ISSN 3041-2250 (Print)
ISSN 3041-2269 (Online)

ACTA CARPATHICA

№ 1 (43)

Видавничий дім
«Гельветика»
2025

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

ACTA CARPATHICA

Збірник наукових праць
№ 1 (43), 2025

Збірник наукових праць **Заснований в 2013 р.** **2 рази на рік**

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

Члени редакційної колегії:
Дрозд Інеса (Україна), Згарджинська Божена (Польща), Ків Арік (Ізраїль), Клепач Галина (Україна), Климишин Олександр (Україна), Кухаж Юлія (Україна), Лупак Оксана (Україна), Смуток Олег (США), Сосинович Святослав (Швеція)

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

Members of the Editorial board:
Drozd Inesa (Ukraine), Zgardzińska Bożena (Poland), Kiv Arik (Israel), Klepach Halyna (Ukraine), Klymyshyn Oleksandr (Ukraine), Kukhazh Yuliia (Ukraine), Lupak Oksana (Ukraine), Smutok Oleh (USA), Sasinovich Sviataslau (Sweden)

Founder: Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University
Засновник: 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:
Популяція Oreganum vulgare L. у складі лучного фітоценозу заплави Бистриці Тисменицької (басейн р. Дністер)
Автор: Світлана Волошанська.

Cover image:
The population of Oreganum vulgare L. in the meadow phytocoenosis of the Bystrytsia Tysmenytsia floodplain (the Dniester basin)
Author: Svitlana Voloshanska.

Рекомендовано до друку Вченою радою Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка (протокол № 5 від 29.05.2025)

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1190 від 11.04.2024 року. Ідентифікатор медіа R30-04761.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа: Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка (вул. І. Франка, 24, м. Дрогобич, Львівська обл., 82100, e-mail: dspu@dspu.edu.ua, тел. (03-24) 41-04-74).

Періодичність: 2 рази на рік.

Мови видання: українська, англійська, польська, німецька, французька, іспанська, словацька, болгарська, румунська.

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 «Е2 Екологія», «Е1 Біологія та біохімія».

© Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2025

ЗМІСТ

Богдан Володимирович Пехів, Ярослав Ярославович Ковальчук, Наталія Миколаївна Федак, Ірина Іванівна Ковальчук,
Морфологічні показники крові та продуктивність поросят за впливу дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та нанотехнологічного цитрату Cu……**5**
Morphological blood indices and productivity of piglets under the influence of *Saccharomyces cerevisiae* yeast and nanotechnological Cu citrate……**11**

Ірина Зіновіївна Гложик
Тиреоїдний статус та взаємозв'язок між показниками ліпідного спектра крові та вмістом есенціальних біоелементів у крові щурів при експериментальному ожирінні, йододефіциті та ожирінні у поєднанні з йододефіцитом……**13**
Thyroid status and the relationship between blood lipid spectrum parameters and the content of essential bioelements in the blood of rats with experimental obesity, iodine deficiency and obesity combined with iodine deficiency……**21**

Ольга Вікторівна Паламаренко, Ельвіра Миколаївна Різун
Орнітофауна Щирецького водосховища на Львівщині: результати досліджень 2024–2025 років……**22**
Ornithofauna of Shchyrets reservoir in Lviv region: results of research in 2024–2025……**30**

Ірина Володимирівна Бриндзя, Наталія Костянтинівна Гойванович, Тарас Степанович Кавецький
Біологічна оцінка якості криничних вод Дрогобицької територіальної громади……**32**
Biological assessment of well water quality in Drohobych territorial community……**42**

Оксана Василівна Мамчур, Мирослава Степанівна Кобилецька, Наталія Миколаївна Федак, Лілія Михайлівна Кропивницька, Іванна Валеріївна Стаднічук, Олена Миколаївна Стаднічук
Оцінка можливості використання *Scirpus sylvaticus* L для фіторемедіації ґрунтів від нафтопродуктів……**44**
Assessment of the possibility of using *Scirpus sylvaticus* L for phytoremediation of soils from oil products……**54**

Олена Василівна Кочубей, Світлана Василівна Совгіра, Наталія Юріївна Душечкіна
Нормування вмісту важких металів у ґрунтах: хімічні методи оцінювання техногенного навантаження (на прикладі Центрального Побужжя)……**55**
Regulation of heavy metals content in soils: chemical methods for assessing technological load (using the example of the Central Pobuzhzhia)……**63**

Вікторія Олександрівна Скакун
Особливості клітинної будови листка *Buddleja davidii* L……**64**
Peculiarities of cellular structure of *Buddleja davidii* L……**69**

Олена Дмитрівна Боярчук, Ольга Володимирівна Бондаренко
Патологічна фізіологія та її основні аспекти……**71**
Pathological physiology and its main aspects……**79**

Dietmar Fink, Alina Vinkovskaya, Taras Kavetskyy, Nataliia Hoivanovych, Yuliia Kukhazh, Mariana Kravtsiv, Oles Matskiv, Ondrej Šauša, Arnold Kiv
Mechanism of oscillations of ion currents in the nanotracks……**81**
Механізм коливань іонних струмів у нанотреках……**88**

УДК 636.4: 084/.087
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.1

Богдан Володимирович Пехів,
аспірант відділу дрібного тваринництва
Інститут сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України, Україна
orcid.org/0009-0004-7867-0917, e-mail: bogdan_spider@ukr.net

Ярослав Ярославович Ковальчук,
кандидат ветеринарних наук, провідний науковий співробітник відділу дрібного тваринництва
Інститут сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України, Україна
orcid.org/0009-0003-2875-4285, e-mail: kovalchukjarik@ukr.net

Наталія Миколаївна Федак,
кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділення тваринництва
Інститут сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України, Україна
orcid.org/0000-0003-1988-8591, e-mail: natalifedak181@gmail.com

Ірина Іванівна Ковальчук,
доктор ветеринарних наук, професор, в.о. завідувача кафедри нормальної та патологічної фізіології імені Степана Стояновського
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького, Україна
orcid.org/0000-0001-9932-6315, e-mail: kovalchuklvet@gmail.com

МОРФОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ КРОВІ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПОРОСЯТ ЗА ВПЛИВУ ДРІЖДЖІВ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* ТА НАНОТЕХНОЛОГІЧНОГО ЦИТРАТУ CU

Анотація. Однією з основних передумов підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин є їх повноцінне мінеральне живлення. Відсутність або нестача окремих мінеральних елементів, а також порушення їх співвідношення в раціонах призводить до зниження ефективності використання поживних речовин кормів і, як наслідок, до зниження продуктивності поголів'я.

Дослідження проведено в умовах ДП «Радехівське» Львівської області, Шептицького району. Було сформовано 3 групи поросят, по 14 гол. у кожній. Перша група (І, контрольна) отримувала стандартний комбікорм та замінник молока, друга (ІІ, дослідна) – стандартний комбікорм з додаванням до замінника молока 1,5 г/л дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та 10 мкг цитрату Cu/кг м.т., а третя (ІІІ, дослідна) з додаванням до замінника молока 1,5 г/л дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*+20 мкг цитрату Cu/кг м.т. Як у контрольній, так і в дослідних групах проводили облік показників росту та розвитку на 5-, 14- та 28-му добу життя. У кінці досліду, а саме на 28-му добу, визначено живу масу поросят та середньодобові прирости. Від поросят усіх груп у 5-, 14- та 28-добовому віці відбирали кров для проведення гематологічних досліджень. Кількість еритроцитів і лейкоцитів,

вміст гемоглобіну та гематокритного показника у цільній крові визначали за допомогою автоматичного гематологічного аналізатора.

Застосування дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu поросятам сприяло покращенню гемопоезу, природньої резистентності та зростанню середньодобових приростів маси тіла на 6,0%. Введення поросятам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu регулює процеси лейко- і гемопоезу шляхом підвищення кількості лейкоцитів, лімфоцитів ($P<0,05$), еритроцитів ($P<0,05$), лімфоцитів ($P<0,05$), моноцитів та гранулоцитів.

Ключові слова: поросята, кров, дріжджі *SACCHAROMYCES CEREVISIAE,* цитрат Cu, гемопоез, продуктивність.

ВСТУП

В останні роки з метою підвищення ефективності використання тваринами поживних речовин кормів до складу раціонів включають різні кормові добавки, у тому числі пробіотики та ферментні препарати. Пробіотики, на відміну від антибіотиків, не викликають звикання з боку умовно-патогенної мікрофлори, а продукти їх життєдіяльності не накопичуються в органах і тканинах тварин та не впливають на якість продукції [1, 2, 3]. Механізм дії пробіотиків базується на пригніченні росту патогенних мікроорганізмів, підвищенні активності імунної системи та кращому засвоєнні поживних речовин корму в організмі тварин. На сьогодні використання кормових добавок із пробіотичною дією на основі лактобактерій та ферментних препаратів є найефективнішим засобом для профілактики та лікування окремих захворювань шлунково-кишкового тракту свиней.

Однією з основних передумов підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин є їх повноцінне мінеральне живлення. Відсутність або нестача окремих мінеральних елементів, а також порушення їх співвідношення в раціонах призводить до зниження ефективності використання поживних речовин кормів і, як наслідок, до зниження продуктивності поголів'я [4].

Важливим мікроелементом у раціоні поросят є Купрум. Вплив на організм Cu пов'язаний із формуванням імунітету у тварин, регуляторною функцією роботи центральної нервової та серцево-судинної систем. За участі Cu утворюється колаген, забезпечується еластичність судин, відбувається дозрівання еритроцитів [5, 6]. За даними Бережнюк Н. А. та Чорнолата Л. П. [7], спостерігається залежність засвоєння Феруму від вмісту в раціоні Купруму, – засвоєння Феруму збільшується з підвищенням вмісту Cu в раціоні. Крім того, додавання Феруму до раціону з високим вмістом Cu сприяє підвищенню рівня гемоглобіну, а також має позитивний вплив на динаміку росту поросят.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження проведено в умовах ДП «Радехівське» Львівської області, Шептицького району. Було сформовано 3 групи поросят, по 14 тварин у кожній. Перша група (І, контрольна) – отримувала стандартний комбікорм та замінник молока, друга (ІІ, дослідна) – стандартний комбікорм з додаванням до замінника молока 1,5 г/л дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрат Cu в кількості 10 мкг Cu/кг м.т., а третя (ІІІ, дослідна) – з додаванням до замінника молока 1,5 г/л дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*+цитрат Cu в кількості 20 мкг Cu/кг м.т. Як у контрольній, так і в дослідних

групах проводили облік показників росту та розвитку на 5-, 14- та 28-му добу життя. У кінці досліду, а саме на 28-му добу, визначено живу масу поросят та середньодобові прирости. Від поросят усіх груп у 5-, 14- та 28-добовому віці відбирали кров для проведення гематологічних досліджень.

Кількість еритроцитів і лейкоцитів, вміст гемоглобіну та гематокритного показника у цільній крові визначали за допомогою автоматичного гематологічного аналізатора.

Отриманий цифровий матеріал опрацьовано методом варіаційної статистики з використанням критерію Стьюдента. Обчислювали середні арифметичні величини (M) та похибки середніх арифметичних величин (±m). Зміни вважали вірогідними за P<0,05. Для розрахунків було використано комп'ютерну програму MS-Excel

РЕЗУЛЬТАТИ

Результати дослідження застосування Cu цитрату з розрахунку відповідно 10 і 20 мкг Cu/кг маси тіла та *Saccharomyces cerevisiae* у складі замінника молока для поросят II і III дослідних груп показали зміни гематологічних показників у їх крові порівняно з контрольною (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст еритроцитів, гемоглобіну та гематокритної величини крові поросят за дії дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu (M±m, n=5)

Показник	Група	Період досліджень		
		підготовчий, 5 доба	дослідний	
			14 доба	28 доба
Еритроцити, Т/л	К-I	4,6±0,25	4,2±0,43	4,4±0,24
	Д–II	5,1±0,14	5,8±0,23*	5,3±0,33*
	Д– III	4,5±0,28	5,4±0,33*	5,2±0,23*
Гемоглобін, г/л	К-I	91,2±4,47	110,2±4,62	131,2±7,34
	Д–II	101,6±2,98	136,2±5,76*	152,6±4,21
	Д– III	95,4±3,68	131,0±3,15*	149,8±4,21
Гематокрит, %	К-I	37,6±1,79	40,5±2,64	42,9±3,27
	Д–II	39,5±2,06	42,4±2,68	45,0±2,51
	Д– III	40,2±1,13	45,5±2,07	40,3±2,86

Зокрема, кількість еритроцитів у крові поросят II і III дослідних груп була вищою у 1,4 і 1,3 рази (P<0,05–0,02) на 14 добу дослідження порівняно з контролем. На завершальному періоді експерименту загальна кількість еритроцитів у крові II і III дослідних груп була відповідно вищою на 20% (P<0,05), ніж у контролі. Це може свідчити про більше виражений дозозалежний вплив комплексної дії дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu на гемопоетичну функцію організму поросят протягом тривалого часу застосування.

Аналогічні тенденції було відзначено у змінах вмісту гемоглобіну та еритроцитів дослідних груп порівняно з контрольною групою. Так, у крові поросят II дослідної

групи вміст гемоглобіну був вірогідно вищим на 24% (P< 0,05) впродовж дослідження порівняно до контролю.

Щодо показників морфологічного складу лейкоцитів крові поросят дослідних груп, то відмінності, виявлені впродовж дослідження, були не вірогідні (табл. 2).

Таблиця 2

Показники морфологічного складу лейкоцитів крові поросят за дії дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu (M±m, n=5)

Показник	Група	Періоди досліджень		
		підготовчий, 5 доба	дослідний	
			14 доба	28 доба
Лейкоцити, Г/л	К-І	11,2±0,8	9,8±1,91	8,5±0,86
	Д–ІІ	10,5±0,91	11,3±1,05	7,4±0,58
	Д– ІІІ	9,8±0,91	8,5±1,3	9,6±1,45
Лімфоцити, Г/л	К-І	3,9±0,26	3,7±0,1	3,6±0,21
	Д–ІІ	3,7±0,35	4,1±0,39	4,4±0,24*
	Д– ІІІ	3,5±0,23	4,6±0,23*	4,6±0,32*
Моноцити, Г/л	К-І	0,7±0,20	0,8±0,1	0,6±0,1
	Д–ІІ	1,0±0,14	0,6±0,07	0,8±0,09
	Д– ІІІ	0,8±0,12	0,6±0,11	0,5±0,15
Гранулоцити, Г/л	К-І	4,5±0,43	3,7±0,4	4,8±0,79
	Д–ІІ	3,9±0,19	3,2±0,42	5,5±0,81
	Д– ІІІ	4,4±0,26	4,1±0,49	4,6±1,1

Аналіз кількості лімфоцитів показав їх підвищення на 24% (P<0,05) у ІІІ дослідній групі порівняно з контролем на 14 добу дослідження. На 28 добу у поросят ІІ і ІІІ дослідних груп кількість лімфоцитів була вірогідно вища на 22 і 28% відповідно.

Лімфоцити вважаються головними клітинами імунітету і переважають у клітинному спектрі білої крові, тому вірогідне збільшення їх кількості у крові поросят дослідних груп у ранній постнатальний період може свідчити про підвищення імунного потенціалу організму. Відомо, що в організмі тварин функції лімфоцитів пов'язані з процесами імуногенезу, оскільки моноцити і гранулоцити відносяться до активних фагоцитів крові [9].

Аналіз абсолютної кількості моноцитів і гранулоцитів у крові поросят показав тенденцію до збільшення їх кількості у ІІ і ІІІ дослідних групах, хоча ці зміни порівняно з контролем були не вірогідними.

Середній об’єм еритроцитів у крові тварин дослідних груп збільшувався, проте вірогідних різниць не спостерігали (табл. 3).

Середній вміст гемоглобіну в еритроциті у тварин ІІ дослідної групи на 14 і 28 добу дослідження на 15% (P < 0,05) і 14% (P < 0,05) був відповідно вищим, а його концентрація в еритроциті – на 4% (P < 0,05) порівняно до контролю. Водночас аналогічні вірогідні різниці спостерігали у тварин ІІІ дослідної групи.

