові кролів II та III дослідних груп була відповідно вищою на 8,6 і 7,8% ($P < 0,05$) на 28 добу дослідження порівняно з контролем. На останньому періоді дослідження відзначено більш виражені зміни стосовно контролю в результаті впоювання цинку цитрату. Так, вміст гемоглобіну був вищим у тварин III дослідної групи на 9,3% ($P < 0,05$) порівняно із тваринами у контролі.

Відсоток гематокритної величини перевищував контроль ($P < 0,05-0,01$) у тварин III дослідної групи на 14 і 28 доби дослідження (табл. 2).

Таблиця 2. Гематокритна величина у крові кролів за впоювання цинку цитрату ($M \pm m, n = 4$)

Показник	Група тварин	Періоди дослідження			
		підготовчий	дослідний (доба дослідження)		
			14	28	42
Гематокрит, л/л	К	0,4 ± 0,09	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,02
	Д-I	0,5 ± 0,03	0,5 ± 0,01	0,4 ± 0,01	0,5 ± 0,01
	Д-II	0,4 ± 0,18	0,5 ± 0,01	0,5 ± 0,01	0,4 ± 0,02
	Д-III	0,4 ± 0,06	0,6 ± 0,02*	0,5 ± 0,01**	0,5 ± 0,04

Зміни гематокритної величини у крові кролів упродовж дослідження були вираженими за введення більшої кількості цинку цитрату, що може свідчити про вплив застосованих добавок на гемопоетичну функцію їхнього організму. Кількість формених елементів у крові є важливим показником фізіологічного стану тварини, що свідчить про збалансоване живлення, зокрема й мінеральними речовинами, оскільки кров першою реагує на зміну надходження поживних речовин до організму.

Впоювання кролів після відлучення цинку цитрату впродовж дослідження відзначилося незначними змінами середнього об'єму еритроцитів, з більше вираженим різницями інших досліджуваних показників крові кролів (табл. 3).

Таблиця 3. Еритроцитарні індекси у крові кролів за впоювання цинку цитрату ($M \pm m, n = 4$)

Показник	Група тварин	Періоди дослідження			
		підготовчий	дослідний (доба дослідження)		
			14	28	42
Середній об'єм еритроцитів, фл	К	90,5 ± 0,76	87,07 ± 4,59	87,07 ± 4,60	90,55 ± 1,55
	Д-I	89,5 ± 0,14	89,23 ± 2,85	89,35 ± 2,20	88,55 ± 2,42
	Д-II	91,0 ± 0,10	91,60 ± 2,05	90,20 ± 2,29	90,95 ± 2,55
	Д-III	92,0 ± 0,13	84,35 ± 3,13	87,83 ± 3,91	87,88 ± 1,84
Середній вміст гемоглобіну в еритроциті, п/г	К	21,6 ± 0,27	19,8 ± 0,90	20,3 ± 1,09	21,3 ± 0,42
	Д-I	20,3 ± 0,30	19,5 ± 0,58	20,3 ± 0,55	20,8 ± 0,65
	Д-II	19,8 ± 0,60	21,1 ± 0,61	20,8 ± 0,58	21,1 ± 0,51
	Д-III	21,0 ± 0,11	19,2 ± 0,49	22,0 ± 0,54*	20,7 ± 0,17
Середня концентрація гемоглобіну в еритроциті, %	К	10,7 ± 0,24	11,1 ± 0,66	11,5 ± 0,80	10,3 ± 0,41
	Д-I	10,1 ± 0,56	11,2 ± 0,65	12,2 ± 0,99	11,8 ± 1,13
	Д-II	11,5 ± 0,45	10,4 ± 0,56	11,9 ± 0,43	10,7 ± 0,43
	Д-III	10,0 ± 0,34	13,0 ± 0,53*	14,3 ± 0,68*	13,5 ± 0,42*

Найбільше вірогідно виражених різниць ($P < 0,05$) стосовно контрольної групи спостерігали на 28 добу дослідження у тварин III дослідної групи. Отримані результати можуть вказувати на вплив більшої застосованої кількості та тривалості впоювання добавок, у нашому випадку 28 діб, на процеси еритропоезу та виконання газотранспортної функції у крові кролів. Відсоток середньої концентрації гемоглобіну в еритроциті відзначився найбільше вираженим вищими вірогідними ($P < 0,05$) змінами у тварин III дослідної групи впродовж дослідження порівняно з контролем. Необхідно зазначити різнобічні зміни досліджуваних показників індексу червоної крові кролів упродовж впоювання різної кількості органічних сполук цинку. Це може бути пов'язано з особливостями впливу наносполуки на організм кролів залежно від їхньої кількості.

Аналіз змін показників червоної крові кролів свідчить про стабільний фізіологічний і гемопоетичний статус їхнього організму завдяки аліментарному надходженню органічних мінеральних речовин цинку.

Кількість лейкоцитів у крові тварин II дослідної групи була нижчою на 24 і 32,6% ($P < 0,05$) на 14 і 28 доби дослідження порівняно з контрольною групою (табл. 4).

Таблиця 4. Кількість лейкоцитів у крові кролів за впоювання різних кількостей цинку цитрату ($M \pm m, n = 4$)

Показник	Група тварин	Періоди дослідження			
		підготовчий	дослідний (доба життя/доба дослідження)		
			54/14	68/28	82/42
Лейкоцити, $10^9/л$	К	$9,4 \pm 0,49$	$10,4 \pm 1,89$	$9,8 \pm 0,55$	$9,4 \pm 1,60$
	Д-I	$8,2 \pm 0,12$	$9,3 \pm 1,48$	$8,6 \pm 1,45$	$9,2 \pm 1,60$
	Д-II	$9,0 \pm 1,10$	$7,9 \pm 0,64^*$	$6,6 \pm 0,68^*$	$11,7 \pm 0,99$
	Д-III	$10,0 \pm 0,18$	$10,8 \pm 2,68$	$9,1 \pm 1,81$	$12,2 \pm 1,67$

Отримані результати кількості лейкоцитів можуть свідчити про вибіркочну дію застосованих кількостей мікроелемента на їх утворення. Загалом отримано позитивну тенденцію змін у результаті додаткового надходження досліджуваних цитратних сполук мікроелемента в організмі кролів.

Аналіз абсолютної кількості лімфоцитів за періодами дослідження відзначився збільшенням ($P < 0,05$) цього показника на завершні експерименту у III дослідній групі порівняно з контролем (табл. 5). В організмі тварин функція лімфоцитів пов'язана із процесами імуногенезу, моноцити та гранулоцити належать до активних фагоцитів крові. Кількість моноцитів у крові кролів зазнавала значних змін у результаті впоювання різних кількостей цинку цитрату – зменшення рівня ($P < 0,01$) в I і II дослідних групах, яким впоювали цинку цитрат відповідно з розрахунку 0,30 і 0,60 мг Zn/кг маси тіла, порівняно з контрольною групою тварин. Отримані результати дослідження кількості моноцитів можуть свідчити про виокремлену дію впродовж довшого періоду застосування добавок як окремих кількостей цинку. Це, можливо, залежить від особливості дії частинок мікроелементів, які володіють високою функціональною активністю в організмі.