Відомо, що за розвитку стресу у тканинах організму розвивається гіпоксичний стан, який компенсаторно призводить до змін морфологічного складу крові, у першу чергу, за рахунок мобілізації еритроцитів із їх депо. При цьому тривалість життя еритроцитів знижується, а самі вони містять змінений гемоглобін [9, 10].

Таблиця 3

Показники індексу еритроцитів крові поросят за дії дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu (M±m, n=5)

Показник	Група	Періоди досліджень		
		підготовчий, 5 доба	дослідний	
			14 доба	28 доба
Середній об'єм еритроцитів, ф/л	К-І	84,9±0,97	84,4±3,46	92,9±4,01
	Д–ІІ	82,1±2,22	91,4±3,67	89,7±2,97
	Д– ІІІ	84,3±4,27	90,6±3,53	94,5±3,16
Середній вміст гемоглобіну в еритроциті, п/г	К-І	25,2±1,19	27,8±0,86	28,0±1,05
	Д–ІІ	27,3±0,52	32,0±1,48*	31,8±1,08*
	Д– ІІІ	24,2±0,73	33,0±1,87*	32,0±1,39*
Середня концентрація гемоглобіну в еритроциті, г/л	К-І	322,6±4,92	348,8±3,54	315,4±4,41
	Д–ІІ	329,6±7,50	361,4±3,16**	328,8±3,31*
	Д– ІІІ	324,8±7,49	355,4±5,19	315,4±4,41*
Ширина розподілу еритроцитів, %	К – І	12,1±0,36	12,4±1,25	13,2±0,81
	Д–ІІ	13,0±0,76	13,0±1,00	12,7±0,88
	Д– ІІІ	11,2±0,53	11,8±1,16	14,2±0,87

Таблиця 4

Інтенсивність росту поросят (M± m, n=11-14)

Показники	Група		
	І контрольна	ІІ дослідна	ІІІ дослідна
Маса тіла поросят на початку досліду, кг	1,28±0,03	1,21±0,04	1,24±0,05
Маса тіла поросят у кінці досліду, кг	7,33±0,11	7,57±0,13	7,65±0,12*
Загальний приріст, кг	6,05	6,36	6,41
Середньодобовий приріст, кг	0,216	0,227	0,228
% до контролю	100	106	106

Проведеними дослідженнями встановлено, що застосування у годівлі поросят дослідних груп дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu сприяє збільшенню середньодобових приростів маси тіла на 0,227 кг та 0,228 кг відповідно, порівняно з тваринами контрольної групи – 0,216 кг (табл. 4).

У цілому результати проведених досліджень показали, що комплексне застосування поросятам дослідних груп у складі замінника молока дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu позитивно впливає на гемопоетичну функцію крові в їх організмі, сприяє збільшенню середньодобових приростів маси тіла на 6,0%, що обумовлено комплексною адитивною дією досліджуваних дріжджів та цитрату Cu.

ВИСНОВКИ

Застосування дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu у складі замінника молока сприяло покращенню гемопоезу, природньої резистентності та підвищенню середньодобових приростів маси тіла поросят на 6,0%. Введення дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та цитрату Cu регулює процеси лейко- і гемопоезу шляхом зростання кількості лейкоцитів, лімфоцитів ($P<0,05$), еритроцитів ($P<0,05$), лімфоцитів ($P<0,05$), моноцитів та гранулоцитів у крові поросят.

ЛІТЕРАТУРА

1. Малина В. В., Бондаренко Л. В., Лясота В. П., Гришко В. А. Перспективи застосування пробіотичних та ферментних препаратів у свинарстві : Монографія. Біла Церква : БНАУ, 2017. 243 с.
2. Bengmark S. Colonicfood: pre- and probiotics. 2003. № 95 (1). P. 321–322.
3. Мартинюк О. Ефективність пробіотиків у свинарстві. Аграрне інтернетвидання Mizez. 2020. URL: https://mizez.com/news/efektivnst-probotikv-u-svinarstv
4. Новгородська Н. В. Баланс заліза та міді у молодняку свиней за різних преміксів у повнораціонних комбікормах. *Вінницький національний аграрний університет*. 2011. № 6 (46). С. 53–56.
5. Сироватко К. М. Продуктивність та гематологічні показники крові молодняку свиней на відгодівлі за згодовування білково-вітамінно-мінеральної добавки. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Ґжицького*. 2022. № 24 (97). С. 86–91
6. Бережнюк Н. А., Чорнолата Л. П. Балансування мінерального живлення свиней. *Аграрна наука та харчові технології. Вінницький національний аграрний університет*. 2017. № 5 (99). С. 23–29.
7. Вербельчук Т. В., Вербельчук С. П., Ковальчук І. І., Ковальчук І. В., Васильєв Р. О., Клим В. Р. Баланс феруму та міді в організмі свиней при використанні нетрадиційних природних добавок. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2021. № 2(45). С. 77–82.
8. Niels Olsen Saraiva Camara, Ana Paula Lepique, Alexandre S. Basso Lymphocyte differentiation and effector functions *Journal of Immunology research.* 2012. №1. https://doi.org/10.1155/2012/510603
9. Ковальчук І. І., Проданчук О. В., Лесик Я. В., Цап М. М., Пилипець А. З., Колотницький В. А. Фізіолого-біохімічні показники крові кролів за випоювання нанотехнологічного цитрату Se. *Ефективне кролівництво і звірівництво.* 2024. 10. С. 144–156. https://doi.org/10.37617/2708-0617.2024.10.144-156.
10. Hanczakowska M., Swiatkiewicz M., UrbaĔczyk J. The effect of high doses of vitamins C, E, and beta-carotene in pigs feed on carcass and meat quality 2005. Krmiva 47, Zagreb, 4. 171–177. https://hrcak.srce.hr/file/3348

REFERENCES

1. Malyna, V. V., Bondarenko, L. V., Lyasota, V. P., & Gryshko, V. A. (2017). Perspektyvy zastosuvannya probioty`chny`x ta fermentny`x preparativ u svy`narstvi [Prospects for the use of probiotic and enzyme preparations in pig farming]: Monografiya. Bila Cerkva : BNAU, 2017: 243. [in Ukrainian]
2. Bengmark, S. (2003). Colonicfood: pre- andprobiotics. 95 (1), 321–322.
3. Martynyuk, O. (2020). Efektyvnist probiotykiv u svynarstvi [Efficiency of probiotics in pig production]. Agrarne internetvydannya Mizez. Retrieved from: https://mizez.com/news/efektivnst-probotikv-u-svinarstv [in Ukrainian].

4. Novgorodska, N. V. (2011). Balans zaliza ta midi u molodnyaku svynej za riznyx premiksiv u povnoracionnyx kombikormax [Iron and copper balance in young pigs with different premixes in complete feeds]. Vinnyczkyj nacionalnyj agrarnyj universytet. 6 (46), 53–56 [in Ukrainian].
5. Syrovatko, K.M. (2022). Produktyvnist ta gematologichni pokaznyky krovi molodnyaku svynej na vidgodivli za zgodovuvannya bilkovo-vitaminno-mineralnoyi dobavky [Productivity and hematological parameters of blood of young pigs on fattening after feeding protein-vitamin-mineral supplementation]. *Naukovyj visnyk LNUVMB imeni S. Z. Gzhyczkogo,* 24 (97), 86–91 [in Ukrainian].
6. Berezhnyuk, N. A., & Chornolata, L. P. (2017). Balansuvannya mineral`nogo zhy`vlennya svy`nej. [Balancing mineral nutrition of pigs.] Agrarna nauka ta xarchovi texnologiyi. *Visnyk Sumskogo nacionalnogo agrarnogo universytetu*, 5 (99), 23–29 [in Ukrainian].
7. Verbelchuk, T.V., Verbelchuk, S.P., Kovalchuk, I.I., Kovalchuk, I.V., Vasylyev, R.O., & Klym, V.R. (2021). Balans ferumu ta midi v organizmi svy`nej pry` vy`kory`stanni netrady`cijny`x pry`rodny`x dobavok [The balance of iron and copper in the body of pigs with the use of non-traditional natural additives]. *Visnyk Sumskogo nacionalnogo agrarnogo universytetu,* 2(45), 77–82 [in Ukrainian].
8. Niels Olsen Saraiva Camara, Ana Paula Lepique, Alexandre S. Basso Lymphocyte differentiation and effector functions. (2012). *Journal of Immunology research*, 1. https://doi.org/10.1155/2012/510603.
9. Kovalchuk, I.I., Prodanchuk, O.V., Lesyk, Ya.V., Czap, M.M., Pylypecz, A.Z., & Kolotnyczkyj, V.A. (2024). Fiziologo-bioximichni pokaznyky krovi kroliv za vy`poyuvannya nanotexnologichnogo cytratu Se [Physiological and biochemical parameters of rabbits' blood after drinking nanotechnological Se citrate]. *Efektyvne krolivnycztvo i zvirivnycztvo*, 10, 144–156 [in Ukrainian].
10. Hanczakowska, M., Swiatkiewicz, M., & UrbaĔczyk, J. (2005). The effect of high doses of vitamins C, E, and beta-carotene in pigs feed on carcass and meat quality Krmiva 47, Zagreb, 4, 171–177. https://hrcak.srce.hr/file/3348.

ABSTRACT

MORPHOLOGICAL BLOOD INDICES AND PRODUCTIVITY OF PIGLETS UNDER THE INFLUENCE OF *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* YEAST AND NANOTECHNOLOGICAL CU CITRATE

One of the main prerequisites for increasing the productivity of farm animals is their adequate mineral nutrition. The absence or shortage of certain mineral elements, as well as a violation of their ratio in diets, leads to a decrease in the efficiency of nutrient utilization of feed and, as a result, to a decrease in livestock productivity.

The study was conducted in the conditions of the State Enterprise "Radekhivske" in the Lviv region, Chervonohrad district. There were 3 groups of piglets, 14 animals in each group. The first group (I, control) received standard feed and milk replacer, the second (II, experimental) – standard feed with the addition of 1.5 g/l of *Saccharomyces cerevisiae* yeast to the milk replacer and Cu citrate in the amount of 10 μg Cu/kg bw, and the third (III, experimental) with the addition of 1.5 g/l of *Saccharomyces cerevisiae* yeast + Cu citrate in the amount of 20 μg Cu/kg b.w. Both control and experimental groups recorded growth and development indicators at 5-, 14- and 28-days of life. At the end of the experiment, namely on day 28, the live weight of piglets and average daily gain were determined. Blood samples were taken from piglets of all groups at 5-, 14- and 28-day of age for hematological studies. The number of erythrocytes and leukocytes, hemoglobin and hematocrit in whole blood was determined using an automatic hematology analyzer.

The use of *Saccharomyces cerevisiae* yeast and Cu citrate in piglets improved hematopoiesis, natural resistance and increased average daily body weight gain by 6.0%. The administration of *Saccharomyces cerevisiae* yeast and Cu citrate to piglets regulates the processes of leukemia and hematopoiesis by increasing the number of leukocytes, lymphocytes ($P<0.05$), erythrocytes ($P<0.05$), lymphocytes ($P<0.05$), monocytes and granulocytes.

Key words: piglets, blood, yeast SACCHAROMUSES CEREVISIAE, Cu citrate, hematopoiesis, productivity.

УДК 577:[636.09:612.43]
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.2

Ірина Зіновіївна Гложик,
кандидат біологічних наук, доцент кафедри біохімії та гігієни
Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського, Україна
orcid.org/0000-0002-5467-9229, e-mail: glozyk.ira@gmail.com

ТИРЕОЇДНИЙ СТАТУС ТА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЛІПІДНОГО СПЕКТРА КРОВІ ТА ВМІСТОМ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ БІОЕЛЕМЕНТІВ У КРОВІ ЩУРІВ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ОЖИРІННІ, ЙОДОДЕФІЦИТІ ТА ОЖИРІННІ У ПОЄДНАННІ З ЙОДОДЕФІЦИТОМ

Анотація. Результати досліджень останніх років вказують на те, що темпи зростання ожиріння у деяких країнах сповільнились, проте, увага до проблеми ожиріння не вщухає. Збільшується кількість досліджень, присвячених можливим взаємодіям між ожирінням та іншими захворюваннями, зв'язку між ожирінням, фізіологією та патофізіологією різних органів і тканин тіла. Також, багато уваги приділяється дослідженню впливу мінералів на ожиріння. Зокрема, важливо з'ясувати взаємозв'язок між вмістом есенціальних біоелементів, показниками ліпідного профілю, тиреоїдним статусом та надлишковою масою тіла у тварин з ожирінням та ожирінням на тлі йододефіциту. Метою роботи було дослідження тиреоїдного гомеостазу, взаємозв'язку між показниками ліпідного спектра крові та вмістом есенціальних біоелементів у крові щурів за експериментального ожиріння, йододефіциту та поєднання ожиріння та йододефіциту. У тварин дослідних груп виявлено збільшення вмісту ТАГ, ЛПНЩ, зниження вмісту ЛПВЩ. Найбільш вираженими були ці зміни у тварин з ожирінням у поєднанні з йододефіцитом. У тварин дослідних груп виявлено незначні зміни вмісту Міді та Заліза у еритроцитарній масі, та вірогідне зниження вмісту Магнію та Цинку. Найбільші відмінності вмісту даних показників по відношенню до контролю виявлені у групі тварин з ожирінням. Щодо показників тиреоїдного гомеостазу, то у тварин дослідних груп виявлено збільшення вмісту ТТГ та зниження вмісту Т3 та Т4. Найбільш вираженими були зміни цих показників у тварин з йододефіцитом.

Взаємозв'язок між даними показниками вказує на їх взаємозалежність, а отже, контроль за масою тіла та балансом есенціальних мікроелементів важливий для зменшення ризику розвитку гепатозів та серцево-судинних захворювань.

Ключові слова: сироватка крові, тиреотропний гормон, тироксин, ліпопротеїни, макроелементи.

ВСТУП

Доволі поширеною патологією сьогодення є ожиріння. Це складна проблема, спричинена різними факторами, зокрема поведінковими, соціокультурними та генетичними [1]. Гени, пов'язані з ожирінням, а також надлишок так ектопічна локалізація жиру, беруть участь у регуляції споживання енергії, ліпідного обміну, адипогенезу, термогенезу, синтезу адипокінів і факторів транскрипції, а відтак, можуть призводити до негативної регуляції специфічних метаболічних шляхів і сприяти виникненню та розвитку супутніх захворювань і ускладнень [2, 3]. Ожиріння спричинене не особистим вибором, а скоріше відносинами між людиною та її оточенням. Таким

чином, надмірна вага та ожиріння є результатом взаємодії між генетичними факторами та факторами навколишнього середовища [4].

Ожиріння є не лише результатом дисбалансу між кількістю спожитих та витрачених калорій, а також може мати медичні причини, а саме, може бути наслідком такого захворювання, як гіпотиреоз. Гіпотиреоз на теперішній час є досить поширеним захворюванням, яке пов'язане з тривалою, стійкою недостатністю гормонів щитоподібної залози, або ж, з дефіцитом їх біологічного ефекту на тканинному рівні. Нестача Йоду зумовлює розвиток йододефіцитних станів, і, як наслідок, може призвести до гіпотиреозу. Ендокринні патології можуть бути як наслідком, так і причиною ожиріння [5].

Результати досліджень останніх років вказують на те, що темпи зростання ожиріння у деяких країнах сповільнились, проте, увага до проблеми ожиріння не вщухає. Збільшується кількість досліджень, присвячених можливим взаємодіям між ожирінням та іншими захворюваннями, зв'язку між ожирінням, фізіологією та патофізіологією різних органів і тканин тіла. Також, багато уваги приділяється дослідженню впливу мінералів на ожиріння. Зокрема, важливо з'ясувати взаємозв'язок між вмістом есенціальних біоелементів, показниками ліпідного профілю, тиреоїдним статусом та надлишковою масою тіла у тварин з ожирінням та ожирінням на тлі йододефіциту [6,7].

Метою роботи було дослідження тиреоїдного гомеостазу, взаємозв'язку між показниками ліпідного спектра крові та вмістом есенціальних біоелементів у крові щурів за експериментального ожиріння, йододефіциту та поєднання ожиріння та йододефіциту.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження проведено на 60 білих нелінійних щурах масою 120–180 г, поділені на чотири групи: інтактні тварини (контрольна група, n = 15), тварини з ожирінням, (1-а дослідна група, n=15), тварини з набутим йододефіцитом, (2-га дослідна група), тварини з ожирінням у поєднанні з йододефіцитом, (3-я дослідна група). Розвиток йододефіциту моделювали за допомогою спеціальної дієти. Для моделювання ожиріння тварин утримували на висококалорійній дієті.

Утримання тварин та експерименти проводилися відповідно до положень «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментів та інших наукових цілей» (Страсбург, 2005), Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (2006, ст. 26), «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених П`ятим національним конгресом з біоетики (Київ, 2013). Евтаназію здійснювали шляхом декапітації під кетаміновим наркозом (100 мг/кг маси тіла).

Ліпідний спектр сироватки крові оцінювали за вмістом загального холестерину (ХС), ліпопротеїнів високої щільності (ЛПВЩ), ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ), триацилгліцеридів (ТАГ) і обчислювали коефіцієнт атерогенності (КА) [8].

Вміст Цинку, Магнію, Міді та Заліза визначали в еритроцитарній масі щурів методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі SPECORD M 40 (Німеччина).

Для оцінки тиреоїдного статусу тварин визначали вміст вільних трийодтироніну (Т3) та тироксину (Т4), тиреотропного гормону (ТТГ) у сироватці крові методом

імуноферментного аналізу на аналізаторі ER-500 Sinnowa, (Китай) з використанням стандартного набору реактивів адаптованого для тварин (щурів) «ELISA» (Elabscience, США) з наступним обчисленням індексів Т3/Т4 та ТТГ/Т4.

Отримані дані опрацьовані статистично за допомогою програмного забезпечення Excel (“Microsoft”, США) і Statisticav.10.1. (“Statsoft”, США), методом варіаційної статистики з використанням U-критерію Манна–Уітні та критерію Стьюдента. Статистично достовірно вважали різницю при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

Щодо досліджень вмісту макроелементів, виявлено, що показники вмісту Магнію у тварин з ожирінням нижчі на 33,24% порівняно з показниками контрольної групи (табл. 1). У тварин з йододефіцитом вміст даного макроелементу в еритроцитарній масі нижчий на 15,01% порівняно до контролю, а у тварин з ожирінням у поєднанні з йододефіцитом на 32,85%. У групі тварин з ожирінням виявлено незначне збільшення вмісту Міді. Даний показник перевищує контроль на 12,23%. Між показниками другої, третьої дослідних груп та контролем не було виявлено істотних відмінностей. Вміст Цинку, у тварин 1-ї та 2-ї та 3-ї дослідних груп він нижчий порівняно з контролем на 32,2%, 17,21% та 36,89% відповідно.

Щодо вмісту Заліза, то у 1-й, 2-й та 3-й дослідних групах він нижчий по відношенню до контролю на 18,77%, 6,77% та 21,85% відповідно.

Дослідження виявили, що у тварин першої дослідної групи рівень холестеролу був на 60% вищий по відношенню до контролю, вміст ТАГ перевищував контроль на 45% (рис. 1). Рівень ЛПНЩ перевищував контроль на 58%, а вміст ЛПВЩ знизився на 52% порівняно з вмістом ЛПВЩ інтактних тварин. У тварин другої дослідної групи вміст холестеролу перевищував контроль на 42%, вміст ТАГ на 48%, вміст ЛПНЩ на 54% перевищував даний показник контрольної групи, а вміст ЛПВЩ був нижчий по відношенню до контролю на 59%. У тварин третьої дослідної групи виявлено підвищення рівня холестеролу на 65% по відношенню до контролю, вміст ТАГ зріс на 52%, ЛПНЩ перевищували контроль на 60%, а ЛПВЩ знизились по відношенню до контролю на 61%.

Таблиця 1

Вміст макро- та мікроелементів у еритроцитах щурів з ожирінням, йододефіцитом та ожирінням у поєднанні з йододефіцитом (M ± m)

Група тварин	Магній, мкг/г	Мідь, мкг/г	Цинк, мкг/г	Залізо, мкг/г
Контрольна (інтактні тварини, n = 15)	38,24 ± 3,45	1,39 ± ,11	3,66 ± 0,29 p < 0,05	32.5±2,40
Дослідна (тварини з ожирінням, n = 15)	25,53 ± 1,70 p < 0,01	1,56 ± 0,03 p < 0,05	2,48 ± 0,19 p < 0,05	26,4±1,95
Дослідна (тварини з йододефіцитом, n = 15)	32,5±3,42 p < 0,01	1,35±0,03	3,03±0,09	30,3±2,32
Дослідна (тварини з ожирінням у поєднанні з йододефіцитрм, n = 15)	25,68±1,66 p < 0,01	1,46±0,02 p < 0,05	2,31±0,12 p < 0,05	25,4±1,88 p < 0,05

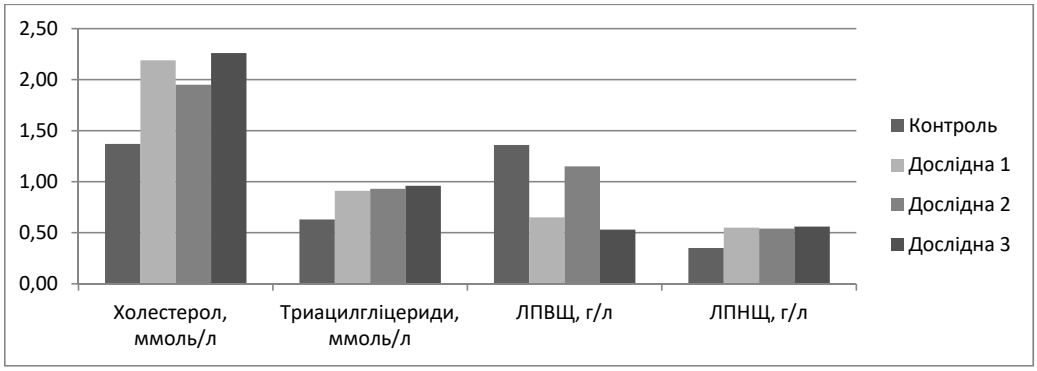


Рис. 1. Показники ліпідного спектра крові щурів із ожирінням, йододефіцитом та з ожирінням у поєднанні з йододефіцитом (M ± m)

Показники тиреоїдного профілю у тварин контрольної групи відповідали референтними значенням для інтактних тварин. Тиреоїдний гомеостаз у щурів цієї групи не зазнав змін.

У тварин 1-ї дослідної групи виявили збільшення у сироватці крові вмісту ТТГ на 20,3% ($p<0,05$). У сироватці крові щурів 2-ї дослідної групи (за умов йододефіцитної дієти) встановили зменшення вмісту Т3 на 33,1% ($p<0,001$) та Т4 – на 35,8% ($p<0,001$) щодо аналогічних показників у інтактних тварин. Такі зміни виявлені на тлі суттєвого зростання рівня ТТГ у сироватці крові на 50,8% ($p<0,001$).

У результаті статистичного аналізу показників тиреоїдного статусу щурів 3-ї дослідної групи виявили зменшення рівня Т3 на 25,3% ($p<0,001$), Т4 – на 20,9% ($p<0,01$) у сироватці крові щодо даних у контрольній групі. Такі зміни показників функціональної здатності щитоподібної залози супроводжувались збільшенням вмісту ТТГ на 63,5% ($p<0,01$).

При дослідженні вмісту мінеральних елементів у еритроцитарній масі, виявлено, що вміст Міді у твари дослідних груп суттєво не відрізняється від контролю. Щодо вмісту Заліза, то більш вираженими є відмінності між тваринами третьої дослідної групи порівняно з тваринами контрольної групи. Незначне зменшення вмісту даного макроелементу в еритроцитарній масі тварин контрольних груп, ймовірно, можна пояснити посиленням процесів вільнорадикального окиснення, зумовленого розвитком ожиріння, і як наслідок, ймовірним руйнуванням гемопротеїдів [9]. З посиленням окисного стресу корелює і незначне збільшення вмісту Міді у еритроцитах крові тварин контрольних груп, оскільки Мідь є кофактором великої кількості різних ферментів, зокрема тих, котрі проявляють антиоксидантну дію [10]. Вміст Цинку у тварин дослідних груп був дещо нижчий порівняно з даним показником у контрольних тварин. Ймовірно зниження вмісту Цинку можна пояснити тим, що експресія гена Zn-a2-глікопротеїну (ZAG) нижча в підшкірній і вісцеральній жировій тканині та печінці людей із ожирінням, що може відігравати важливу роль у розвитку ожиріння [11].

З літературних джерел відомо, що мінерали можуть змінювати склад кишкової мікробіоти, кишкову бар'єрну функцію, клітинний транспорт глюкози та ендокринний контроль метаболізму глюкози, що може бути пов'язано з виникненням

і розвитком ожиріння [12]. Залізо, Цинк, Мідь відіграють важливу роль у клітинному метаболізмі, а їхні окисно/антиоксидантні функції можуть бути залучені до механізму ожиріння [13].

Найбільш суттєві відмінності по відношенню до контролю виявлено щодо показників вмісту Цинку та Магнію у тварин з ожирінням та ожирінням у поєднанні з йододефіцитом. Зниження вмісту Магнію корелює з даними літератури про те, що іони Магнію виступають есенційними кофакторами багатьох ферментів, які беруть участь в обміні вуглеводів і жирів, а низький його рівень підвищує індекс атерогенності, що є фактором аліментарного ожиріння [14, 15]. Магній бере участь у регуляції функцій клітин серцево-судинної, нервової, ендокринної та ендотеліальної систем. А саме, бере участь у регуляції м'язового скорочення, регулює інтенсивність метаболічних процесів серцевого м'язу, стабілізує серцевий ритм. Зниження концентрації макроелемента може супроводжуватися звуженням судин. Магній є кофактором багатьох ферментів, відіграє важливу роль у метаболізмі лецитину і ліпопротеїнліпази. Відомо, що за тривалого застосування препаратів магнію достовірно знижується рівень ТГ, ЛПНЩ, підвищується рівень ЛПВЩ [16].

Щодо показників ліпідного профілю, то концентрація ТАГ може збільшуватись через зростання концентрації вільних жирних кислот. Разом з тим, спостерігаємо зниження вмісту ЛПВЩ у сироватці крові тварин дослідних груп. Зменшення вмісту ЛПВЩ та збільшення вмісту ТАГ асоціюється з порушенням енергетичного та ліпідного гомеостазу в організмі та, як наслідок, підвищеним ризиком розвитку серцево-судинних патологій [17]. Оскільки ЛПВЩ забезпечують зворотний транспорт холестерину у печінку, і тим самим запобігають відкладенню ліпідів у атеросклерозних бляшках судин, їх зниження у тварин з ожирінням може характеризувати ризик розвитку атеросклерозу. Разом з тим, у тварин дослідних груп зростає вміст ЛПНЩ. Вони легко проникають через клітинну мембрану та можуть відкладатись у стінках судин [18]. Оскільки, печінка бере активну участь у метаболізмі жирів, ймовірно, дані зміни можуть вказувати на розвиток порушень метаболізму гепатоцитів.

Аналізуючи тиреоїдний гомеостаз, нами виявлено, що у тварин з ожирінням зміни тиреоїдного статусу не були суттєвими.

У тварин з набутим йододефіцитом закономірно виявили зменшення йодовмісних гормонів щитоподібної залози на тлі зростання ТТГ. У щурів з ожирінням у поєднанні з набутим йододефіцитом зміни тиреоїдного статусу були дещо більш вираженими, ніж у тварин другої дослідної групи. Відомо, що щитоподібній залозі властива субкомпенсаторна здатність при нетривалому перебуванні тварин на йододефіцитній дієті, яка, ймовірно, слабше виражена, коли дефіцит йоду поєднаний з ожирінням. А це, відповідно, супроводжується більш глибокими порушеннями тиреоїдного гомеостазу.

Гормони щитоподібної залози є важливими регуляторами метаболізму, і навпаки, метаболізм змінює систему гіпоталамо-гіпофізарно-тиреоїдної периферичної активації/інактивації ефекту тиреоїдних гормонів. Механізми впливу змін енергетичного балансу на функцію щитоподібної залози є складними, і відомий лише частково [19]. Патологічне ожиріння призводить до підвищення ТТГ, що у складній системі гіпоталамічної регуляції може бути зумовлено активацією гіпоталамічних центрів лептином, що виділяється з адипоцитів жирової тканини при надмірній вазі [20–22]. Існує складна взаємодія між гормонами щитоподібної залози та жировою тканиною, де

ТТГ і гормони щитоподібної залози можуть брати участь у диференціації адипоцитів і регуляції ліполізу, тоді як різні цитокіни адипоцитів можуть взаємодіяти з віссю гіпоталамус-гіпофіз-щитоподібна залоза [23–25].

ВИСНОВКИ

Ожиріння та ожиріння у поєднанні з набутим йододефіцитом негативно впливають на ліпідний спектр крові, рівень есенціальних біоелементів та зумовлюють зміни тиреоїдного гомеостазу.

У тварин дослідних груп виявлено збільшення вмісту ТАГ, ЛПНЩ, зниження вмісту ЛПВЩ. Найбільш вираженими були ці зміни у тварин з ожирінням у поєднанні з йододефіцитом. У тварин дослідних груп виявлено незначні зміни вмісту Міді та Заліза у еритроцитарній масі, та вірогідне зниження вмісту Магнію та Цинку. Найбільші відмінності вмісту даних показників по відношенню до контролю виявлені у групі тварин з ожирінням. Щодо показників тиреоїдного гомеостазу, то у тварин дослідних груп виявлено збільшення вмісту ТТГ та зниження вмісту Т3 та Т4. Найбільш вираженими були зміни цих показників у тварин з йододефіцитом. Взаємозв'язок між показниками вказує на їх взаємозалежність, а отже, контроль за масою тіла та балансом есенціальних мікроелементів важливий для зменшення ризику розвитку гепатозів та серцево-судинних захворювань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Loos R.J.F., Yeo G.S.H. The genetics of obesity: from discovery to biology. *Nat Rev Genet*. 2022. 23. 120–133. doi: 10.1038/s41576-021-00414-z.
2. Sarni R.O.S., Kochi C., Suano-Souza F.I. Childhood obesity: an ecological perspective. *J Pediatr (Rio J).* 2022. 98 Suppl 1(Suppl 1). S38–S46. Epub 2021/11/16. doi: 10.1016/j.jped.2021.10.002.
3. Cuda S.E., Censani M. Pediatric Obesity Algorithm: A Practical Approach to Obesity Diagnosis and Management. *Front Pediatr.* 2018. 6. 431. Epub 2019/02/08. doi: 10.3389/fped.2018.00431.
4. Duarte MKRN, Leite-Lais L., Agnez-Lima L.F., Maciel B.L.L., Morais A.H.A. Obesity and Nutrigenetics Testing: New Insights. Nutrients. Feb 23. 2024. 16(5). 607. doi: 10.3390/nu16050607. PMID: 38474735; PMCID: PMC10934888.
5. Nyrnes A., Jorde R., Sundsfjord J. Serum TSH is positively associated with BMI. *Int J Obes.* 2006. 30. 100–105. doi: 10.1038/sj.ijo.0803112.
6. Wang L., Liu W., Bi S., Zhou L., Li L. Association between minerals intake and childhood obesity: A cross-sectional study of the NHANES database in 2007–2014. PLoSOne. Dec27. 18(12). e0295765.2023. doi: 10.1371/journal.pone.0295765. PMID: 38150411; PMCID: PMC10752540.
7. Weigle D.S. Pharmacological therapy of obesity: past, present, and future J Clin Endocrinol Metab. 2003. 88. 2462–2469.
8. Voronych-Semchenko N.M. Correlation of thyroid status withindexes of lipid metabolism and thelevel of psycho-physiologicdevelopment of children with latenthypo-thyrosis. *Journal of Physiologic.* 2008. 54(3). 64–7).
9. Yiannikourides A., Latunde-Dada G.O. A Short Review of Iron Metabolism and Pathophysiology of Iron Disorders. *Medicines (Basel).* 2019. 6(3). Epub 2019/08/08. doi: 10.3390/medicines6030085.
10. Ruiz C., Alegria A., Barbery R., Farré R., Lagarda J. Selenium, zinc and copper in plasma