Таблиця 5. Показники різних форм лейкоцитів у крові кролів за випоювання цинку цитрату ($M \pm m$, $n = 4$)

Показник	Група тварин	Періоди дослідження			
		підготовчий	дослідний (доба дослідження)		
			14	28	42
Лімфоцити, $10^9/\text{л}$	К	$2,6 \pm 0,91$	$3,1 \pm 0,29$	$2,8 \pm 0,38$	$2,5 \pm 0,30$
	Д-I	$3,1 \pm 0,21$	$2,8 \pm 0,40$	$2,9 \pm 0,58$	$2,4 \pm 0,19$
	Д-II	$2,8 \pm 0,40$	$2,7 \pm 0,18$	$2,0 \pm 0,26$	$2,1 \pm 0,33$
	Д-III	$3,0 \pm 0,24$	$3,1 \pm 0,39$	$2,4 \pm 0,40$	$4,2 \pm 0,62^*$
Моноцити, $10^9/\text{л}$	К	$1,2 \pm 0,52$	$2,6 \pm 0,87$	$2,0 \pm 0,14$	$1,3 \pm 0,17$
	Д-I	$1,6 \pm 0,12$	$1,4 \pm 0,29$	$1,1 \pm 0,17^{**}$	$1,2 \pm 0,11$
	Д-II	$1,8 \pm 0,33$	$1,0 \pm 0,09$	$1,0 \pm 0,13^{**}$	$1,3 \pm 0,25$
	Д-III	$1,4 \pm 0,87$	$1,6 \pm 0,36$	$1,6 \pm 0,35$	$1,5 \pm 0,31$
Гранулоцити, $10^9/\text{л}$	К	$4,4 \pm 0,46$	$3,4 \pm 0,61$	$5,0 \pm 0,73$	$4,8 \pm 0,77$
	Д-I	$5,1 \pm 0,88$	$5,1 \pm 0,84$	$4,4 \pm 0,77$	$5,6 \pm 1,00$
	Д-II	$3,4 \pm 0,75$	$4,2 \pm 0,43$	$3,3 \pm 0,32$	$8,4 \pm 1,56$
	Д-III	$4,7 \pm 0,30$	$3,9 \pm 0,33$	$5,7 \pm 0,61$	$6,6 \pm 1,39$

Вміст гранулоцитів у крові кролів показав тенденцію до збільшення їх кількості в більшості дослідних групах упродовж дослідження, хоча ці зміни порівняно з контролем були невіргодними. Отримані результати дослідження можуть свідчити про більше виражений позитивний дозозалежний вплив цинку цитрату на біосинтез клітин крові. Необхідно відзначити стимулювальний вплив органічних сполук цинку на кількість і співвідношення основних форм лейкоцитів. Під час проведення дослідження кількості лейкоцитів та їхніх форм спостерігали особливості зміни параметрів клітин крові залежно від кількості та тривалості випоювання цинку цитрату, що може свідчити про потребу введення його в раціон.

Випоювання цинку цитрату не виявило істотних змін кількості тромбоцитів. Однак виявлені вірогідні зміни та тенденції вмісту досліджуваних показників можуть свідчити про позитивний вплив застосованої сполуки на організм молодняка кролів (табл. 6). Дослідженнями кількості тромбоцитів у крові тварин I дослідної групи відзначено підвищення їх кількості на 27% ($P < 0,05$) на 14 добу випоювання добавок порівняно з контролем.

Таблиця 6. Кількість тромбоцитів у крові кролів за випоювання цинку цитрату ($M \pm m$, $n = 4$)

Показник	Група тварин	Періоди дослідження			
		підготовчий	дослідний (доба дослідження)		
			14	28	42
Тромбоцити, $10^9/\text{л}$	К	$527,5 \pm 37,57$	$610,0 \pm 30,02$	$576,7 \pm 61,20$	$534,5 \pm 10,84$
	Д-I	$588,3 \pm 12,89$	$775,0 \pm 51,09^*$	$564,8 \pm 80,63$	$514,3 \pm 34,26$
	Д-II	$590,5 \pm 42,11$	$654,8 \pm 118,40$	$615,0 \pm 149,16$	$678,7 \pm 207,12$
	Д-III	$590,0 \pm 60,23$	$577,8 \pm 134,10$	$656,5 \pm 100,25$	$588,0 \pm 32,65$

Випоювання різних кількостей цинку цитрату позначилося змінами на рівні тенденції, за винятком тромбоцитів, між контрольною та дослідними групами (табл. 7). Тромбоцит – це співвідношення об'єму тромбоцитів до загального об'єму крові, його

зміни відзначено на першому етапі дослідження. Зокрема, відсоток тромбокрит у крові кролів III дослідної групи був нижчим на 7,63% ($P < 0,05$) на 14 добу дослідження стосовно контролю. Упродовж інших етапів дослідження не відзначено вірогідних різниць між дослідною та контрольною групами тварин. Отримані результати експерименту можуть свідчити про відсутність негативного впливу на організм кролів за впоювання цинку цитрату в досліджуваних кількостях.

Таблиця 7. Тромбоцитарні індекси у крові кролів за впоювання цинку цитрату ($M \pm m$, $n = 4$)

Показник	Група тварин	Періоди дослідження			
		підготовчий	дослідний (доба дослідження)		
			14	28	42
Середній об'єм тромбоцита, фл	К	4,98 ± 0,06	5,47 ± 0,30	5,63 ± 0,15	5,20 ± 0,13
	Д-I	5,23 ± 0,10	5,32 ± 0,12	5,28 ± 0,21	5,10 ± 0,08
	Д-II	4,23 ± 0,45	4,72 ± 0,26	5,12 ± 0,23	5,00 ± 0,15
	Д-III	4,12 ± 0,09	5,20 ± 0,21	5,08 ± 0,24	5,35 ± 0,17
Ширина розподілу тромбоцитів за об'ємом, %	К	0,29 ± 0,021	0,38 ± 0,001	0,33 ± 0,042	0,28 ± 0,004
	Д-I	0,30 ± 0,045	0,36 ± 0,052	0,32 ± 0,011	0,26 ± 0,014
	Д-II	0,31 ± 0,021	0,32 ± 0,059	0,36 ± 0,021	0,35 ± 0,106
	Д-III	0,33 ± 0,078	0,35 ± 0,054	0,30 ± 0,016	0,31 ± 0,028
Тромбокрит, %	К	13,49 ± 0,22	14,40 ± 0,06	14,21 ± 0,66	13,71 ± 0,56
	Д-I	14,76 ± 0,66	14,57 ± 0,95	13,63 ± 0,38	14,10 ± 0,70
	Д-II	13,45 ± 0,11	43,22 ± 0,15	13,78 ± 0,71	14,17 ± 0,33
	Д-III	14,55 ± 0,29	13,30 ± 0,39*	13,65 ± 0,48	15,08 ± 0,83

Отже, отримані результати впливу застосованої наносполуки цинку вказують на неоднозначний, але позитивний вплив, залежно від тривалості впоювання та кількості застосованої сполуки.

ВИСНОВКИ

1. Застосування цинку цитрату з розрахунку 0,30 мг Zn/кг маси тіла позначилося незначними змінами клітин крові з вірогідним підвищенням кількості тромбоцитів ($P < 0,05$) на 14 добу, тоді як його використання в кількості 0,60 мг Zn/кг маси тіла відзначилося несуттєвими змінами, однак із підвищенням концентрації гемоглобіну ($P < 0,05$), кількості моноцитів ($P < 0,01$) на 14 добу, кількості лейкоцитів ($P < 0,05$) на 14 і 28 доби й еритроцитів ($P < 0,05$) на 42 добу дослідження порівняно з контролем.

2. За додаткового введення цинку цитрату з розрахунку 0,90 мг Zn/кг маси тіла встановлено вищі рівні еритроцитів ($P < 0,05$), гемоглобіну ($P < 0,05$) на 28 і 42, гематокриту ($P < 0,05-0,01$) на 14 та 28, середнього вмісту гемоглобіну в еритроциті ($P < 0,05$) на 28, середньої концентрації гемоглобіну в еритроциті ($P < 0,05$) впродовж дослідження та зменшення лімфоцитів на 42 добу.

ЛІТЕРАТУРА

1. De Blas C., Wiseman J. Nutrition of the Rabbit. *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*. 2020. 3rd Edition. 368 p.