of patients with type 1 diabetes mellitus in different metabolic control states. *J Trace Elem Med Biol*. 2009. 12(2). 91–5.
11. Marrades M.P., Martínez J.A., Moreno-Aliaga M.J. ZAG, a lipid mobilizing adipokine, is downregulated in human obesity. *J Physiol Biochem*. Mar. 2008. 64(1). 61–6. doi: 10.1007/BF03168235. PMID: 18663996.
12. Dubey P., Thakur V., Chattopadhyay M. Role of Minerals and Trace Elements in Diabetes and Insulin Resistance. *Nutrients*. 2020. 12(6). Epub 2020/06/27. doi: 10.3390/nu12061864.
13. Chade A.R., Hall John E. Role of the renal microcirculation in progression of chronic kidney injury in obesity. *American Journal of Nephrology*; 2016. 44(5). 354–67.
14. Ma J., Xie Y., Zhou Y., Wang D., Cao L., Zhou M., et al. Urinary copper, systemic inflammation, and blood lipid profiles: Wuhan-Zhuhai cohort study. *Environ Pollut.* 2020. 267. 115647. Epub 2020/12/02. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115647.
15. Wang T., Wang L., Ma N., Gu S., Jiang D., Li J., et al. Whole-blood magnesium and blood lipids are individually and jointly associated with an elevated likelihood of youngsters being overweight or obese: A matched case-control study using the propensity score. *Nutrition*. 2022. 93. 111425. Epub 2021/09/05. doi: 10.1016/j.nut.2021.111425.
16. Hruby A., O'Donnell C.J., Jacques P.F., Meigs J.B., Hoffmann U., McKeown NM.Magnesium intake is inversely associated with coronary artery calcification: the framingham heart study. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2014. 7(1). 59–69.
17. Peng R., Li Y. Low serum thyroid-stimulating hormone levels are associated with lipid profile in depres-sive patients with long symptom duration. *Journal of Affective Disorders*. 2017. 217. 99–104.
18. Blundell J.E., Baker J.L., Boyland E., Blaak E., Charzewska J., de Henauw S. et al. Variations in the Preva-lence of Obesity Among European Countries, and a Consideration of Possible Causes. *Obes Facts*. 2017. Mar. 10(1). 25–37.
19. Lechan R.M., Fekete C. Central mechanisms of thyroid hormone regulation. *Am J Psychiatry*. 2006. 163. 1492. doi: 10.1176/ajp.2006.163.9.1492.
20. Reiner T. Obesity and thyroid function. *Mol Cell Endocrinol*. 2010. 316. 165–171. doi: 10.1016/j.mce.2009.06.005.
21. Biondi B. Thyroid and obesity: an intriguing relationship. *J Clin Endocrinol Metab*. 2010. 95. 3614–3617. doi: 10.1210/jc.2010-1245.
22. Rotondi M., Magri F., Chiovato L. Thyroid and obesity: not a one-way interaction. *J Clin Endocrinol Metab*. 2011. 96. 344–346. doi: 10.1210/jc.2010-2515.
23. Obregon M.J. Thyroid hormone and adipocyte differentiation. *Thyroid.* 2008. 18. 185–195. doi: 10.1089/thy.2007.0254.
24. Endo T., Kobayashi T. Expression of a functional TSH receptor in white adipose tissue of hyt/hyt mice induces lipolysis in vivo. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2012. 302. 1569–1575. doi: 10.1152/ajpendo.00572.2011.
25. Sainsbury A., Zhang L. The role of the hypothalamus in the neuroendocrine regulation of body weight and composition during energy deprivation. *Obes Rev*. 2012. 13. 234–257. doi: 10.1111/j.1467-789X.2011.00948.x.

REFERENCES

1. Loos, R. J. F., & Yeo, G. S. H. (2022). The genetics of obesity: from discovery to biology. *Nat Rev Gene,* 23, 120–133. doi: 10.1038/s41576-021-00414-z.
2. Sarni, R. O. S., Kochi, C., & Suano-Souza, F. I. (2022). Childhood obesity: an ecological perspective. *J Pediatr (Rio J)*, 98 (Suppl 1), S38–S46. Epub 2021/11/16. doi: 10.1016/j.jped.2021.10.002 .

3. Cuda, S. E., & Censani, M. (2018). Pediatric Obesity Algorithm: A Practical Approach to Obesity Diagnosis and Management. *Front Pediatr*., 6, 431. Epub 2019/02/08. doi: 10.3389/fped.2018.00431.
4. Duarte, M. K. R. N., Leite-Lais, L., Agnez-Lima, L. F., Maciel, B. L. L., & Morais, A. H. A. (2024). Obesity and Nutrigenetics Testing: New Insights. Nutrients. Feb 23, 16(5), 607. doi: 10.3390/nu16050607. PMID: 38474735; PMCID: PMC10934888
5. Nyrnes, A., Jorde, R., & Sundsfjord, J. (2006).Serum TSH is positively associated with BMI. *Int J Obes*., 30, 100–105. doi: 10.1038/sj.ijo.0803112.
6. Wang, L., Liu, W., Bi, S., Zhou, L., & Li, L. (2023). Association between minerals intake and childhood obesity: A cross-sectional study of the NHANES database in 2007-2014. PLoS One. Dec 27, 18(12), e0295765. doi: 10.1371/journal.pone.0295765. PMID: 38150411; PMCID: PMC10752540.
7. Weigle, D.S. (2003).Pharmacological therapy of obesity: past, present, and future. *J Clin Endocrinol Metab.* 88, 2462–2469.
8. Voronych-Semchenko, NM. (2008).Correlation of thyroid status withindexes of lipid metabolism and thelevel of psycho-physiologicdevelopment of children with latenthypo-thyrosis. *Journal of Physiologic*.; 54(3), 64–7).
9. Yiannikourides, A., & Latunde-Dada, G.O. (2019). A Short Review of Iron Metabolism and Pathophysiology of Iron Disorders. *Medicines (Basel).,* 6(3). Epub 2019/08/08. doi: 10.3390/medicines6030085.
10. Ruiz, C., Alegria, A., Barbery, R., Farré, R., & Lagarda, J. (2009). Selenium, zinc and copper in plasma of patients with type 1 diabetes mellitus in different metabolic control states. *J Trace Elem Med Biol.;* 12(2), 91–5.
11. Marrades, M. P., Martínez, J. A., & Moreno-Aliaga, M. J. (2008). ZAG, a lipid mobilizing adipokine, is downregulated in human obesity. J Physiol Biochem. Mar, 64(1), 61–6. doi: 10.1007/BF03168235. PMID: 18663996.
12. Dubey, P., Thakur, V., & Chattopadhyay, M. (2020). Role of Minerals and Trace Elements in Diabetes and Insulin Resistance. *Nutrients*., 12(6). Epub 2020/06/27. doi: 10.3390/nu12061864.
13. Chade, A. R., & Hall, J. E. (2016). Role of the renal microcirculation in progression of chronic kidney injury in obesity. *American Journal of Nephrology*, 44(5), 354–67.
14. Ma, J, Xie, Y, Zhou, Y, Wang, D, Cao, L, Zhou, M, et al. (2020). Urinary copper, systemic inflammation, and blood lipid profiles: Wuhan-Zhuhai cohort study. Environ Pollut., 267, 115647. Epub 2020/12/02. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115647.
15. Wang, T., Wang, L., Ma, N., Gu, S., Jiang, D., & Li, J., et al. (2022).Whole-blood magnesium and blood lipids are individually and jointly associated with an elevated likelihood of youngsters being overweight or obese: A matched case-control study using the propensity score. *Nutrition*., 93, 111425. Epub 2021/09/05. doi: 10.1016/j.nut.2021.111425.
16. Hruby, A., O'Donnell, C. J., Jacques, P. F., Meigs, J. B., Hoffmann, U., & McKeown, N. M. (2014). Magnesium intake is inversely associated with coronary artery calcification: the framingham heart study. *JACC Cardiovasc Imaging*., 7(1), 59–69.
17. Peng, R., & Li, Y. (2017). Low serum thyroid-stimulating hormone levels are associated with lipid profile in depres-sive patients with long symptom duration. *Journal of Affective Disorders*., 217, 99–104.
18. Blundell, J.E., Baker, J.L., Boyland, E., Blaak, E., Charzewska, J., de Henauw, S. et al. (2017). Variations in the Preva-lence of Obesity Among European Countries, and a Consideration of Possible Causes. *Obes Facts*., Mar, 10(1), 25–37.
19. Lechan, R.M., & Fekete, C. (2006). Central mechanisms of thyroid hormone regulation. *Am J Psychiatry*, 163, 1492. doi: 10.1176/ajp.2006.163.9.1492.

20. Reiner, T. (2010). Obesity and thyroid function. Mol Cell Endocrinol., 316, 165–171. doi: 10.1016/j.mce.2009.06.005.
21. Biondi, B. (2010). Thyroid and obesity: an intriguing relationship. *J Clin Endocrinol Metab*., 95, 3614–3617. doi: 10.1210/jc.2010-1245.
22. Rotondi, M., Magri, F., & Chiovato, L. (2011). Thyroid and obesity: not a one-way interaction. *J Clin Endocrinol Metab*., 96, 344–346. doi: 10.1210/jc.2010-2515.
23. Obregon, M.J. (2008). Thyroid hormone and adipocyte differentiation. *Thyroid*., 18, 185–195. doi: 10.1089/thy.2007.0254.
24. Endo, T., & Kobayashi, T. (2012). Expression of a functional TSH receptor in white adipose tissue of hyt/hyt mice induces lipolysis in vivo. *Am J Physiol Endocrinol Metab*., 302, 1569–1575. doi: 10.1152/ajpendo.00572.2011.
25. Sainsbury, A., & Zhang, L. (2012). The role of the hypothalamus in the neuroendocrine regulation of body weight and composition during energy deprivation. *Obes Rev.,*13, 234–257. doi: 10.1111/j.1467-789X.2011.00948.x.

ABSTRACT

THYROID STATUS AND THE RELATIONSHIP BETWEEN BLOOD LIPID SPECTRUM PARAMETERS AND THE CONTENT OF ESSENTIAL BIOELEMENTS IN THE BLOOD OF RATS WITH EXPERIMENTAL OBESITY, IODINE DEFICIENCY AND OBESITY COMBINED WITH IODINE DEFICIENCY

Recent research has shown that the rate of obesity has slowed in some countries, but attention to the problem of obesity continues to grow. There is an increasing amount of research on the possible interactions between obesity and other diseases, the relationship between obesity, physiology and pathophysiology of various organs and tissues of the body. Also, much attention is paid to the study of the influence of minerals on obesity. In particular, it is important to clarify the relationship between the content of essential bioelements, lipid profile indicators, thyroid status and excess body weight in animals with obesity and obesity on the background of iodine deficiency. The aim of the work was to study thyroid homeostasis, the relationship between blood lipid spectrum indicators and the content of essential bioelements in the blood of rats with experimental obesity, iodine deficiency and a combination of obesity and iodine deficiency. The aim of the work was to study thyroid homeostasis, the relationship between blood lipid spectrum indicators and the content of essential bioelements in the blood of rats with experimental obesity, iodine deficiency and a combination of obesity and iodine deficiency. In animals of the experimental groups, an increase in the content of TAG, LDL, and a decrease in the content of HDL were found. These changes were most pronounced in animals with obesity in combination with iodine deficiency. In animals of the experimental groups, slight changes in the content of Copper and Iron in the erythrocyte mass were found, and a probable decrease in the content of Magnesium and Zinc. The largest differences in the content of these indicators in relation to the control were found in the group of animals with obesity. As for the indicators of thyroid homeostasis, in animals of the experimental groups, an increase in the content of TSH and a decrease in the content of T3 and T4 were found. The changes in these indicators were most pronounced in animals with iodine deficiency. The relationship between these indicators indicates their interdependence, and therefore, control of body weight and the balance of essential microelements is important for reducing the risk of developing hepatoses and cardiovascular diseases.

Key words: blood serum, thyroid-stimulating hormone, thyroxine, lipoproteins, trace elements.

УДК 598.2
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.3

Ольга Вікторівна Паламаренко,
кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри лісівництва
Національний лісотехнічний університет України, Україна
orcid.org/0000-0002-1712-9295, e-mail: olgapal1982@gmail.com

Ельвіра Миколаївна Різун,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісівництва
Національний лісотехнічний університет України, Україна
orcid.org/0000-0002-0797-1681, e-mail: rizun_elia@ukr.net

ОРНІТОФАУНА ЩИРЕЦЬКОГО ВОДОСХОВИЩА НА ЛЬВІВЩИНІ: РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ 2024–2025 РОКІВ

Анотація. У цій публікації ми надаємо актуальну інформацію про перелік видів птахів, які характерні для Щирецького водосховища. Ця водойма розташована в південно-західній околиці Львова та належить до басейну Дністра. Відома водойма широкому загалу, як озеро Глинна Наварія. Фауна водойми досі вивчена фрагментарно. Даних щодо видового різноманіття різних груп хребетних тварин у літературних джерелах немає. Інформація про видове різноманіття птахів водосховища у XX столітті та на початку XXI століття також практично відсутня. Зважаючи на це, протягом 2024 року нами було проведено 36 обліки птахів, у 2025 році проведено чотири обліки. Спостереження охоплюють усі сезони, здійснені вони з березня 2024 року по березень 2025 року включно. Вивчені ділянки з високим рекреаційним навантаженням та мало відвідувані місця по периметру водойми. Окремі дані щодо орнітофауни наводимо для 20-річного періоду наших спостережень. Завдяки регулярним дослідженням 2024–2025 рр., було встановлено, що на водоймі та в зелених насадженнях довкола трапляється 48 видів птахів. Із них 15 видів тісно пов'язані із водно-болотними угіддями – мають тут гніздові біотопи чи живляться. 28 виявлених видів – це Горобцеподібні. Вони трапляються у зелених насадженнях довкола водойми. Лелекоподібні представлені п'ятьма видами. Важливою умовою поширення для птахів є доволі різноманітне середовище і хвилястий рельєф берегової лінії. Водойму оточують сільгоспугіддя, дачні забудови, сільські домогосподарства, рекреаційні та спортивні об'єкти. Довкола водосховища, ще у радянську добу, були створені насадження декоративних та плодових дерев і чагарників. Це сприяє мозаїчності берегової лінії, покращує гніздові біотопи і кормову базу. Практично усі локації довкола водосховища мають занедбаний вигляд, що для птахів є певною перевагою. Вони можуть благополучно завершувати гніздовий період, живитися, знаходити укриття. Однак, антропогенний чинник на водосховищі все ж має вагомий вплив і потребує подальшого вивчення для кожного виду птахів. Мова іде, в першу чергу, про погіршення якості води та присутність рекреантів.

Ключові слова: птахи, поширення, гніздування, зимівля, водосховище.

ВСТУП

Станом на 1994 рік для Львова облікували 197 видів птахів. У період 2006–2018 рр. відомо про 84 гніздові види. На територіях прилеглих до Львова птахи вивчені дещо менше [1–3, 5, 8, 9].

Наші орнітологічні спостереження стосуються окремих ділянок Львова та південної околиці міста. Так, за період 2010–2023 рр. поблизу с. Солонка ми спостерігали 63 види птахів. З них 46 види – гніздові. Варто зазначити, що в басейні Щирецького водосховища, нами також здійснюються спостереження за фауною риб, амфібій та рептилій. В басейні річки Ковир (околиці с. Липники) через деградацію нерестилища суттєво скоротилася чисельність трав'яної жаби (*Rana temporaria*) та ропухи звичайної (*Bufo bufo*) [6-9]. Поряд із збідненням рибних ресурсів, цей чинник є вагомим для популяцій птахів іхтіофагів та батрахофагів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Метою роботи було вивчення видового різноманіття птахів Щирецького водосховища. Завдання: аналіз поширення птахів, вивчення гніздових та кормових біотопів, встановлення антропогенного впливу на місцеву орнітофауну.

Вивчення видового складу птахів проводили на маршрутах довкола Щирецького водосховища. Птахів визначали під час візуальних спостережень та за голосовою активністю. Аналізували фауну водно-болотних видів та птахів, які населяють різні біотопи у зелених насадженнях по периметру водойми.

Берегова лінія Щирецького водосховища є звивистою (рис. 1). Площа об'єкту становить 115 га. Сучасних обрисів водойма набула у 1954 році. Створене це водосховище для обслуговування Львівської ТЕЦ-1. В межах водозбору налічується дев'ять сіл. Практично повсюдно, довкола водойми є стежки, витоптані рекреантами та рибалками [4].

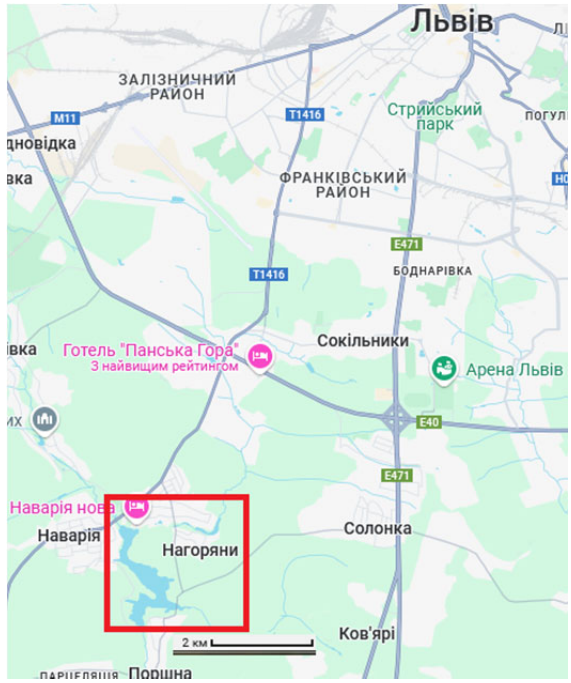


Рис. 1. Розташування Щирецького водосховища

По геоекології Щирецького водосховища у 2024 році опубліковано монографію, в якій проаналізовані рослинні угруповання, а також угруповання безхребетних гідробіонтів. Авторами вивчена гідрологія, антропогенне навантаження [4], однак фауна птахів та інших хребетних тварин залишилася поза увагою.

РЕЗУЛЬТАТИ

На рисунку наводимо дані щодо представленості окремих рядів птахів на водосховищі у 2024–2025 рр. Максимальний показник належить Горобцеподібним – 28 видів. П'ятьма видами представлені Лелекоподібні птахи.

Таксони птахів Щирецького водосховища наводимо у таблиці 1. Порівнюючи із даними для поруч розміщеного с. Солонка, отриманими впродовж 2010–2023 року, відмічаємо певні відмінності. Зокрема, для с. Солонка ми реєстрували 63 види птахів, тоді як на Щирецькому водосховищі у 2024–2025 рр. спостерігали лише за 48 видами птахів.

Види, які трапляються у с. Солонка (вул. Повятряна, басейн річки Ковир) та не виявлені на Щирецькому водосховищі: грак (*Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758), галка (*C. monedula* Linnaeus, 1758), дрізд-омелюх (*T. viscivorus* Linnaeus, 1758), дрізд співочий (*T. philomelos* Brehm, 1831), гаїчка-пухляк (*Poecile montanus* Baldenstein, 1827), гаїчка болотяна (*P. palustris* Linnaeus, 1758), синиця чорна (*Periparus ater* Linnaeus, 1758), синиця чубата (*Lophophanes cristatus* Linnaeus, 1758), синиця довгохвоста (*Aegithalos*

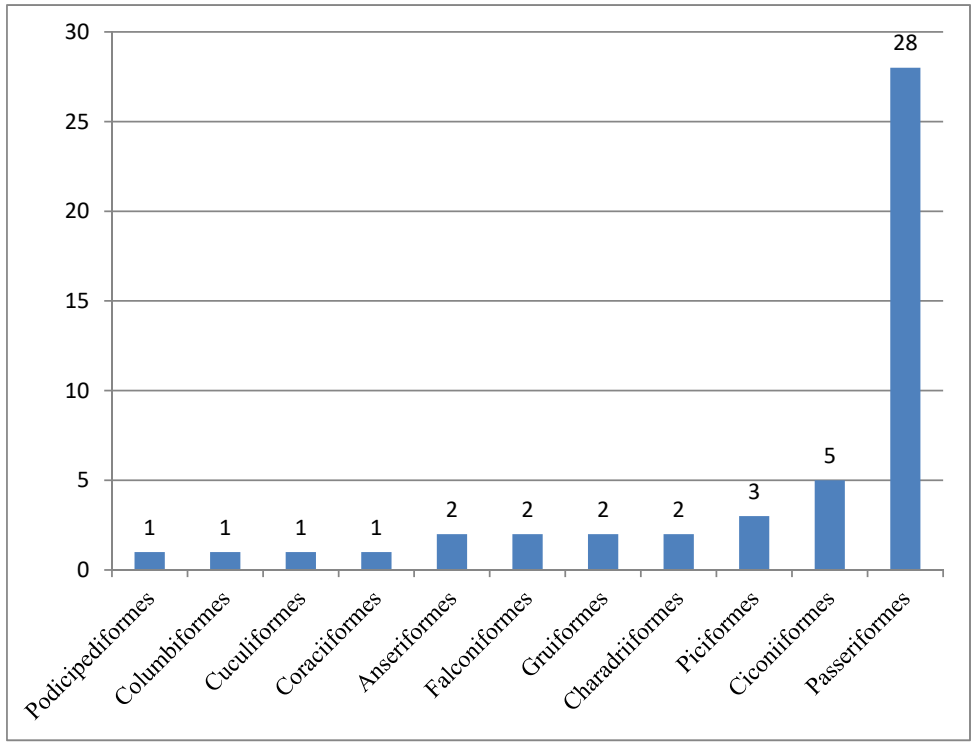


Рис. 2. Представленість родин птахів Щирецького водосховища (2024–2025 рр.)

Таблиця 1

Таксономічна характеристика орнітофауни Щирецького водосховища (2024–2025 рр.)

Ряд	Родина	Вид
1	2	3
Пірникозоподібні (*Podicipediformes*)	Пірникозові (*Podicipedidae*)	Пірникоза велика (*Podiceps cristatus* Linnaeus, 1758)
Лелекоподібні (*Ciconiiformes*)	Чаплеві (*Ardeidae*)	Чепура велика (*Egretta alba* Linnaeus, 1758)
		Чапля сіра (*Ardea cinerea* Linnaeus, 1758)
		Бугайчик (*Ixobrychus minutus* Linnaeus, 1766)
		Бугай (*Botaurus stellaris* Linnaeus, 1758)
	Лелекові (*Ciconiidae*)	Лелека білий (*Ciconia ciconia* Linnaeus, 1758)
Гусеподібні (*Anseriformes*)	Качкові (*Anatidae*)	Лебідь-шипун (*Cygnus olor* Gmelin, 1789)
		Крижень (*Anas platyrhynchos* Linnaeus, 1758)
Соколоподібні (*Falconiformes*)	Яструбові (*Accipitridae*)	Лунь очеретяний (*Circus aeruginosus* Linnaeus, 1758)
		Канюк звичайний (*Buteo buteo* Linnaeus, 1758)
Журавлеподібні (*Gruiformes*)	Пастушкові (*Rallidae*)	Курочка водяна (*Gallinula chloropus* Linnaeus, 1758)
		Лиска (*Fulica atra* Linnaeus, 1758)
Сивкоподібні *Charadriiformes*	Мартинові (*Laridae*)	Мартин звичайний *Chroicocephalus ridibundus* Linnaeus, 1758)
		Крячок річковий *Sterna hirundo* Linnaeus, 1758)
Голубоподібні (*Columbiformes*)	Голубові (*Columbidae*)	Припутень (*Columba palumbus* Linnaeus, 1758)
Зозулеподібні (Cuculiformes)	Зозулеві (*Cuculidae*)	Зозуля (*Cuculus canorus* Linnaeus, 1758)
Ракшеподібні (Coraciiformes)	Ракшеві (*Coraciidae*)	Рибалочка (*Alcedo atthis* Linnaeus, 1758)
Дятлоподібні (Piciformes)	Дятлові (*Picidae*)	Жовна чорна (*Dryocopus martius* Linnaeus, 1758)
		Дятел звичайний (*D. major* Linnaeus, 1758)
		Жовна сива (*Picus canus* Gmelin, 1788)
Горобцеподібні (Passeriformes)	Ластівкові (*Hirundinidae*)	Ластівка сільська (*Hirundo rustica* Linnaeus, 1758)
		Ластівка міська (*Delichon urbica* Linnaeus, 1758)
	Плискові (*Motacillidae*)	Плиска біла (*Motacilla alba* Linnaeus, 1758)
	Шпакові (*Sturnidae*)	Шпак звичайний (*Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758)
	Воронові (*Corvidae*)	Крук (*C. corax* Linnaeus, 1758)
		Сойка (*Garrulus glandarius* Linnaeus, 1758)
		Сорока (*Pica pica* Linnaeus, 1758)
		Ворона сіра (*Corvus cornix* Linnaeus, 1758)

1	2	3
	Воловоочкові (*Troglodytidae*)	Волове очко (*Troglodytes troglodytes* Linnaeus, 1758)
	Кропив'янкові (*Sylviidae*)	Очеретянка велика *Acrocephalus arundinaceus* Linnaeus, 1758)
		Кропив'янка чорноголова *Sylvia atricapilla* Linnaeus, 1758)
		Вівчарик-ковалик *Phylloscopus collybita* (Vieillot, 1817)
	Мухоловкові (*Muscicapidae*)	Мухоловка білошия (*Ficedula albicollis*Temminck, 1815)
		Горихвістка звичайна (*Phoenicurus phoenicurus*, Linnaeus, 1758)
		Вільшанка *Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758)
		Соловейко східний *Luscinia luscinia* Linnaeus, 1758)
		Чикотень (*T. pilaris* Linnaeus, 1758)
		Дрізд чорний (*Turdus merula* Linnaeus, 1758)
	Синицеві (*Paridae*)	Синиця велика (*Parus major* Linnaeus, 1758)
		Синиця блакитна (*Cyanistes caeruleus* Linnaeus, 1758)
	Повзикові (*Sittidae*)	Повзик (*Sitta europaea* Linnaeus, 1758)
	Підкоришникові (*Certhiidae*)	Підкоришник звичайний (*Certhia familiaris* Linnaeus, 1758)
	В'юркові (*Fringillidae*)	Зяблик (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758)
		Чиж (*Spinus spinus* Linnaeus, 1758)
		Щиглик (*Carduelis carduelis* Linnaeus, 1758)
		Снігур (*Pyrrhula pyrrhula* Linnaeus, 1758)
	Вівсянкові (*Emberizidae*)	Вівсянка очеретяна (*Emberiza schoeniclus* Linnaeus, 1758)
	Жайворонкові (*Alaudidae*)	Жайворонок польовий (*Alauda arvensis* Linnaeus, 1758)

caudatus Linnaeus, 1758), підкоришник короткопалий (*C. brachydactyla* Brehm, 1820), чечітка звичайна (*Acanthis flammea* Linnaeus, 1758), горобець польовий (*Passer montanus* Linnaeus, 1758), горобець хатній (*P. domesticus* Linnaeus, 1758), костогриз (*Coccthraustes coccthraustes* Linnaeus, 1758), мухоловка мала (*Ficedula parva* Bechstein, 1794), мухоловка сіра (*Muscicapa striata* Pallas, 1764), зеленяк (*Chloris chloris* Linnaeus, 1758), золотомушка жовточуба (*Regulus regulus* Linnaeus, 1758), сорокопуд сірий (*Lanius excubitor* Linnaeus, 1758), омелюх (*Bombycilla garrulous* Linnaeus, 1758), горлиця садова (*Streptopelia decaocto* Frivaldszky, 1838), голуб сизий (*Columba livia* Gmelin, 1789), дятел малий (*Dendrocopos minor* Linnaeus, 1758), крутиголовка (*Junx torquilla* Linnaeus, 1758), одуд (*Upupa epops* Linnaeus, 1758), серпокрилець чорний (*Apus apus* Linnaeus, 1758), куріпка сіра (*Perdix perdix* Linnaeus, 1758), яструб (*Accipiter* sp.) [9]. Існує велика

ймовірність, що більшість із перелічених представників періодично трапляються у прилеглих до Щирецького водосховища насадженнях.

У прибережній зоні Щирецького водосховища гніздяться сірі ворони, сойки та сороки. За колонією ворон спостерігаємо із початку 2000-х років. Птахи гніздяться на тих же місцях. Поруч розташована невелика паркова та пляж. Круки відмічаються постійно, однак поблизу водойми не гніздяться. Воронові регулярно підбирають поживу із місць пікніків та стихійних звалищ сміття довкола водойми.

Пірникоза велика населяє водойму тривалий період. У 2024 році ми спостерігали за успішним розмноженням чотирьох пар. Шлюбні ігри відмічені 25 березня 2024 року. Станом на 26 березня 2026 року на водоймі спостерігали за 6-ма дорослими особинами пірникози великої. На водосховищі птахи не зимують. В осінні місяці спостерігали мігруючих особин у басейні річки Ковир, поблизу с. Липники.

Чапля сіра і чепура велика виявлені на прольотах та в межах кормових біотопів – на мілководді, зокрема в місці впадання річки Ковир у водосховище. Ці види регулярно трапляються в зимові місяці на водосховищі, особливо в місцях, де не формується крига. На гніздуванні до 2010-го року спостерігали за парою сірих чапель на дереві, що зростало в басейні річки Ковир. Загалом, у басейні Щирки та Зубри ці види успішно зимують тривалий період.

Від початку 2000-х і до 2025 року для птахів-іхтіофагів, що є важливим, суттєво змінився якісний та кількісний склад риби. Кормових об'єктів поменшало.

Сучасні екологічні дослідження водосховища [4] дозволяють зробити наступні висновки. Централізованим водопостачанням у прилеглих нових та старих житлових масивах забезпечено близько 50% мешканців. На екологічний стан поверхневих вод Щирецького водосховища вагомий вплив мають кілька взаємопов'язаних чинників. Це забруднення поверхневих вод комунально-побутовими і промисловими стоками, засмічення твердими побутовими відходами, забруднення ґрунтів та інші чинники. У березні 2025 року стало відомо, що село Солонка буде повністю каналізоване. А це один із найбільших населених пунктів у межах водозбору.

У 2024 році на водосховищі спостерігали та акустично визначали бугайчика та бугая. Ці представники родини *Ardeidae* поширені по периметру водойми, в місцях із густою рослинністю. 17.05.2024 спостерігали за пораненим бугайчиком.

Лелека білий відомий на гніздуванні у селах Поршна, Малечковичі. Кормові біотопи – заболочені ділянки по периметру водойми, берегова лінія, місця впадання річок Малечковича, Ковир, прилеглі агроугіддя.

Гуseподібні водосховища – це крижні та лебеді-шипуни. Ці види трапляються на водоймі протягом цілого року. При замерзанні водойми вони скупчуються у невеликих зонах, які не вкриваються кригою. Здійснюють перельоти в басейні річок Зубра, Щирка та інших.

Найчастіше взимку ми спостерігали на незамерзлих ділянках крижнів, лебедів, лисок та чапель. Зимуючим видом іхтіофагів на водоймі є рибалочка. Вид типовий для басейну річки Ковир і відмічається нами від початку 2000-х років до березня 2025 року. Птахи зимують на водосховищі. Про це свідчать реєстрації рибалочок у грудні 2024 року.

В особливо холодні зимові періоди качки, а іноді також лебеді, для ночівлі обирають невеликі відстійники очисних споруд поблизу с. Липники (басейн р. Ковир).

У 2024–2025 рр. пара лебедів-шипунів регулярно відмічалася на водосховищі, однак птахи не розмножувалися. У 2023 році відомо про виводок із трьох пташенят. Однак, місце гніздування нам не відоме.

Мартини та крячки концентруються та розмножуються поблизу місця впадання річки Малечковича та Щирка, в околицях с. Малечковичі. Кормові біотопи у них розосереджені по усій водоймі.

Очеретянка велика, курочка водяна та лиска трапляються по усьому периметру водойми. Це типові гніздові види.

Більшість горобцеподібних птахів успішно гніздяться та знаходять місця живлення безпосередньо на береговій лінії, заселяючи дерева та чагарники, зарості трав'янистих рослин, сільгоспугіддя.

Щирецьке водосховище – популярна рекреаційна локація мешканців Львова та області. На береговій лініій розташовуються декілька десятків стихійно облаштованих місць для пікніків, ресторан «Вілла Австрія», Сантіно, Osteria, готельно-ресторанний комплекс Наварія нова, ДЮСШ ім. А. Дідуха, спортивно-веслувальна база Львівського обласного відділення Комітету з фізичного виховання та спорту МОН України.