2. The effect of dietary protein levels on blood characteristics and carcass yields of Japanese quail (*Cortunix cortunix Japonica*) / M.R. Sharifi et al. *Italian Journal of Anim. Sci.* 2011. № 10. P. 20.
3. Use of zinc oxide nanoparticles in the growing rabbit diets to mitigate hot environmental conditions for sustainable production and improved meat quality / A.A.A. Abdel-Wareth et al. *Veterinary Research.* 2022. № 18. P. 354.
4. Effect of age, sex and management system on some haematological parameters of intensively and semi-intensively kept chicken in Mubi, Adamawa State, Nigeria / P.A. Addass et al. *Iranian Journal of Applied Animal Science.* 2012. № 2 (3). P. 277–282.
5. Effect of dietary boron supplementation on some biochemical parameters, peripheral blood lymphocytes, splenic plasma cells and bone characteristics of broiler chicks given diets with adequate or inadequate cholecalferol (Vitamin D) content / F. Kurtoglu et al. *Br. Poult. Sci.* 2005. № 46. P. 87–96.
6. Haematological properties of different breeds and sexes of rabbits. Proc. of the 18th Annual Conf. of Anim / L.J. Isaac et al. *Sci. Assoc. of Nig.* 2013. P. 24–27.
7. High Dietary Levels of Zinc for Young Rbbits / L. Chrastinova et al. *Slovak Journal of Animal Science.* 2015. № 48 (2). P. 57–63.
8. Effects of phytase supplementation to diets with or without zinc addition on growth performance and zinc utilization of white pekin ducks / Y.A. Attia et al. *Animals.* 2019. № 9 (5). P. 280.
9. Influence of zinc nanoaquacitrate on the immuno-physiological reactivity and productivity of the organism of rabbits / O.V. Boiko et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems.* 2020. № 11 (1). P. 133–138.
10. The effect of different dietary zinc sources on mineral deposition and antioxidant indices in rabbit tissues / K. Čobanová et al. *World Rabbit Science.* 2018. № 26 (3). P. 241–248.
11. Nano zinc oxide – an alternate zinc supplement for livestock / K. Geetha et al. *Veterinary World.* 2020. № 13 (1). P. 121–126.
12. Effect of Dietary Zinc-Oxide or Nano-Zinc Oxide on Growth Performance, Oxidative Stress, and Immunity of Growing Rabbits under Hot Climate Conditions / D.A. Kamel et al. *Journal of Animal and Poultry Production.* 2020. № 11 (12). P. 565–571.
13. Biosynthesis, Characterization, and Evaluation of the Cytotoxic Effects of Biologically Synthesized Silver Nanoparticles from *Cyperus conglomeratus* Root Extracts on Breast Cancer Cell Line MCF-7 / A.G. Al-Nuairi et al. *Biol. Trace Elem. Res.* 2020. № 194. P. 560–569.
14. Use of zinc oxide nanoparticles in the growing rabbit diets to mitigate hot environmental conditions for sustainable production and improved meat quality / A.A.A. Abdel-Wareth et al. *Veterinary Research.* 2022. № 18. P. 354.
15. Vlislo V.V. Laboratory methods of research in biology, animal husbandry and veterinary medicine. Lviv : Spolom, 2012. 764 p.

REFERENCES

1. De Blas C., Wiseman J. (2020). Nutrition of the Rabbit. 3rd Edition. *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.* 368 p.
2. Sharifi, M.R., Shams-Sharg, M., Dastar, B., Hassini, S. (2011). The effect of dietary protein levels on blood characteristics and carcass yields of Japanese quail (*Cortunix cortunix Japonica*). *Italian Journal of Anim. Sci.* Available at: 10.
3. Abdel-Wareth, A.A.A., Amer, S.A., Mobashar, M. (2022). Use of zinc oxide nanoparticles in the growing rabbit diets to mitigate hot environmental conditions for sustainable production and improved meat quality. *Veterinary Research.* № 18. P. 354.

4. Addass, P.A., David, D.I., Edward, A., Zira, K.E. and Midak, A. (2021). Effect of age, sex and management system on some haematological parameters of intensively and semi-intensively kept chicken in Mubi, Adamawa State, Nigeria. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 2 (3): 277–282.
5. Kurtoglu, F., Kurtoglu, V., Celik, I., Kececi, I. and Nizamlioglu, M. (2005). Effect of dietary boron supplementation on some biochemical parameters, peripheral blood lymphocytes, splenic plasma cells and bone characteristics of broiler chicks given diets with adequate or inadequate cholecalferol (Vitamin D) content. *Br. Poult. Sci.* 46: 87–96.
6. Isaac, L.J., Abah, G., Akpan, B. and Ekaette, I.U. (2013). Haematological properties of different breeds and sexes of rabbits. Proc. of the 18'th Annual Conf. of Anim. Sci. Assoc. of Nig. 24–27.
7. Chrastinova L., Cobanova K., Chrenkova M., Polacikova M., Formelova Z., Laukova A., Ondruska L., Poganysimonova M., Stropfova V., Bucko O., Mlynekova Z., Mlynar R., Gresacova L. (2015). High Dietary Levels of Zinc for Young Rbbits. *Slovak Journal of Animal Science*. 48: (2): 57–63.
8. Attia, Y.A., Addeo, N.F., Abd Al-Hamid, A.E., Bovera, F. (2019). Effects of phytase supplementation to diets with or without zinc addition on growth performance and zinc utilization of white pekin ducks. *Animals*. 9 (5). 280.
9. De Blas C., Wiseman J. Nutrition of the Rabbit. *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*. 2nd Edition. 2010. 325 p.
10. Boiko, O.V., Honchar, O.F., Lesyk, Y.V., Kovalchuk, I.I., Gutyj, B.V. (2020). Influence of zinc nanoaquacitrate on the immuno-physiological reactivity and productivity of the organism of rabbits. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 11 (1). 133–138.
11. Čobanová, K., Chrastinová, L., Chrenková, M., Polaciková, M., Formelová, Z., Ivanišínová, O., Ryzner, M. and Grešáková, Ľ. (2018). The effect of different dietary zinc sources on mineral deposition and antioxidant indices in rabbit tissues. *World Rabbit Science*. 26 (3). 241–248.
12. Geetha, K., Chellapandian, M., Arulnathan, N., Ramanathan, A. (2020). Nano zinc oxide — an alternate zinc supplement for livestock. *Veterinary World*. 13 (1). 121–126.
13. Kamel, D.A., Abdel-Khalek, A.E., Gabr, S.A. (2020). Effect of Dietary Zinc-Oxide or Nano-Zinc Oxide on Growth Performance, Oxidative Stress, and Immunity of Growing Rabbits under Hot Climate Conditions. *Journal of Animal and Poultry Production*. 11 (12). 565–571.
14. Al-Nuairi A.G., Mosa K.A., Mohammad M.G., El-Keblawy A., Soliman S., Alawadhi H. (2020). Biosynthesis, Characterization, and Evaluation of the Cytotoxic Effects of Biologically Synthesized Silver Nanoparticles from *Cyperus conglomeratus* Root Extracts on Breast Cancer Cell Line MCF-7. *Biol. Trace Elem. Res.* 194. 560–569.
15. Abdel-Wareth, A.A.A., Amer, S.A., Mobashar, M. (2022). Use of zinc oxide nanoparticles in the growing rabbit diets to mitigate hot environmental conditions for sustainable production and improved meat quality. *Veterinary Research*. 18. 354.
16. Vlislo, V.V. (2012). Laboratory methods of research in biology, animal husbandry and veterinary medicine. Lviv : Spolom. 764 p.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF NANOZINC ON THE MORPHOLOGICAL INDICATORS OF THE BLOOD OF RABBITS

The functioning of the mammalian body is influenced by a number of factors, but the most important is balanced nutrition in terms of all nutritional components, especially bioavailable

minerals. In the scientific literature, there is a lot of information about conducting research using nanominerals, and their ambiguous impact on the body of mammals is shown. Therefore, the aim of our research was to find out the effect of drinking different doses of zinc citrate on the morphological indicators of the blood of rabbits after weaning. Research was conducted in a vivarium on rabbits of the Termon breed. The influence of different amounts of the nanocompound zinc – zinc citrate, a compound of nanotechnological origin (1,3 g/dm³, pH – 1,30, nanoparticle size – 20–60 nm), manufactured by LLC “Nanomaterials and Nanotechnologies” in Kyiv, was studied. Rabbits of the control group consumed granulated compound feed, balanced according to established nutritional parameters. Rabbits of experimental groups D-I; D-II and D-III, in addition to the basic ration, additionally with water during the day received the zinc citrate compound in the amount of 0,30, respectively; 0,60 and 0,90 mg Zn/kg body weight. On the 5th day of the preparatory period and on the 14th, 28th and 42nd days, blood tests were performed. It was established that the use of zinc citrate at the rate of 0,30 mg Zn/kg of body weight was affected by minor changes in blood cells with a probable increase in the number of platelets ($P < 0,05$) on the 14th day of the study. Drinking zinc citrate in the amount of 0,60 mg Zn/kg of body weight was marked by greater changes with an increase in the concentration of hemoglobin ($P < 0,05$), the number of monocytes ($P < 0,01$) on the 14th day, the number of leukocytes ($P < 0,05$) on the 14th and 28th days and erythrocytes ($P < 0,05$) on the 42nd day of the study. Zinc citrate at a dose of 0,90 mg Zn/kg of body weight was marked by the greatest changes in blood with a higher level of erythrocytes ($P < 0,05$), hemoglobin ($P < 0,05$) at 28 and 42, hematocrit ($P < 0,05–0,01$) on days 14 and 28, the average hemoglobin content in erythrocytes ($P < 0,05$) on 28, the average concentration of hemoglobin in erythrocytes ($P < 0,05$) during the study and the decrease in lymphocytes on day 42 of the study compared to the control.