Каное, байдарки, човни і інші плавзасоби використовуються спортсменами та рекреантами. Певний вплив чинять моторні човни. За нашими спостереженнями їх використовують працівники спортивних комплексів під час тренувань. Однак, на водосховищі заборонений рух на моторних човнах. Виняток – рятувальні човни та берегова насосна станція «Щерек» [4].

Такі плавзасоби, як моторні човни, сприяють шумовому забрудненню та призводять до тимчасових збурень поверхневих шарів води. Для пірникози, лисок, качок та інших водно-болотних видів, це створює загрозу у період розмноження.

Птахи адаптовані до частої присутності людей на водоймі і вздовж берегової лінії. Качок та лебедів рекреанти періодично підгодовують. Річки, що впадають в озеро, несуть забруднену воду від прилеглих сіл. «Цвітіння» води помітне щорічно, однак інтенсивність його різна. Забруднена вода має вплив на усю екосистему, тому опосередковано впливає і на орнітофауну.

На місці старого та занедбаного пляжу у 2024 році розпочато будівництво рекреаційної зони. Протягом березня-серпня здійснені заходи щодо вирівнювання берегової лінії та видалення прибережних заростей очерету у смузі, протяжністю понад 200 м. Проріджені прибережні зарості дерев, кущів та чагарників. Такі заходи у період гніздування та догляду за пташенятами, безперечно, мали пряму негативну дію та тварин, чиї біотопи було знищено. За нашими даними, було знищено гнізда очеретянки та лиски.

Природним ворогом для деяких птахів Щирецького водосховища є лисиця (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758). Не виключено, що переслідувати та знищувати пташенят і дорослих особин можуть собаки та кішки. З собаками різних порід рекреанти періодично прогулюються вздовж берегової лінії.

ВИСНОВКИ

Отже, з березня 2024 року по березень 2025 року на Щирецькому водосховищі вдалося виявити 48 видів птахів. З'ясовані особливості розповсюдження, гніздування, місця та об'єкти живлення для окремих видів. Птахи більшості видів поширені рівномірно по периметру водосховища. Мартини та крячки для гніздування обирають мілководну ділянку поблизу села Малечковичі. Антропогенний фактор на орнітофауну такий: шум та збурення води внаслідок застосування моторних човнів, присутність

рекреантів, забруднення води хімічними речовинами каналізаційних стоків, забруднення твердими побутовими відходами, вигул собак. Подальші дослідження орнітокомпексу Щирецького водосховища є важливими з точки зору збереження біорізноманіття та більш ретельного вивчення антропогенного впливу на різні види птахів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бокотей А. А. Видовий склад і чисельність орнітофауни м. Львова. *Наук. зап. Держ. природозн. музею.* 1994. Т. 11. С. 5–15.
2. Бокотей А. А. Гніздова орнітофауна міста Львова та основні причини її змін (за результатами складання гніздових атласів птахів у 1994–1995 та 2005–2007 рр.). *Наук. вісн. Ужгородського ун-ту. Серія: Біологія.* 2008. Вип. 23. С. 17–25.
3. Бокотей А. А. Динаміка гніздової орнітофауни селітебної частини Львова за період між 2006 і 2018 роками. *Наук. зап. Держ. природозн. музею.* 2020. Вип. 36. С. 95–106. DOI: https://doi.org/10.36885/nzdpm.2020.36.95-106
4. Геоекологія Щирецького водосховища: монографія / Ю. Андрейчук, В. Біланюк, О. Бота та ін. / за заг. ред. Є. Іванова та О. Пилипович. Львів: Простір-М, 2024. 116 с.
5. Кузьо Г. Сучасний стан і перспективи досліджень орнітофауни передмість міста Львова. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. біол.* 2016. Вип. 72. С. 3–14.
6. Паламаренко О.В. Зменшення чисельності трав'яної жаби (*Rana temporaria*) як показник нестабільності локальної екосистеми. *Наук. зап. Тернопол. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.,* 2020, № 1–2 (79). С. 36–41. https://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.4
7. Паламаренко О. В. Земноводні, плазуни та птахи села Солонка на Львівщині. *Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: матер. 66-ї наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу, наук. працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2015 р.* Львів: РВВ НЛТУ України, 2016. С. 90–93.
8. Паламаренко О. В. Зимова орнітофауна військового містечка Солонка на Львівщині. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень: матер. І Міжнар. наук.-практ. конф.* (Хотин, 10–12 квіт. 2014 р.). Чернівці : Друк Арт, 2014. С. 204–206.
9. Паламаренко О.В., Різун Е.М., Орнітофауна села Солонка на Львівщині: аналіз спостережень за 2010-2023 роки. *Наук. зап. Тернопол. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.*, 2023. Т. 83. № 1–2. С. 19–25. DOI: https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.1–2.3

REFERENCES

1. Bokotei, A. A. (1994). Vydovyi sklad i chyselnist ornitofauny m. Lvova [Species composition and number of the avifauna of Lviv]. *Nauk. zap. Derzh. pryrodozn. Muzeiu – Proceedings of the State Natural History Museum.*11. P. 5–15. [in Ukrainian].
2. Bokotei, A. A. (2008). Hnizdova ornitofauna mista Lvova ta osnovni prychyny yii zmin (za rezultatamy skladannia hnizdovykh atlasiv ptakhiv u 1994–1995 ta 2005–2007 rr.) [The nesting avifauna of Lviv and the main reasons for its changes (based on the results of compiling nesting atlases of birds in 1994-1995 and 2005-2007)]. *Nauk. visn. Uzhhorodskoho un-tu. Seriia: Biolohiia – Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology*. 23. P. 17–25. [in Ukrainian].
3. Bokotei, A. A. (2020). Dynamika hnizdovoi ornitofauny selitebnoi chastyny Lvova za period mizh 2006 i 2018 rokamy [Dynamics of the nesting avifauna of Lviv's urban area between 2006 and 2018]. *Nauk. zap. Derzh. pryrodozn. muzeiu – Proceedings of the State Natural History Museum.* 36. P. 95–106. DOI: https://doi.org/10.36885/nzdpm.2020.36.95-106 [in Ukrainian].

4. Andreichuk, Y., Bilaniuk, V., & Bota, O. (2024). *Heoekolohiia Shchyretskoho vodoskhovyshcha* [Geoecology of the Shchyrets Reservoir]. Lviv: Prostir-M. 116 p. [in Ukrainian].
5. Kuzo, H. (2016). Suchasnyi stan i perspektyvy doslidzhen ornitofauny peredmist mista Lvova. [The current state and prospects of research on the ornithofauna of Lviv suburbs] *Visnyk Lviv. un-tu. Ser. biol. – Visnyk of Lviv un-ty, Biological series.* 72. P. 3–14 [in Ukrainian].
6. Palamarenko, O.V. (2020). Zmenshennia chyselnosti travianoi zhaby (Rana temporaria) yak pokaznyk nestabilnosti lokalnoi ekosystemy. [Decrease in number of the common frog (*Rana temporaria*) as an indicator of local ecosystem instability] *Visnyk Ternopil un-tu. Ser. biol. – Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*. 79. P. 36–41 https://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.4 [in Ukrainian].
7. Palamarenko, O. V. (2016). Zemnovodni, plazuny ta ptakhy sela Solonka na Lvivshchyni [Amphibians, reptiles and birds in the village of Solonka in Lviv Oblast]. *Naukovi osnovy pidvyshchennia produktyvnosti ta biolohichnoi stiikosti lisovykh ta urbanizovanykh ekosystem: mater. 66-yi nauk.-tekhnn. konf. profesorsko-vykladatskoho skladu, nauk. pratsivnykiv, doktorantiv ta aspirantiv za pidsumkamy naukovoi diialnosti u 2015 r.* [Scientific bases of increasing productivity and biological sustainability of forest and urban ecosystems: materials of the 66th scientific and technical conference of professors, researchers, doctoral students and postgraduate students on the results of scientific activity in 2015. 66th Scientific and Technical Conference of the teaching staff, researchers, doctoral and postgraduate students on the results of scientific activity in 2015] Lviv, RVV NLTU Ukrainy, 2016. P. 90–93. [in Ukrainian].
8. Palamarenko, O. V. (2014). Zymova ornitofauna viiskovoho mistechka Solonka na Lvivshchyni [The winter birdlife of the military town of Solonka in the Lviv region]. *Rehionalni aspekty florystychnykh i faunistychnykh doslidzhen: mater. I Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* [Regional Aspects of Floristic and Faunal Research: Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference]. Khotyn, April 10-12,. Chernivtsi, 2014. P. 204–206 [in Ukrainian].
9. Palamarenko, O.V., & Rizun, E.M. (2023). Ornitofauna sela Solonka na Lvivshchyni: analiz sposterezhen za 2010-2023 roky [Avifauna of Solonka village in Lviv blast: analysisof observations for 2010-2023]. *Visnyk Ternopil un-tu. Ser. biol. – Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology.* 83 (1–2). 19–25. DOI: https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.1–2.3 [in Ukrainian].

ABSTRACT

ORNITHOFAUNA OF SHCHYRETS RESERVOIR IN LVIV REGION: RESULTS OF RESEARCH IN 2024–2025

In this publication, we provide up-to-date information on the list of bird species characteristic of the Shchyrets Reservoir. This reservoir is located in the south-western outskirts of Lviv and belongs to the Dniester basin. The reservoir is known to the general public as Lake Hlynna Navariya. The fauna of the reservoir is still fragmentary. There are no data on the species diversity of different groups of vertebrates in the literature. Information on the species diversity of the reservoir's birds in the twentieth century and early twenty-first century is also virtually non-existent. With this in mind, we conducted 36 bird surveys in 2024 and four surveys in 2025. The observations cover all seasons and were made from March 2024 to March 2025 inclusive. Areas with high recreational pressure and rarely visited places along the perimeter of the reservoir were covered. Some data on the bird fauna are presented for the 20-year period of our observations. Regular surveys in

2024-2025 revealed that 48 species of birds can be found on the reservoir and in the surrounding greenery. Of these, 15 species are closely associated with the wetlands – they have nesting habitats or feed here. 28 of the identified species are *Passeriformes*. They are found in green spaces around the reservoir. *Ciconiiformes* are represented by five species. An important condition for the birds' distribution is a rather diverse environment and the wavy relief of the coastline. The reservoir is surrounded by farmland, summer cottages, rural households, recreational and sports facilities. In the Soviet era, ornamental and fruit trees and shrubs were planted around the reservoir. This contributes to the mosaic of the shoreline, improves nesting habitats and the food base. Almost all the locations around the reservoir have a neglected appearance, which is a certain advantage for birds. They can safely complete the nesting season, feed, and find shelter. However, the anthropogenic factor still has a significant impact on the reservoir and requires further study for each bird species. This is primarily about the deterioration of water quality and the presence of recreationalists.

Key words: birds, distribution, nesting, wintering, reservoir.

УДК 556.314+543.321
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.4

Ірина Володимирівна Бриндзя,
кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-2873-7712, e-mail: ira_3107@ukr.net

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

Тарас Степанович Кавецький,
кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна;
Інститут фізики Словацької академії наук, Словаччина
orcid.org/0000-0002-4782-1602, e-mail: kavetskyy@yahoo.com

БІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ КРИНИЧНИХ ВОД ДРОГОБИЦЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Анотація. Погіршення екологічної ситуації та забруднення усіх джерел водопостачання зумовили те, що забезпечення якості питної води стало нагальною проблемою, яку необхідно вирішувати на всіх рівнях державного управління. Дослідження стану криничної води в окремих населених пунктах Дрогобицької територіальної громади – зокрема в м. Дрогобич, м. Стебник, смт Східниця, с. Болехівці, с. Літиня, с. Нагуєвичі, с. Доброгостів, с. Уличне, с. Нове Село – проводилися сезонно упродовж 2021–2024 років.

Аналіз результатів біотестування досліджуваних криничних вод Дрогобицької територіальної громади та порівняння індексу їх фітотоксичності посезонно, свідчить про те, що тільки вода з с. Болехівці перевищує допустимі показники (57,83% при нормі 50,0%). Показники індексу фітотоксичності із інших населених пунктів відповідають слабкому та середньому рівню фітотоксичності. Крім цього, фітотоксичний індекс в зимових пробах був дещо нижчим за осінні показники, що може свідчити про те, що зниження температури позитивно впливає на якість води.

Результати цитотоксичності показали, що мітотичний індекс досліджуваних вод лише в деяких зразках перевищує 50% (с. Нагуєвичі та с. Доброгостів), а це може означати, що у воді присутні ксенобіотики, бо саме їх вплив на меристематичні клітини призводить до зниження мітотичної активності досліджуваного рослинного організму і відповідно до порушення поділу клітини.

Отримані результати підкреслюють необхідність постійного моніторингу якості криничної води в Дрогобицькій територіальній громаді та впровадження заходів щодо покращення її екологічного стану та забезпечення населення якісною та безпечною питною водою. Метод біотестування з використанням *Allium cepa* виявився ефективним інструментом для комплексної оцінки токсичності та цитотоксичності криничної води.

Ключові слова: Дрогобицька територіальна громада, децентралізовані джерела водопостачання, біотестування, фітотоксичність, цитотоксичність.

ВСТУП

Щорічне зростання антропогенного тиску на довкілля призводить до погіршення якості питної води. Багато водних об'єктів, які забезпечують населення питною водою, зазнають деградації та втрати біологічної стійкості [1, 3]. Ситуація набуває критичного характеру, адже в окремих регіонах і містах рівень невідповідності води встановленим стандартам сягає 70–80%. Жителі сільських районів Львівщини, зокрема Дрогобицького району, здебільшого користуються водою з криниць, проте через наявність неочищених стічних вод, незадовільний санітарний та технічний стан криниць і індивідуальних свердловин не можна гарантувати належного рівня епідеміологічної безпеки [10]. Тому дослідження якості криничної води Дрогобицького району набуває особливої актуальності.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

З метою оцінки екологічного стану криничних вод у деяких населених пунктах Дрогобицького району було здійснено відбір проб води у 9 містах і селах цієї території. Зразки води брали в місті Дрогобич, місті Стебник, смт Східниця, селах Болехівці, Доброгостів, Уличне, Літиня, Нагуєвичі та Нове Село. Зазначені населені пункти розташовані в різних частинах Дрогобицького району. Усі досліджені криниці облаштовані бетонними кільцями, а глибина до рівня води варіюється від 5 до 8 метрів. Дослідження здійснювалися з урахуванням сезонних змін.

Контроль якості криничної води, яка може зазнавати забруднення дуже широкого спектру рекомендується починати з її біотестування [4]. Біотестування проводили за методикою А. Горової [8]. Як тест-культури використовували корінці Allium сера. Цей тест оцінює лише водорозчинні компоненти досліджуваного зразку води. Він є простим у проведенні і чутливим щодо визначення загальної токсичності води. Показником токсичності виступає пригнічення росту коренів Allium сера, оскільки встановлено, що ріст корінців пригнічується при більш низьких концентраціях токсиканту, ніж проростання рослин [2].

Дослідження біологічного стану криничних вод Дрогобицького району проводили впродовж 2021–2024 років посезонно на базі лабораторії «Експериментальної біології» Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка.

Для аналізу використовувалися 10 цибулин Allium сера розміром в діаметрі 1,5 см. Для кожного досліджуваного варіанту були підготовлені по 10 пробірок на штативі з водою яка досліджується і на кожну з пробірок розташували по одній цибулині таким чином, щоб денце торкалося рідини в пробірці. Кожну добу воду в пробірках міняли на нову. Довжину коренів цибулі звичайної вимірювали за допомогою лінійки на 4, 7 та 10 доби спостережень. Розраховували середній показник для кожного тест-об'єкта. Результати обробляли статистично та перевіряли на достовірність.

На основі отриманих даних розрахували індекс фітотоксичності за формулою:

$$T = \frac{I_K - I_o}{I_к} 100\%, \text{ де}$$

T – індекс фітотоксичності проби;

I_K– величина тест-реакцій у контрольній пробі;

I_O – величина тест-реакцій у досліджуваній пробі.

Результати обробляли статистично.