Key words: rabbits, zinc citrate, nanotechnology, formed blood elements.

Галина Володимирівна Кречківська,

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-8424-7232, e-mail: gkrechkivska@gmail.com

ДЕНДРОІНДИФІКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЙ В ОКОЛИЦІ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Анотація. Бурштинська теплоелектростанція має негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема на дерева та кущі, які фільтрують пил із токсичними речовинами. Останні осідають на поверхні листкових пластинок, спричиняють різні некрозні захворювання, що надалі веде до загибелі значної кількості рослин. І лише досить витривалі види рослин адаптуються до таких умов середовища та продовжують існувати.

Результати досліджень дають змогу запровадити стійкі деревні меліоранти навколишнього середовища, а також деревні індикатори його екологічного стану в разі заліснення прилеглих ділянок Бурштинської теплової електростанції, забруднених хімічними елементами.

З'ясовано, що в радіусі до 0,5 км² від Бурштинської теплової електростанції видове розмаїття чагарниково-деревних представлено лише 8-ма видами (*Populus nigra* L., *P. tremula* L., *Salix caprea* L., *S. alba* L., *Betula pendula* L., *Sambucus nigra* L., *Prunus spinosa* L., *Tilia cordata* Mill.). Деформації пагонів виявлено в 75% дерев і кущів, деформації листкових пластинок – у 100%. Види, що зростають на прилеглий території, відносять до дрібнолистяних деревних порід і характеризуються широкою амплітудою адаптивних і природних пристосувань.

На віддаленій території (від 0,5 до 1 км²) від Бурштинської теплової електростанції видове розмаїття чагарниково-деревної рослинності набагато різноманітніше та представлено 20-ма видами (*Acer campestre* L., *A. platanoides* L., *A. negundo* L., *A. platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *F. lanceolata* Borkh., *Populus nigra* L., *P. tremula*, *Salix caprea* L., *S. alba* L., *Betula pendula* L., *Carpinus betulus* L., *Sambucus nigra* L., *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L., *Fagus sylvatica* L., *Crataegus oxyacantha* L., *Prunus spinosa* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Gleditsia triacanthos* L.). Деформації пагонів виявлено у 35% дерев і кущів, деформації листкових пластинок – у 100%. Проте інтенсивність їх значно менша та слабше виражена. Тут зосереджені види як дрібно-, так і широколистяних порід, які характерні для даної місцевості.

Ключові слова: техногенні забруднення, токсична дія, дерева, кущі, деформації пагонів, деформації листкових пластинок, некрози листкових пластинок.

ВСТУП

Натепер світова спільнота приділяє все більше уваги вирішенню проблем, які може спричинити як сама природа, так і діяльність людини. Нераціональне природокористування, техногенні забруднення – серед найбільш гострих і нагальних проблем сучасності, які потребують участі всіх держав як на національному, так і на транснаціональному рівнях.

За даними 2019 р., місто Бурштин є одним із найбільш забруднених міст України [1].

Для Бурштинської теплової електростанції (далі – ТЕС) є актуальною проблема складування та переробки твердих відходів (шлаку та золи), що містять у своєму складі велику кількість важких металів [4]. Зола або вугільний пил, які не вловило

газоочисне обладнання, осідає у 30-кілометровому радіусі навколо станції [2], має загальнотоксичну дію на живі організми всіх таксономічних рангів.

Важкі метали є однією з найпоширеніших груп хімічних елементів, що засвоюють рослини, і однією із причин некротичного ураження органів [3].

У рослині метали блокують активність ферментів і стимулюють старіння клітин шляхом інтенсифікації вільнорадикальних процесів. Некротичні пошкодження є першою видимою реакцією рослин на несприятливі умови росту та служать діагностичним маркером в умовах навколишнього середовища [4].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Польові спостереження здійснювали впродовж двох вегетаційних періодів із 2020 по 2022 рр. Під час польових досліджень дендрофлори ми користувалися маршрутним методом. Таксономічний склад дендрофлори визначали за загальноприйнятими методами й уточнювали за визначниками.

РЕЗУЛЬТАТИ

Практична значущість результатів дає змогу запровадити стійкі деревні меліоранти навколишнього середовища, а також деревні індикатори його екологічного стану під час заліснення прилеглих до Бурштинської теплової електростанції ділянок, а також інших екосистем, забруднених хімічними елементами.

На видовий склад чагарниково-деревних рослин Бурштинської теплової електростанції насамперед має великий вплив загазованість повітря та техногенно змінений ґрунтовий покрив. У видів, які зростають у таких умовах, повинні сформуватися адаптивні особливості відповідно до техногенно навантаженого середовища або вони повинні мати природну «власну» широку амплітуду коливань пристосувань у будь-яких природних середовищах.

Видове розмаїття чагарниково-деревних рослин на території та прилеглий до Бурштинської теплової електростанції ділянці в радіусі до 0,5 км² та в радіусі від 0,5 до 2 км² дуже різняться за видовим складом і морфологічними особливостями. Результати наших досліджень наведені в таблицях 1, 2.

Таблиця 1. Видове розмаїття та морфологічні особливості чагарниково-деревних рослин Бурштинської ТЕС, що зростають на прилеглий ділянці в радіусі до 0,5 км²

№	Назва родини	Назва виду	Покрученість пагонів	Деформації листкових пластинок або некротичні утворення, %
1.	<i>Salicaceae</i>	<i>Populus nigra</i> L.	+	60
2.		<i>Populus tremula</i> L.	+	58
3.		<i>Salix caprea</i> L.	+	82
4.		<i>Salix alba</i> L.	+	67
5.	<i>Betylaceae</i>	<i>Betula pendula</i> L.	–	74
6.	<i>Adochaceae</i>	<i>Sambucus nigra</i> L.	+	86
7.	<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus spinosa</i> L.	+	53
8.	<i>Malvaceae</i>	<i>Tilia cordata</i> Mill.	–	69

На прилеглий до Бурштинської теплової електростанції території (у радіусі до 0,5 км²) видове розмаїття чагарниково-деревних представлено лише 8-ма видами. У більшості дерев (75%) спостерігається покрученість пагонів, усі дерева мають від 53% (у *Prunus spinosa* L.) до 86% (у *Sambucus nigra* L.) деформації листкових пластинок і значні некротичні утворення.

Види, що зростають на прилеглий території, відносять до дрібнолистяних деревних порід, характеризуються широкою амплітудою адаптивних і природних пристосувань.