Для порівняння токсичності за ростовим тестом фітоіндикатора використовували шкалу рівнів фітотоксичності (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні фітотоксичності вод [4]

Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), %	Рівень токсичності
0–20	Відсутність або слабкий рівень токсичності
20,1–40	Середній рівень
40,1–60	Вище середнього рівня
60,1–80	Високий рівень
80,1–100	Максимальний рівень

Визначення цитотоксичності здійснювали шляхом обрахунку мітотичного індексу у клітинах меристеми Allium сера. Для цього відрізали декілька корінців цибулин з довжиною приблизно 1–2 см і провели їх фіксацію, фарбування та мікроскопування.

Для визначення мітотичного та фазного індексу аналізували 100 клітин, із них підраховували клітини, що є в стані мітозу, і такі які не діляться.

Розрахунок мітотичного індексу проводили за формулою:

$$MI = \frac{(П+М+А+Т)}{N} \times 100\%, \text{ де}$$

(П+М+А+Т) – сума клітин, які знаходяться на стадії профази, метафази, анафази та телофази;

N – загальне число проаналізованих клітин.

Розрахунок фазного (про-, ана-, мета-, і телофазного) індексів проводили за формулою:

$$ПІ = \frac{П}{(П+М+А+Т)} \times 100\%, \text{ де}$$

ПІ – профазний індекс;

П – кількість клітин, що знаходиться на стадії профази;

(П+М+А+Т) – сума клітин, які знаходяться на стадії про-, мета-, ана- та телофази.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Одним із показників комплексної оцінки якості криничної води виступає індекс фітотоксичності питної води [4]. В період досліджень ми спостерігали за динамікою приросту корінців Allium сера на 4-й, 7-й та 10-й день досліджень. Ростові показники корінців Allium сера на основі взятих зразків криничних вод деяких населених пунктів Дрогобицького району вносили в таблицю 2 та для кращої наочності зобразили графічно (рис. 1–3).

Як показано на рисунках 1–3, різниця у ростових показниках Allium сера на зразках досліджуваної криничної води порівняно з контролем є відносно незначною. Це підтверджується середніми та нижчими за середні рівнями токсичності відібраних проб. Виняток становить зразок із села Болехівці, де спостерігається суттєве зниження

Таблиця 2

Порівняння ростових показників корінців Allium сера на 4-ту, 7-му, 10-ту добу спостережень, мм (M±m)

Проба	4-та доба		
	осінь	**зима**	**літо**
Контроль	22,4±3,28	23,35±1,16	18,31±3,35
м. Дрогобич	16,8±5,6	18,595±0,92	14,39±3,92
смт Східниця	18,05±4,5	19,7±4,925	15,12±4,5
м. Стебник	17,0±3,8	18,45±2,25	13,91±1,61
с. Нагуєвичі	21,2±4,04	20,77±1,03	12,34±4,83
с. Болехівці	12,9±4,51	13,31±6,65	7,72±4,78
с. Доброгостів	20,65±5,21	20,3±1,015	12,87±4,75
с. Уличне	18,55±3,63	19,79±0,98	15,03±3,87
с. Літиня	14,0±6,25	16,52±2,68	13,02±1,86
с. Нове Село	15,09±7,31	16,89±4,45	11,18±2,36
	7-ма доба		
	осінь	**зима**	**літо**
Контроль	29,6±4,73	32,73±2,49	29,86±5,53
м. Дрогобич	33,6±1,98	33,44±0,52	31,28±4,57
смт Східниця	32,0±6,17	31,67±5,26	25,34±4,798
м. Стебник	38,3±4,29	34,391±1,91	24,482±4,25
с. Нагуєвичі	47,5±5,42	35,816±1,45	18,132±3,36
с. Болехівці	32,6±5,3	24,75±4,28	16,9±9,52
с. Доброгостів	45,5±5,94	37,57±2,92	24,0±5,6
с. Уличне	33,35±4,87	27,025±3,59	20,7±4,64
с. Літиня	36,8±6,96	32,463±1,84	28,126±3,89
с. Нове Село	30,18±3,65	29,5±0,97	22,91±2,308
	10-та доба		
	осінь	**зима**	**літо**
Контроль	49,49±4,98	51,84±2,67	54,197±10,49
м. Дрогобич	50,4±2,59	48,66±3,38	46,92±2,97
смт Східниця	61,99±5,81	47,89±4,11	33,791±6,793
м. Стебник	64,9±6,34	52,13±1,79	39,316±10,08
с. Нагуєвичі	51,98±5,87	44,289±3,54	36,598±4,322
с. Болехівці	43,66±5,49	40,33±6,45	31,284±19,23
с. Доброгостів	61,23±7,53	53,7±3,42	41,998±13,47
с. Уличне	54,82±5,71	43,98±1,18	32,064±16,88
с. Літиня	42,72±8,35	37,81±2,15	35,318±8,324
с. Нове Село	45,27±5,47	44,13±3,29	33,13±1,892

приросту корінців, що свідчить про високу токсичність води й робить її непридатною для споживання. Водночас, якщо врахувати, що в літніх зразках води приріст корінців був істотно меншим, ніж в осінніх, можна дійти висновку про значне зростання вмісту шкідливих речовин у воді в літній період.

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що лише вода із села Болехівці є непридатною для споживання (показник фітотоксичності – 57,83%).

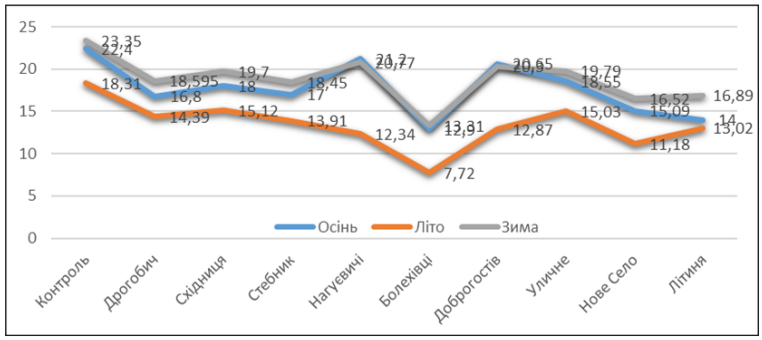


Рис. 1. Приріст корінців Allium сера на 4-ту добу спостережень

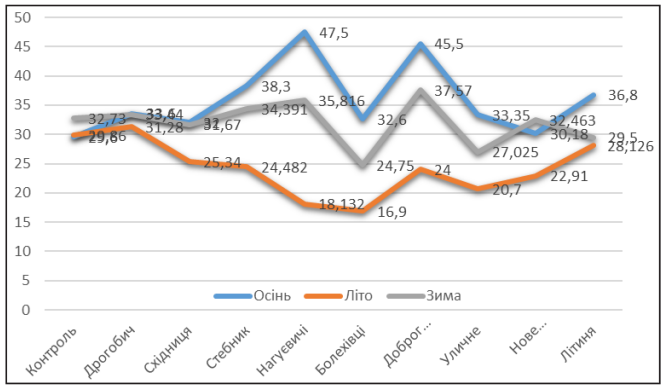


Рис. 2. Приріст корінців Allium сера на 7-му добу спостережень

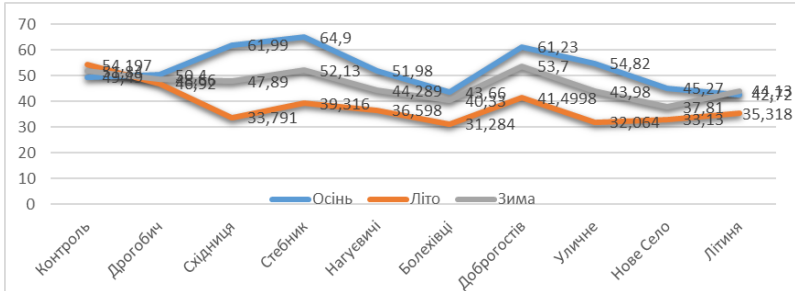


Рис. 3. Приріст корінців Allium сера на 10-ту добу спостережень

У решті населених пунктів рівень фітотоксичності води впродовж 2021–2024 років залишався в межах допустимих норм. У смт Східниця та селі Уличне протягом усіх сезонів коливання показників становило лише 3–4%, однак зафіксовано слабкий рівень фітотоксичності. Середній рівень токсичності води спостерігався у місті Дрогобич, місті Стебник, селі Нове Село та селі Літиня – у межах 24–39%.

Варто звернути увагу, що у селах Доброгостів та Нагуєвичі показники фітотоксичності зросли у 4 та 6 разів відповідно порівняно з осіннім періодом, однак залишилися в межах середнього рівня токсичності. Це може свідчити про збільшення концентрації забруднюючих речовин у воді внаслідок потрапляння стічних вод та

Таблиця 3

Рівень фітотоксичності криничної питної води за 2021–2024 роки

Проба	Рівень фітотокичності, %		
	Осінь	Зима	Літо
Контроль	-	-	-
м. Дрогобич	25	20,2	21,4
смт Східниця	19,64	14,38	15,12
с. Уличне	13,61	12,76	17,91
м. Стебник	24,1	21,065	24,03
с. Болехівці	42,41	38,12	57,83
с. Доброгостів	7,81	4,35	29,73
с. Нагуєвичі	5,36	3,98	32,6
с. Нове Село	32,63	30,785	38,94
с. Літиня	37,5	27,74	28,89

атмосферних опадів. Індекс фітотоксичності в зимових зразках був дещо нижчим, ніж в осінніх, що може вказувати на позитивний вплив зниження температури на покращення якості води [4].

Проаналізувавши отримані показники фітотоксичності, можна сказати, що найнижчі значення токсичності спостерігаємо в зимовий період та різке збільшення токсичності в усіх показниках – у літній. Причинами такого явища можуть бути кліматичні умови, які змінюються залежно від пори року та різке збільшення кількості атмосферних опадів влітку.

Важливим показником впливу шкідливих речовин на живі організми є рівень цитотоксичності [4, 7]. За допомогою показників мітотичного індексу у корінцях цибулин було визначено індекс цитотоксичності досліджуваних криничних вод деяких населених пунктів Дрогобицького району. При цьому, слід зазначити, що оптимальні показники мітотичного індексу повинні становити вище 50%, бо саме

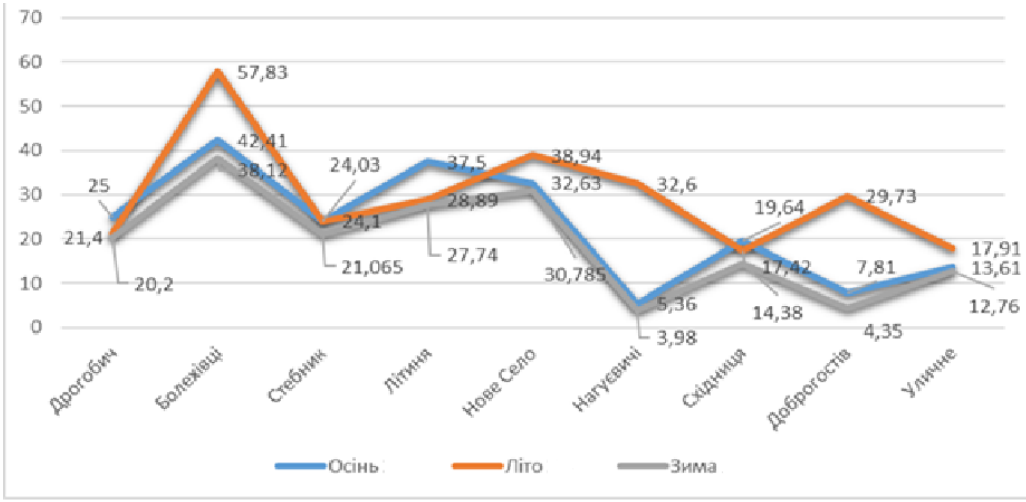


Рис. 4. Динаміка посезонної зміни індексу фітотоксичності, %

Таблиця 4

Мітотичний індекс досліджуваних вод Дрогобицького району, % (n=100)

Проба	Осінь		Зима		Літо	
	(П+М+А+Т)	МІ, %	(П+М+А+Т)	МІ, %	(П+М+А+Т)	МІ, %
Контроль	31+1+3+3	45	47+6+3+3	59	55+1+1+0	57
м. Дрогобич	18+2+2+1	23	37+2+2+1	42	34+2+0+0	36
смт Східниця	40+5+0+0	45	42+4+1+1	48	43+3+0+0	46
м. Стебник	16+1+0+0	17	36+2+1+0	39	44+1+1+1	47
с. Нагуєвичі	30+2+1+0	33	50+7+3+1	61	52+1+2+0	55
с. Болехівці	38+4+2+1	45	41+2+3+0	46	28+1+1+0	30
с. Доброгостів	35+3+1+1	40	44+2+2+2	50	60+1+2+0	63
с. Уличне	40+3+2+1	46	43+1+3+2	49	49+1+0+1	51
с. Нове Село	21+2+2+1	26	50+3+1+0	54	41+0+0+0	41
с. Літиня	39+8+0+0	47	35+1+1+0	37	23+1+0+0	24

такі значення є найбільш вдалими для активного росту досліджуваних корінців *Allium cepa.*

Як видно з таблиці 4, стан криничних вод дає виражений цитогенетичний ефект на проліферацію меристеми кореня [7]. Ми проаналізували по 100 клітин цибулі звичайної з кожного дослідного зразка води, взятого посезонно впродовж 2021–2024 рр.

Як бачимо мітотичний індекс досліджуваних вод лише в деяких зразках перевищує 50%, а це може означати, що у воді присутні ксенобіотики, бо саме їх вплив на меристематичні клітини призводить до зниження мітотичної активності досліджуваного рослинного організму і відповідно до порушення поділу клітини [5].

Динаміку зміни мітотичного індексу в залежності від сезону взяття проб зобразили на рис. 5.

Як бачимо, з рис. 5, найвищі показники мітотичного індексу спостерігаються в зимових пробах криничної води. Максимальний показник МІ за зимовий період

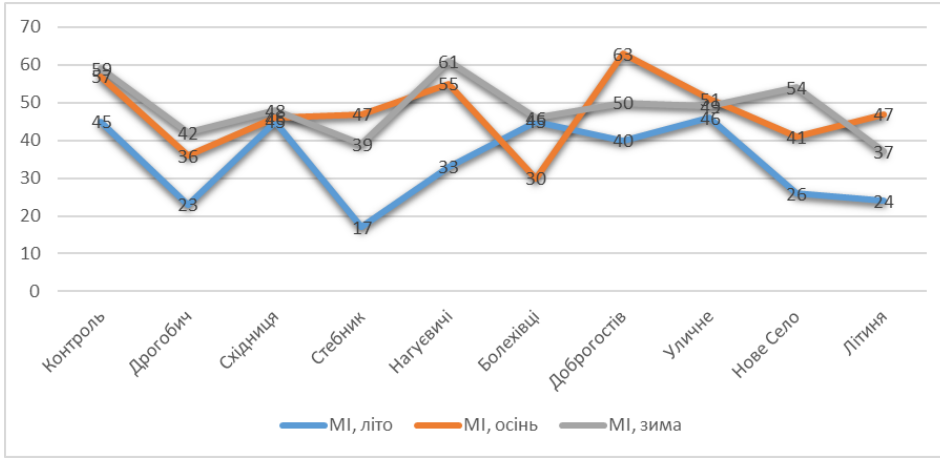


Рис. 5. Порівняння показників мітотичного індексу

є в с. Нагуєвичі і становить 61%, мінімальний – в с. Літиня, де мітотичний показник дорівнює 37%.

Порівняно із осінніми пробами у літній сезон показники мітотичного індексу були дещо вищими. Так, у пробах із с. Уличне, с. Нагуєвичі і с. Доброгостів значення мітотичного індексу коливалися в межах 50–63%, а це свідчить про те, що в їхніх клітинах активізувався процес поділу. Найвищі значення мітотичного індексу восени є у пробах води з с. Літиня (47%), с. Уличне (46%). У контрольній пробі води МІ становив 45% – восени і 57% – влітку. Трохи нижчі показники проліферації клітин кореня мають осінні проби води із с. Доброгостів та с. Нагуєвичі, що становлять 40% і 33% відповідно, але значення МІ взимку та влітку у цих населених пунтках значно зросло.