Таблиця 2. Видове розмаїття та морфологічні особливості чагарниково-деревних рослин Бурштинської ТЕС, що зростають на віддаленій ділянці в радіусі від 0,5 до 1 км²

№	Назва родини	Назва виду	Покрученість пагонів	Деформації листкових пластинок або некротичні утворення, %
1.	Sapindaceae	<i>Acer campestre</i> L.		53
2.		<i>Acer platanoides</i> L.	+	62
3.		<i>Acer negundo</i> L.	+	48
4.		<i>Acer platanoides</i> L.		69
5.	Oleaceae	<i>Fraxinus excelsior</i> L.		62
6.		<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	+	82
7.	Salicaceae	<i>Populus nigra</i> L.	+	78
8.		<i>Populus tremula</i> L.		52
9.		<i>Salix caprea</i> L.		48
10.		<i>Salix alba</i> L.		64
11.	Betulaceae	<i>Betula pendula</i> L.		73
12.		<i>Carpinus betulus</i> L.	+	67
13.	Adochaceae	<i>Sambucus nigra</i> L.	+	56
14.	Malvaceae	<i>Tilia cordata</i> Mill.		45
15.	Fagaceae	<i>Quercus robur</i> L.		53
16.		<i>Fagus sylvatica</i> L.		51
17.	Rosaceae	<i>Crataegus oxyacantha</i> L.		48
18.		<i>Prunus spinosa</i> L.		42
19.	Fabaceae	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.		77
20.		<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	+	68

На віддаленій ділянці в радіусі від 0,5 до 1 км² від Бурштинської теплової електростанції видове розмаїття чагарниково-деревної рослинності набагато різноманітніше. Тут зосереджені види як дрібно-, так і широколистяних порід, які характерні для даної місцевості.

Також дерева різняться в межах виду за морфологічними ознаками. Лише у 35% дерев, що ростуть на віддаленій від Бурштинської теплової електростанції ділянці (у радіусі від 0,5 до 1 км²), покручені пагони, усі дерева мають від 42% (у *Prunus spinosa* L.) до 82% (у *Fraxinus lanceolata* Borkh.) деформації листкових пластинок і некротичні утворення.

ВИСНОВКИ

Вивчено, що в радіусі до 0,5 км² від Бурштинської теплової електростанції видове розмаїття чагарниково-деревних представлено лише 8-ма видами. Деформації пагонів виявлено в 75% дерев і кущів, деформації листкових пластинок – у 100%. Види, що зростають на прилеглий території, відносять до дрібнолистяних деревних порід і характеризуються широкою амплітудою адаптивних і природних пристосувань.

На віддаленій (від 0,5 до 1 км²) від Бурштинської теплової електростанції території видове розмаїття чагарниково-деревної рослинності набагато різноманітніше та представлено 20-ма видами. Деформації пагонів виявлено у 35% дерев і кущів, деформації листкових пластинок – у 100%. Проте інтенсивність їх значно менша та слабше виражена. Тут зосереджені види дрібно- та широколистяних порід, які характерні для даної місцевості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аналіз радіаційної обстановки в зоні техногенного впливу Бурштинської ТЕС. URL: <http://medradiologia.org.ua/assets/files/arch> (дата звернення: 16.11. 2022).
2. Миленка М.М. Біоіндикаційна оцінка екологічного стану Бурштинської урбоєкосистеми. *Екологічний вісник*. 2016. № 1. С. 19–22.
3. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany / M. Birke et al. *Journal of Geochemical Exploration*. 2018. 187. С. 97–117.
4. Erofeeva E.A. Hormesis and Paradoxical Effects of Drooping Birch (*Betula pendula* Roth) Parameters Under Motor Traffic Pollution. Dose Response. 2015.13 (2). URL: <https://www.researchgate.net/publication/277930697> (дата звернення: 22.11.2022).
5. Оцінювання впливу Бурштинської ТЕС на атмосферне повітря / Y.I. Pankivskyi et al. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2017. № 27 (5). С. 59–62.

REFERENCES

1. Analiz radiatsiinoi obstanovky v zoni tekhnogennoho vplyvu burshtynskoi tes [Analysis of the radiation situation in the zone of technogenic influence of the Burshtyn TPP]. Retrieved from : <http://medradiologia.org.ua/assets/files/arch> (data zvernennia: 16.11. 2022) [in Ukrainian].
2. Mylenka M.M. (2016). Bioindykatsiina otsinka ekolohichnoho stanu Burshtynskoi urboekosystemy [Bioindicative assessment of the ecological state of the Burshtyn urban ecosystem]. *Ekolohichniy visnyk*. № 1. S. 19–22 [in Ukrainian].
3. Birke M., Rauch, U., Hofmann, F. (2018). Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration*. 187. S. 97–117 [in English].
4. Erofeeva E.A. (2015). Hormesis and Paradoxical Effects of Drooping Birch (*Betula pendula* Roth) Parameters Under Motor Traffic Pollution. Dose Response. 2015.13 (2). Retrieved from : <https://www.researchgate.net/publication/277930697> (data zvernennia: 22.11. 2022) [in English].
5. Pankivskyi Y.I., Oshurkevych-Pankivska O.Y., Ostashuk M.B. (2017). Otsiniuvannia vplyvu burshtynskoi tes na atmosferne povitria [Assessment of the impact of Burshtynskaya TPP on atmospheric air]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. № 27 (5). P. 59–62 [in Ukrainian].

ABSTRACT

DENDROINDICATION OF THE ENVIRONMENTAL STATE OF TECHNOLOGICAL TERRITORIES IN THE VICINITY OF BURSHTYNSKA THERMAL POWER STATION

Burshtyn thermal power plant negatively impacts the environment, particularly on trees and bushes filtering dust containing toxic substances. The latter precipitate on the leaf plate surfaces, causing various necrosis diseases, leading to many plants' death. And only fairly enduring plant species adapt to such environmental conditions and continue to exist.

The research results make it possible to introduce sustainable woody reclamants of the environment, as well as woody indicators of its environmental state when foresting adjacent areas of the Burshtyn thermal power plant contaminated with chemical elements.

It was found that the species diversity of shrubs and trees is represented by only 8 species (*Populus nigra L.*, *P. tremula L.*, *Salix caprea L.*, *S. Alba L.*, *Betula pendula L.*, *Sambucus nigra L.*, *Prunus spinosa L.*, *Tilia cordata Mill.*). Within a radius of up to 0,5 km² of the Burshtyn thermal power plant. Deformations of shoots were found in 75% of trees and bushes, and deformations of leafy plates were found in 100% of species. The species growing in the adjacent territory is attributed to finely deciduous wooden trees alongside and are characterized by a wide amplitude of adaptive and natural adaptations.

In a remote area (from 0,5 to 1 km²) from the Burshtyn thermal power plant, the species diversity of shrub-tree vegetation is much more diverse and represented by 20 species (*Acer campestre L.*, *A.platanoides L.*, *A. negundo L.*, *A. platanoides L.*, *Fraxinus excelsior L.*, *F. Lanceolata Borkh.*, *Populus nigra L.*, *P. tremula L.*, *Salix caprea L.*, *S. alba L.*, *Betyla pendula L.*, *Carpinus betulus L.*, *Sambucus nigra L.*, *Tilia cordata Mill.*, *Quercus robur L.*, *Fagus sylvatica L.*, *Crataegus oxyacantha L.*, *Prunus spinosa L.*, *Robinia pseudoacacia L.*, *Gleditsia triacanthos L.*). Deformations of shoots were found in 35% of trees and bushes, and deformations of leaf plates in 100% of species. However, their intensity is much less and less pronounced. The species of both fine- and broad-leaved plants characteristic of this area are concentrated here.

Key words: technogenic pollution, toxic effect, trees, bushes, deformations of shoots, deformations of leaf plates, necrosis of leaf plates.

Любомира Ігорівна Одосій,

кандидат хімічних наук, доцент, професор кафедри електромеханіки та електроніки
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Україна
orcid.org/0000-0003-2438-7759, e-mail: odosiu@ukr.net

Марина Станіславівна Міхалєва,

кандидат хімічних наук, доцент, професор кафедри електромеханіки та електроніки
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Україна
orcid.org/0000-0001-5612-3737, e-mail: galmih@ukr.net

Михайло Казимирович Старчевський,

доктор хімічних наук, доцент, професор кафедри біології і хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0001-7183-6073, e-mail: Starm@ukr.net

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ СВІТЛОЧУТЛИВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Анотація. В статті розглянуто стан енергетичної ситуації сьогодення, що вимагає модернізації енергосистем з використанням відновлюваних джерел, які забезпечують екологічні аспекти. Сонячне світло є одним з екологічно сталих «чистих» ресурсів, які активно використовуються для виробництва еко-електроенергії. Використання таких відновлюваних джерел базується на удосконаленні процесів фотоперетворення з метою одержання «чистої» електроенергії в максимально екологічно-вигідних умовах. Саме тому різноманітні дослідження в області фотовольтаїки є досить актуальними і перспективними, що дадуть змогу підвищити обсяги здобутої екоенергії.

Проведено аналіз розвитку технологій сонячної енергетики, використання яких сприяє динамічному розвитку фотоелектричної промисловості України, фотовольтаїчних матеріалів і конструкційних модифікацій сонячних панелей з метою подальшого прогресу даної галузі.

Висвітлено сучасні підходи, які використовуються для виготовлення фотоелектричних систем з врахуванням використання світлочутливих матеріалів з залученням розширеного діапазону світла.

Проаналізовано сучасні методи оцінювання ефективності наноматеріалів та запропоновано швидкий метод оцінки за допомогою математичного моделювання.

Ключові слова: енергосистеми, світлочутливі матеріали, фотоелементи, математичне моделювання.

ВСТУП

Енергетика України перебуває у стані війни із 2014 р., що відіграло неабияку роль і внесло деякі корективи, які запровадили низку регуляторних змін, покликаних стабілізувати галузь і вирішити критичні проблеми. Пріоритетним напрямом зовнішньої політики України стало об'єднання енергосистем України та Європейського Союзу (далі – ЄС), що засвідчує рух у бік євроінтеграції. Цей крок формує доступ до величезного та ліквідного європейського ринку, відкриває вікно можливостей для модернізації енергетичної галузі України [1–4]. Процеси модернізації полягають також

у збільшенні частки відновлюваних джерел енергії в загальному балансі встановлених потужностей шляхом розвитку новітніх технологій та інновацій.

У зв'язку з повномасштабним вторгненням Росії електроенергетика зазнала величезних руйнівних втрат і увійшла у список критичної інфраструктури серед стратегічних галузей знищення. Енергетичний тероризм вніс суттєві негативні зміни у сферу енергетики країни, зокрема й у галузь відновлюваної енергетики, що потребує якнайшвидшого реагування на ситуацію.

Зокрема, євроінтеграція потребує врахування екологічних аспектів, що вимагає радикальних змін і вказує на те, що централізовані енергетичні системи минулого, які залежать від поставок викопного палива та ядерної енергії, виявилися надзвичайно вразливими до навмисних нападів і терору. У майбутньому енергетична безпека України та Європи не зможе покладатися на розширення інфраструктури на викопному паливі, яка за своєю природою критично вразлива до диверсій і прямих військових атак. Застарілі способи енергозабезпечення, що залежать від імпортованих поставок викопного палива, більше не життєздатні, а тому заходи з енергоефективності мають стояти на першому місці перед плануванням нової інфраструктури централізованої електрифікації, яка має базуватися на відновлюваних джерелах енергії.

Проаналізовано, що в період із 2018 по 2021 рр. загальна встановлена потужність відновлюваних джерел енергії зростає в 4 рази й у 2021 р. частка відновлюваної електроенергії досягла 8,1%, або 12,8 ГВт-год. Із загального обсягу 60% було забезпечено сонячною енергією, 30% вітром, майже 8% біомасою та біогазом і 2% малими ГЕС.

Надзвичайно потужним джерелом енергії є Сонце, світло якого є найбільшим джерелом енергії Землі. Використання цього джерела має потенціал для задоволення всіх майбутніх енергетичних потреб і стає все більш привабливим як джерело відновлюваної енергії, оскільки забезпечує також і екологічні аспекти. Потенціал для сонячної енергії величезний, оскільки приблизно у 200 тисяч разів перевищує загальну добову електричну потужність. Однак висока вартість її збору, перетворення та зберігання все ще обмежує її експлуатацію. Зокрема, інтенсивність світла на поверхні Землі насправді досить низька, що пов'язано з величезним радіальним поширенням радіації віддаленого сонця, а також втратами, пов'язаними з атмосферою Землі та хмарами, які поглинають або розкидають до 54% сонячного світла.

Сонячне світло, що досягає Землі, складається з майже 50% видимого світла, 45% інфрачервоного (далі – ІЧ) випромінювання, невеликої кількості ультрафіолетових (далі – УФ) та інших форм електромагнітного випромінювання. Саме тому для збору більшої кількості енергії доцільним є залучення світла з ІЧ спектра, що є можливим завдяки використанню та різного виду світлочувливих матеріалів. Перспективними в даному аспекті є глибокозабарвлені органічні барвники [4].

Усе викладене вище вказує на актуальність проведення дослідження, спрямованого на формування наукових основ створення та вивчення ефективності нових світлочувливих матеріалів із фотокаталітичною активністю (далі – ФА) з розширеним діапазоном світлочувливості.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Нині на ринку можна знайти п'ять типів сонячних батарей (далі – СБ), у яких застосовуються різні фоточувливі матеріали [5–10]. Залежно від структури

використовуваного напівпровідника їх розрізняють як сонячні елементи на основі кристалічних, полікристалічних, мікрокристалічних, аморфних матеріалів.

Основним матеріалом для виготовлення сонячних елементів натеper є кристалічний кремній. На ринку фотовольтаїки частка сонячних елементів і модулів, вироблених на основі кристалічного кремнію, зараз перевищує 90%, із яких приблизно 2/3 припадає на полікристалічний кремній і 1/3 – на монокристалічний. Інша частина ринку фотовольтаїки припадає на плівкові елементи на основі інших матеріалів, понад 5% становлять сонячні елементи (далі – СЕ) на основі тонких плівок аморфного гідрогенізованого кремнію.

Отже, продуктивність сонячних батарей і кількість електроенергії, що буде вироблено за допомогою сонячного модуля, залежить від ефективності перетворення сонячної енергії.

Монокристалічні елементи мають найбільш високий показник ефективності, що перебуває на рівні 23%. Досягається цей показник завдяки високому ступеню очищення кремнію. Полікристалічні модулі володіють 12–18% ефективністю. Істотне зниження досягається через використання вторинної сировини у виробництві полікристалів. Домішки вуглецю, кисню й інших елементів зменшують робочу площу батареї.

Основним недоліком сонячних елементів на основі кристалічного кремнію є їхня висока вартість, бо 50% від загальної вартості цих елементів становить вартість кремнієвої підкладки (Si-підкладки). Виготовлення елементів даного виду є вельми енергоємним, великі й загальні втрати кремнію внаслідок його обробки та різання. У зв'язку з тим, що монокристалічний і полікристалічний кремній – непрямозонні напівпровідники, їх коефіцієнт поглинання невисокий, для ефективного поглинання сонячного світла товщина виготовлених із них фотоелектричних перетворювачів (далі – ФЕП) має становити сотні мікрон. Це призводить до значних витрат кремнію та високої вартості сонячних елементів.

Перспективним видається створення тонкоплівкових сонячних елементів [6] на основі аморфного гідрогенізованого та мікрокристалічного кремнію, моделі яких показують ефективність на рівні 13%. Тонкоплівкова технологія отримання шарів аморфного гідрогенізованого та мікрокристалічного кремнію за низьких температур має великі потенційні можливості для зниження вартості сонячних модулів, що значно прискорює темпи зниження цінової політики їх виробництва. Окрім того, тонкоплівкова технологія має низку специфічних видів застосування, а саме можливість створювати напівпровідникові структури на гнучких підкладках, так звані гнучкі модулі. СЕ на гнучкій основі мають велику перевагу у використанні, оскільки мають малу вагу, можуть монтуватися на будь-якій поверхні, що робить їх пріоритетними у використанні різних галузей, зокрема у військовій. Обмеження пов'язані з фізичними розмірами панелей.

Натеperумасовому виробництві сонячних елементів використовують гетеропереходи на основах кристалічного кремнію (с-Si) і гідрогенізованого аморфного кремнію (а-Si: H), телуриду кадмію (CdTe), диселеніду індію (CuInSe₂ – CIS), диселеніду галію (CuGaSe₂ – CGS), а також твердих розчинів CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ – CIGS тощо [7].

Висока поглинаюча здатність щодо сонячного випромінювання аморфного кремнію, особливо бінарних напівпровідникових сполучень, а також твердих розчинів на їхній основі, дозволяє істотно зменшити товщину сонячного елемента. Проте зниження товщини активних шарів фотоперетворювача приводить до зміни процесів струмопереносу, зокрема до зростання ролі тунельних ефектів.

Для таких конфігурацій різних типів СЕ, багатошарових також, тандемних, зі складною структурою, оцінка ефективності роботи ФЕП, особливо на початковому етапі, дуже важлива. Основним методом оцінки експлуатаційних характеристик

фотоелектричного перетворювача є вимірювання вольт-амперних характеристик (далі – ВАХ) [11; 12].

Вольт-амперна характеристика сонячної панелі – це один із найважливіших параметрів, який безпосередньо пов'язаний з енергоефективністю СП, що відображає її конструкційні характеристики.

Для сонячних панелей вироблені та стандартизовані нормальні показники вольт-амперної характеристики, які враховуються також під час проєктування моделей, забезпечення необхідних потужностей. Отримують номінальну криву, яка характеризує напівпровідниковий перетворювач, за якою можна оцінити потужність фотоелектричного компонента. Даний метод є досить часозатратним, тому пропонується використання аналітичних моделей визначення ефективності сонячних ФЕПів.

До перспективних аналітичних моделей, що дозволяють визначити ефективність фотоелементів, можна віднести програмні засоби AMPS-1D, SCAPS, gprdm, а також математичне моделювання за допомогою програми MATLAB [13–15].

РЕЗУЛЬТАТИ

Фотокаталітичні системи на основі неорганічних оксидів металів, які чутливі до дії світла видимої та ближньої ІЧ-смуг спектра, засвідчують перспективність використання для перетворення й акумулювання енергії сонячного випромінювання, створення фотоелектрохімічних сонячних елементів тощо. Успішне виконання зазначених вище завдань можливе лише завдяки підвищенню ККД використання світла та квантових виходів фотокаталітичних процесів за участю відомих фотокаталізаторів [16].

Особлива увага приділяється використанню як фотокаталізаторів світлочутливих гетероструктур (далі – ГС), які містять у визначених співвідношеннях напівпровідник-фотокаталізатор і барвник-сенсibilізатор. Такі гетероструктури – сучасний напрям створення фотокаталітично активних матеріалів із розширеним діапазоном світлочутливості. Для успішного функціонування фотокаталізаторів-гетероструктур необхідний вибір їхніх компонентів з визначеними оптичними, електрофізичними й електрохімічними характеристиками, які забезпечують термодинамічний вигравш усіх можливих електронних процесів, які приводять до здійснення фотокаталітичного перетворення в умовах опромінення світлом потрібного спектрального діапазону.

Водночас низка важливих чинників, які слугують науковою основою цілеспрямованого дизайну світлочутливих оксидних напівпровідникових систем із заданими властивостями, досі залишається поза увагою. Потребують подальшого розвитку зв'язки між спектральними й електрохімічними характеристиками сенсibilізаторів і фотокаталітичними властивостями ГС на їх основі, а також методи швидкого контролю їхньої ефективності.

Продуктивність СП і кількість електроенергії, що виробляється нею, залежить від ефективності перетворення сонячної енергії та визначається її основними характеристиками [13], як-от:

- номінальна потужність (P_{max});
- напруга за максимальної потужності (Voltage at Maximal Power Point, U_{mpp});
- напруга холостого ходу (Open Circuit Voltage, V_{oc});
- ККД фотомодуля (%);
- струм за максимальної потужності (Current at Maximum Power Point, I_{mpp});
- струм короткого замикання (Short Circuit Current, I_{sc});

- ефективність модуля (Module Efficiency);
- діапазон робочих температур (Operating Temperature);
- максимальна напруга системи (Maximum System Voltage);
- стійкість до зворотного струму (Maximum Series Fuse Rating);
- тип комірки (Cell type);
- носій комірки та кількість комірок (Number of cells);
- габаритні розміри модуля (Module dimensions).

Проведено порівняння характеристик сонячної панелі відомої марки та даних, які отримано шляхом математичного моделювання, з метою визначення адекватності даного методу для вирішення завдання оптимізації часу, структури та конфігурації багатошарових СЕ на основі нових сконструйованих багатошарових ГС, який містить барвник-сенсibilізатор.

За досліджувану модель обрана сонячна панель “Risen RSM 60-8-315M” з відомими номінальними характеристиками, які відображено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики СП “Risen RSM 60-8-315M”	
Тип	Монокристалічна
Потужність, Вт	315
Напруга за макс. потужності, В	33,3
Струм за макс. потужності, А	9,46
Напруга холостого ходу, В	40,5
Струм короткого замикання, А	9,99
ККД фотомодуля, %	18,9
Кількість фотоелементів, шт.	60
Габарити, мм (довжина, ширина, товщина)	1 640 x 992 x 35

Для одержання результатів використано середовище математичного моделювання Multisim. Схема моделювання та графік, який одержано у процесі дослідження, зображені на рис. 1.

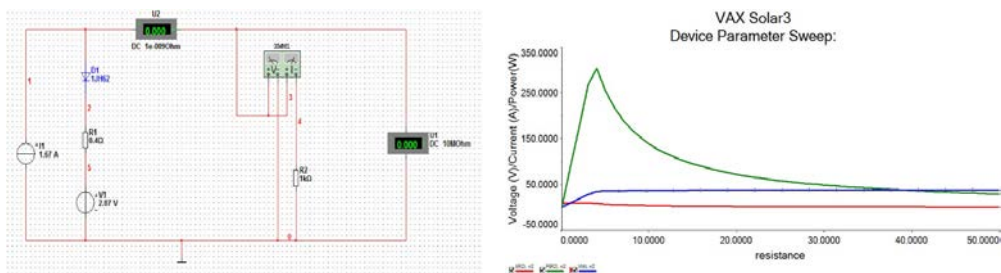


Рис. 1. Схема та графічна крива VAX СП “Risen RSM 60-8-315M”

Отримана крива з належною точністю характеризує досліджувану СП, що корелюється з її технічними ВАХ.

Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що запропонований алгоритм моделювання досить точно описує струмоутворення в сонячних панелях і може застосовуватись для розрахунків ефективності СП з використанням фотоактивних матеріалів із розширеним діапазоном світлочутливості.

ВИСНОВКИ

Побудова імітаційної математичної моделі для отримання вольт-амперної характеристики дозволяє розраховувати оптичні й електричні параметри широкого діапазону конфігурацій СП.

Порівняно з експериментальними випробуваннями математичне моделювання не потребує дорогого обладнання, а також належить до швидкісного методу аналізу ефективності світлочутливих матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетика під час війни в Україні: які зміни в регулюванні? URL: https://jurliga.ligazakon.net/aktualno/12602_energetika-pd-chas-vyni-v-ukran-yak-zmni-v-regulyuvann.
2. Климчук А. Додати Сонце – як джерело енергії. 2016. URL: <https://alternative-energy.com.ua/uk/soncze-yak-dzherelo-energi%d1%97//>.
3. Чекунова С. Перспективні технології фотоелектричної сонячної енергетики. 2021. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/perspektyvni-tekhnologii-fotoelektrychnoi-soniachnoi-energetyky>.
4. Як вибрати сонячні батареї? Переваги та недоліки. URL: <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-solar>.
5. Які бувають сонячні батареї. Різновиди і характеристики. URL: <https://ekotechnik.in.ua/tipy-solnechnyh-batarej/>.
6. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния / В.П. Афанасьев и др. 2-е изд. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
7. Руденко О.В. Дослідження плівкових сонячних перетворювачів : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні ; спеціальність 171 «Електроніка»; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2020. 96 с.
8. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / В.П. Кожем'яко та ін. *Оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях*. С. 141–157.
9. Novikov G.F., Gapanovich M.V. Third generation Cu-In-Ga-(S, Se) based solar inverters. *Phys. Usp.*, 2017. 60. P. 161–178 ; Новиков Г.Ф., Гапанович М.В. Солнечные преобразователи третьего поколения на основе Cu-In-Ga-(S, Se). *УФН*, 2017. 187. С. 173–191.
10. Параметри сонячних батарей - ВАХ. URL: <https://solar.kiev.ua/ua/blog/alternative-energy/osnovnye-harakteristiki-solnechnyh-panelej-volt-ampnaja-harakteristika-vah>
11. Горянін В.М. Вимірювач ВАХ сонячних елементів : дипломна робота на здобуття ступеня бакалавра ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Київ, 2018. 49 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28850/1/Horianin_bakalavr.pdf.
12. Технічні характеристики фотоелектричних модулів Vitovolt 300 та їхні значення. URL: <https://www.viessmann.ua/uk/zhytlovi-budynky/porady/tech-charakterystyky-soniachnych-paneley.html>.
13. Loss mechanisms in high efficiency polymer solar cells / R.C.I. MacKenzie et al. *Adv. Energ. Mat.* 2015. DOI: 10.1002/aenm.201501742.
14. Datta A., Chatterjee P. Computer Modeling of Heterojunction with Intrinsic Thin Layer "HIT" Solar Cells: Sensitivity Issues and Insights Gained. *Solar Cells – Thin-Film Technologies* / Edited by Prof. Leonid A. Kosyachenko. InTech, 2011. P. 275–302.
15. Шам О.М. Математичне моделювання фотоелектричного перетворювача за допомогою програми Matlab. *Електронне моделювання*. 2019. Т. 41. № 1. С. 19–26.

16. Sensitization of TiO_2 by symmetric onic polymethina dye with three conjugated chromophores / I.M. Kobasa et al. *Research on Chemical intermediates*. 2019. Vol. 45 (8). P. 4043–4052.

REFERENCES

1. Enerhetyka pid chas viiny v Ukraini: yaki zminy v rehuliuванні? [Energy during the war in Ukraine: what changes in regulation?]. URL: https://jurliga.ligazakon.net/aktualno/12602_energetika-pd-chas-vyni-v-ukran-yak-zmni-v-regulyuvann [in Ukrainian].
2. Kymchuk A. (2016). Sontse – yak dzherelo enerhii [The sun is a source of energy]. URL: <https://alternative-energy.com.ua/uk/soncze-yak-dzherelo-energi%d1%97//> [in Ukrainian].
3. Chekunova S. (2021). Perspektyvni tekhnologii fotoelektrychnoi soniachnoi enerhetyky [Prospective technologies of photovoltaic solar energy]. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/perspektyvni-tekhnologii-fotoelektrychnoi-soniachnoi-energetyky> [in Ukrainian].
4. Yak vybraty soniachni batarei? Perevahy ta nedoliky [How to choose solar batteries? Advantages and disadvantages]. URL: <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-solar> [in Ukrainian].
5. Yaki buvaiut soniachni batarei. Riznovydy i kharakterystyky [What are solar batteries? Varieties and characteristics]. URL: <https://ekotechnik.in.ua/tipy-solnechnyh-batarej/> [in Ukrainian].
6. Afanasyev V.P., Terukov E.I., Sherchenkov A.A. (2011). Tonkoplenochnye solnechnye elementy na osnove kremniya [Thin film solar cells based on silicon]. 2nd ed. St. Petersburg: “LETY” publishing house of St. Petersburg HETU [in Russian].
7. Rudenko O.V. (2020). Research of film solar converters: explanatory note to the attestation work of a student of higher education at the second (master’s) level, specialty 171 Electronics [Doslidzhennia plivkovykh soniachnykh peretvoriuvachiv : poiasniuvalna zapyska do atestatsiinoi roboty zdobuvacha vyshchoi osvity na druhomu (mahisterskomu) rivni ; spetsialnist 171 «Elektronika»]. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv. national University of Radio Electronics. Kharkiv, 2020 [in Ukrainian].
8. Kozhem'yako V.P., Dombrovskiy O.H., Zherdetskiy V.F., Malinovskiy V.I., Prytulyak G.V. Analitychnyi ohliad suchasnykh tekhnologii fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv dlia soniachnoi enerhetyky [Analytical review of modern technologies of photoelectric converters for solar energy]. *Optyko-elektronni prystroi ta komponenty v lazernykh i enerhetychnykh tekhnolohiiakh – Optical-electronic devices and components in laser and energy technologies*. P. 141–157.
9. Novikov G.F., Gapanovich M.V. (2017). Third generation Cu-In-Ga-(S,-Se) based solar inverters. *Phys. Usp.* 60. Pp. 161–178 ; Novikov G.F., Gapanovych M.V. (2017). Solnechnye preobrazovateli tret'ego pokoleniya na osnove Cu-In-Ga-(S, Se) [Solar converters of the third generation based on Cu-In-Ga-(S, Se)]. *UFN*. 187. 173–191 [in Russian].
10. Parametry soniachnykh batarei - BAX [Parameters of solar batteries - BAX]. URL: <https://solar.kiev.ua/ua/blog/alternative-energy/osnovnye-harakteristiki-solnechnyh-panelej-volt-ampnaja-harakteristika-vah>
11. Horianin V.M. (2018). Vymiriuvach BAX soniachnykh elementiv [The BAX meter of solar cells]. Natsionalnyi tekhnichniy universytet Ukrainy "Kyivskiy politekhnichniy instytut imeni Ihoria Sikorskoho". Kyiv. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28850/1/Horianin_bakalavr.pdf [in Ukrainian].
12. Tekhnichni kharakterystyky fotoelektrychnykh moduliv Vitovolt 300 ta yikhni znachennia [Technical characteristics of photovoltaic modules Vitovolt 300 and their values]. URL: <https://www.viessmann.ua/uk/zhytlovi-budynky/porady/tech-kharakterystyky-soniachnych-paneley.html> [in Ukrainian].

13. MacKenzie R.C.I., Balderrama V.S., Schmeisser S., Stoof R., Greedy S., Pallarès J., Marsal L.F., Chanaewa A., Hauff E. von. (2015). Loss mechanisms in high efficiency polymer solar cells. *Adv. Energ. Mat.* DOI: 10.1002/aenm.201501742.
14. Datta A., Chatterjee P. Computer Modeling of Heterojunction with Intrinsic Thin Layer “HIT” Solar Cells: Sensitivity Issues and Insights Gained. *Solar Cells – Thin-Film Technologies* / Edited by Prof. Leonid A. Kosyachenko. InTech, 2011. P. 275–302.
15. Sham O.M. (2019). Matematychni modeliuvannia fotoelektrychnoho peretvoriuvacha za dopomohoiu prohramy Matlab [Mathematical modeling of the photoelectric converter using the Matlab program]. *Electronic modeling*. Vol. 41. № 1. P. 19–26 [in Ukrainian].
16. Kobasa I.M., Odosiy L.I., Kondratyeva I.V., Kropelnytska Yu.V. (2019). Sensitization of TiO₂ by symmetric onic polymethina dye with three conjugated chromophores. *Research on Chemical intermediates*. Vol. 45 (8). P. 4043–4052.

ABSTRACT

METHODS OF EVALUATING THE EFFICIENCY OF SOLAR ELEMENTS WITH LIGHT SENSITIVE MATERIALS

Abstract. The article examines the state of the energy situation today, which requires the modernization of energy systems using renewable sources that provide environmental aspects. Sunlight is one of the ecologically stable "clean" resources that are actively used for the production of eco-electricity. The use of such renewable sources is based on the improvement of photoconversion processes with the aim of obtaining "clean" electricity in the most ecologically favorable conditions. That is why various researches in the field of fleet voltaics are quite relevant and promising, which will make it possible to increase the amount of eco-energy obtained.

An analysis of the development of solar energy technologies, the use of which contributes to the dynamic development of the photovoltaic industry of Ukraine, photovoltaic materials and structural modifications of solar panels with the aim of further progress of this industry, was carried out.

Modern approaches used for the production of photovoltaic systems, taking into account the use of light-sensitive materials with the involvement of an extended range of light, are highlighted.

Modern methods of evaluating the effectiveness of nanomaterials are analyzed and a quick method of evaluation using mathematical modeling is proposed.

Key words: energy systems, light-sensitive materials, photocells, mathematical modeling.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

АСТА CARPETHICA

Збірник наукових праць

№ 2 (38), 2022

Здано до набору 20.12.2022 р. Підписано до друку 26.12.2022 р.

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

Друк офсетний. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 8,23. Зам. № 0323/200. 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.