Найнижче значення мітотичного індексу в осінніх пробах, а саме 17% мала досліджувана вода із м. Стебник. Мінімальний показник влітку становив 24% у зразку води із с. Нове Село.

Проаналізувавши показники мітотичного індексу і індексу фітотоксичності у осінніх та літніх пробах можна вивести закономірність, що при зменшенні фітотоксичності мітотичний індекс у клітинах меристеми кореня Allium сера зростає.

Після визначення показника мітотичного індексу досліджуваних проб, ми обчислили відсоткове значення кожної фази мітозу. Всі результати занесені в таблицю 5.

Таблиця 5

Фазний індекс досліджуваних вод, %

Населений пункт	ПІ	МтІ	АІ	ТІ
	Осінь			
1	2	3	4	5
Контроль	84,4	2,2	6,67	6,67
м. Дрогобич	78,2	8,69	8,69	3,85
смт Східниця	88,9	11,1	-	-
м. Стебник	94,1	5,9	-	-
с. Нагуєвичі	90,9	6,06	3,03	-
с. Болехівці	84,4	8,89	4,44	2,2
с. Доброгостів	87,5	7,5	2,5	2,5
с. Уличне	86,9	6,5	4,3	2,2
с. Нове Село	80,8	7,69	7,69	3,85
с. Літиня	82,9	17,02	-	-
	Зима			
Контроль	79,66	10,17	5,08	5,08
м. Дрогобич	88,1	4,76	4,76	2,38
смт Східниця	87,5	8,33	2,08	2,08
м. Стебник	92,3	5,13	2,56	-
с. Нагуєвичі	81,96	11,47	4,92	1,63
с. Болехівці	87,23	4,34	6,52	-
с. Доброгостів	88,0	4,0	4,0	4,0
с. Уличне	87,75	2,04	6,12	4,08
с. Нове Село	92,59	5,55	1,85	-
с. Літиня	94,59	2,7	2,7	-

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5
	Літо			
Контроль	96,49	1,75	1,75	-
м. Дрогобич	94,44	5,56	-	-
смт Східниця	93,03	6,97	-	-
м. Стебник	93,61	2,13	2,13	2,13
с. Нагуєвичі	94,54	1,81	3,63	-
с. Болехівці	93,33	3,3	3,3	-
с. Доброгостів	95,24	1,59	3,17	-
с. Уличне	96,08	1,96	-	1,96
с. Нове Село	100,0	-	-	-
с. Літиня	95,83	4,16	-	-

Проаналізувавши показники профазного індексу бачимо, що у кожній дослідній пробі води є високий профазний індекс, а це означає, що клітини меристеми кореня є на початку мітотичного поділу. Всі значення ПІ, як в осінніх, зимових, так і в літніх зразках коливаються в межах приблизно 80–100%.

Метафазний індекс має найвищі показники у пробі із с. Літиня (17,02%) восени, с. Нагуєвичі (11,47%) взимку та смт. Східниця (6,97%) влітку, а найнижчі у пробі із населеного пункту м. Стебник (5,9%) восени, с. Уличне (2,04%) взимку і с. Нове село – влітку, там кількість клітин, що перебувають на стадії метафази дорівнювала 0%.

Показники анафазного індексу в осінніх пробах коливаються в межах від 0 до 9%, де нульовий показник є в пробах води с. Літиня, м. Стебник та смт. Східниця. Зимові показники анафаз коливались в межах від 1,85% (с. Нове Село) до 6,5% (с. Болехівці). Нульових значень анафаз не було.

Анафазний індекс у літніх пробах води не перевищував 4%, а нульові показники були в с. Літиня, смт. Східниця, с. Уличне, с. Нове Село та м. Дрогобич. Зменшення анафаз може свідчити про токсичний вплив невеликих концентрацій важких металів на клітину.

Телофазний індекс має досить низькі показники і у осінніх, і у літніх пробах. Максимальне відсоткове значення телофаз восени було в пробі із с. Нове Село і становило 3,85%. Досліджувані проби води із с. Літиня, с. Нагуєвичі, м. Стебник та смт Східниця мали телофазний індекс рівний 0%.

Зимові показники телофазного індексу становили від 0% до 4,08%. При цьому у половини досліджуваних зразків води ТІ дорівнював 0%.

Літні значення ТІ майже в усіх пробах становили 0%, лише у пробах із с. Уличне і м. Стебник значення становили 1,96% і 2,13% відповідно. Таке низьке значення телофазного індексу може характеризуватись частковою елімінацією (знищенням) рослинним організмом ймовірних генетичних порушень за рахунок затримки клітинного циклу і як наслідок збільшується час на репарацію ушкоджень ДНК [7].

ВИСНОВКИ

Отже, результати дослідження засвідчили, що за індексом фітотоксичності вода з с. Болехівці є непридатною для вживання (57,83% при нормі 50,0%), решта досліджуваних

зразків відповідають слабкому та середньому рівню фітотоксичності. Фітотоксичний індекс в зимових пробах був дещо нижчим за осінні показники, що може свідчити про те, що зниження температури позитивно впливає на якість води. Мітотичний індекс досліджуваних вод лише в деяких зразках перевищує 50% (с. Нагуєвичі та с. Доброгостів), а це може означати, що у воді присутні ксенобіотики, бо саме їх вплив на меристематичні клітини призводить до зниження мітотичної активності досліджуваного рослинного організму і відповідно до порушення поділу клітини.

ПОДЯКА

Дана робота частково виконувалася за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України (проєкти № 0125U002005 та 0125U002033). Дана робота також виконувалася за підтримки проєкту MSCA4Ukraine (грант № 1128327), який фінансувався Європейським Союзом, та проєкту EURIZON (грант EU-3022), який фінансувався Європейським Союзом (у межах проєкту EURIZON H2020), грантова угода № 871072.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»: ДСанПіН 2.2.4-400-10. Київ, 2010. 104 с.
2. Кучеренко Т.В., Головатюк Є.О. Використання біотесту *Allium cepa L.* (цибуля звичайна) для оцінювання антропогенного забруднення навколишнього середовища. *Агроекологічний журнал*. 2008. №4. С. 79–83.
3. Ліхо О. А. Технологія формування якості води у джерелах децентралізованого водопостачання (на прикладі Рівненської області). *Сісьськогосподарські науки*. 2016. № 3(75). С. 104–113
4. Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг. Екологія рослин: підручник. К., 2006. С. 344–404.
5. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Диченко О.Ю., Корчагін О.П. Оцінка фітотоксичної дії стічних вод місць захоронення відходів на стійкість *Triticum aestivum*. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 2. С. 77–85.
6. Самойлік М. С., Молчанова А. В. Аналіз фітотоксичного ефекту фільтрату, ґрунту та питної води біля Полтавського полігону ТПВ. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, № 4. 2017. С. 24–27.
7. Швець Л.С. Визначення цито- і генотоксичності питної води з різних районів Прикарпаття. *Науковий вісник Ужгородського університету, серія «Медицина»*. 2011. Вип. 3 (42).С. 155–159.
8. Яковлев В.В. Інженерні заходи для покращення якості колодязних вод. *Екологічний вісник*. 2011. № 10, С. 7.
9. Hoivanovych N., Antonyak H., Pavlyshak Y., Bontey N. Quality analysis of water supply sources by hygienic indices using an example of the specialized regions in the Lviv region. *Acta Carpathica.* 2017. № 28. P. 55–61.
10. Senkiv V., Bryndzia I. Spatial analysis of water quality indicators in Drohobych district. *Acta Carpathica*. 2023. №1(39). p. 16–27 https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.2

REFERENCES

1. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla "Hihiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoi dlia spozhyvannia liudynoiu" [State sanitary norms and rules “Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption”]: DSanPiN 2.2.4-400-10. Kyiv, 2010. 104 s. [in Ukrainian].
2. Kucherenko, T.V., & Holovatiuk, Ye.O. (2008). Vykorystannia biotestu *Allium cepa L.* (tsybulia zvychaina) dlia otsiniuvannia antropohennoho zabrudnennia navkolyshnoho seredovyshcha [The use of *Allium cepa L.* biotest for the assessment of anthropogenic environmental pollution]. *Ahroekolohichnyi zhurnal*. №4, S. 79–83. [in Ukrainian].
3. Likho, O. A. (2016). Tekhnolohiia formuvannia yakosti vody u dzherelakh detsentralizovanoho vodopostachannia (na prykladi Rivnenskoi oblasti) [Technology of water quality formation in sources of decentralized water supply (on the example of Rivne region)]. *Sissko-hospodarski nauky*. №3(75), S. 104–113 [in Ukrainian].
4. Musiienko, M.M. (2006). Fitoindykatsiia ta fitomonitorynh. Ekolohiia roslyn: pidruchnyk [Phytoindication and phytomonitoring. Plant ecology: a textbook]. K., S. 344–404. [in Ukrainian].
5. Pysarenko, P.V., Samoilik, M.S., Dychenko, O.Iu., & Korchahin, O.P. (2019). Otsinka fitotoksychnoi dii stichnykh vod mists zakhoronennia vidkhodiv na stiikist *Triticum aestivum* [Assessment of phytotoxic effect of waste water from waste disposal sites on the resistance of *Triticum aestivum* resistance]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. № 2. S. 77–85. [in Ukrainian].
6. Samoilik, M. S., & Molchanova, A. V. (2017). Analiz fitotoksychnoho efektu filtratu, gruntu ta pytnoi vody bilia Poltavskoho polihonu TPV [Analysis of the phytotoxic effect of leachate, soil and drinking water near the Poltava landfill]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, № 4. S. 24–27. [in Ukrainian].
7. Shvets, L.S. (2011). Vyznachennia tsyto- i henotoksychnosti pytnoi vody z riznykh raioniv Prykarpattia [Determination of cytotoxicity and genotoxicity of drinking water from different regions of the Precarpathia]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu, seriia «Medytsyna»,* vyp. 3 (42), s. 155–159. [in Ukrainian].
8. Iakovlev, V.V. (2011). Inzhenerni zakhody dlia pokrashchennia yakosti kolodiaznykh vod [Engineering measures to improve the quality of well water]. *Ekolohichnyi visnyk*, № 10, S. 7. [in Ukrainian].
9. Hoivanovych, N., Antonyak, H., Pavlyshak, Y., & Bontey, N. (2017). Quality analysis of water supply sources by hygienic indices using an example of the specialized regions in the Lviv region. *Acta Carpathica*, №28, p. 55–61.
10. Senkiv, V., & Bryndzia, I. (2023). Spatial analysis of water quality indicators in Drohobych district. *Acta Carpathica*, №1(39), p. 16–27 https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.2

ABSTRACT

BIOLOGICAL ASSESSMENT OF WELL WATER QUALITY IN DROHOBYCH TERRITORIAL COMMUNITY

The deterioration of the ecological situation and the pollution of all water supply sources have led to the fact that ensuring the quality of drinking water has become an urgent problem that needs to be addressed at all levels of state administration. Studies of the state of well water in certain settlements of the Drohobych territorial community – specifically in Drohobych, Stebnyk, Skhidnytsia, Bolekhivtsi, Litynia, Nahuievychi, Dobrohostiv, Ulychne, and Nove Selo – were conducted seasonally from 2021 to 2024.

Analysis of the biotesting results of the studied well waters in the Drohobych territorial community and a seasonal comparison of their phytotoxicity index indicate that only water from the village Bolekhivtsi exceeds the permissible limits (57.83% with a norm of 50.0%). The phytotoxicity index values from other settlements correspond to weak and moderate levels. Furthermore, the phytotoxicity index in winter samples was slightly lower than in autumn samples, which may indicate that a decrease in temperature has a positive effect on water quality.

Cytotoxicity results showed that the mitotic index of the studied waters exceeds 50% in only a few well samples (Nahuievychi and Dobrohostiv), which may indicate the presence of xenobiotics in the water, as their effect on meristematic cells leads to a decrease in the mitotic activity of the studied plant organism and, consequently, to impaired cell division.

The obtained results underscore the necessity for continuous monitoring of well water quality in the Drohobych territorial community and the implementation of measures to improve its ecological state and ensure the population with high-quality and safe drinking water. The biotesting method using *Allium cepa* proved to be an effective tool for the comprehensive assessment of phytotoxicity and cytotoxicity of well water.

Key words: Drohobych territorial community, decentralized water supply sources, biotesting, phytotoxicity, cytotoxicity.

УДК 504.61:622.32+502.211:582
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.5

Оксана Василівна Мамчур,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри фізіології та екології рослин
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-2877-4273, Scopus Author ID: 58019604600,
Researcher ID: F-6149-2019, e-mail: oksana.mamchur@lnu.edu.ua

Мирослава Степанівна Кобилецька,
кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри фізіології та екології рослин
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-4457-3658, Scopus Author ID: 57571211000,
Researcher ID: F-5660-2019, e-mail: myroslava.kodyletska@lnu.edu.ua

Наталія Миколаївна Федак,
кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділенням тваринництва
Інститут сільського господарства Карпатського регіону Національної Академії аграрних наук України, Україна
orcid.org/0000-0003-1988-8591, Scopus Author ID: 58019190600,
e-mail: natalifedak181@gmail.com

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

Іванна Валеріївна Стаднічук,
студентка
Львівський національний університет імені Данила Галицького, Україна
orcid.org/0009-0006-4820-1006, e-mail: stadnichyk-o@ukr.net

Олена Миколаївна Стаднічук,
кандидатка хімічних наук, викладачка 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 МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ *SCIRPUS SYLVATICUS L* ДЛЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ ВІД НАФТОПРОДУКТІВ

Анотація. Результатом антропогенної діяльності є суттєве навантаження на літосферу, оскільки токсичні речовини, що потрапляють у довкілля, накопичуються, змінюють хімічний склад ґрунтів та порушують цілісність геохімічного середовища і біоти. Методи фітоіндикації, що передбачають використання чутливих біоіндикаторів-рослин до різних типів забруднення, є доволі перспективними. Вибір видів вищих водних рослин, що розвивають складну кореневу систему і накопичують полютанти, є важливим аспектом

для фіторемедіації забрудненого середовища. Серед них перспективним є комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus L*). *Метою дослідження* було виявлення можливостей використання *Scirpus sylvaticus L* як фіторемедіатора *вторинної дії* для відновлення ґрунтів, забруднених нафтою та нафтопродуктами. Об'єктом дослідження були висаджені у забруднений нафтою (0,3%, 2%, 5%, 8%) глинистих ґрунтах рослини, відібрані з болотистих «умовно чистих» територій. Виявлено адаптаційні реакції *Scirpus sylvaticus L* (комишу лісового) до дії нафтового забруднення та зниження вмісту нафти в ґрунті через 80 днів. Показана можливість використання цього виду для очищення природного середовища від нафтового забруднення.

Встановлено, що ріст коренів та пагонів рослин комишу у забрудненому нафтою ґрунті та нагромадження ними сирої маси інгібується, зокрема за дії 8% нафти спостерігається показане зменшення площі листової поверхні, довжини коренів та їхньої маси наполовину. За росту рослин Scirpus sylvaticus L індекс токсичності за умов 5% та 8% нафтового забруднення знижувався до 46% та 50% відповідно, мутагенна активність також зменшувалась, що підтверджує зниження загальної токсичності середовища. Вміст нафтопродуктів у ґрунтах, на яких росли рослини Scirpus sylvaticus L (комишу лісового), знижується, що дозволяє рекомендувати їх для фіторекультивації добре зволожених (болотних) забруднених нафтою територій. Можливість проведення рекультивації без внесення різних агентів ремедіації (мікроорганізмів-деструкторів нафти), спрощуватиме та здешевлюватиме процес відновлення забруднених ґрунтів.

Ключові слова: фіторемедіація, комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus L*), нафтове забруднення, морфометричні показники, біоіндикація.

ВСТУП

Однією з екологічних проблем сьогодення є забруднення довкілля нафтою та нафтопродуктами, що мають негативний вплив на здоров'я людини через мутагенні, токсичні і канцерогенні ефекти, особливо якщо вони потрапляють у харчовий ланцюг [2, 11]. Ряд досліджень вказує на негативний вплив нафтопродуктів у ґрунті, воді та повітрі на здоров'я людей, включно з подразненням дихальних шляхів, психологічні проблеми, екземи, розлади внутрішніх органів (крові, нирок тощо). Вуглеводнева токсичність впливає не лише на здоров'я людини, але й на рослини, ґрунтові мікроорганізми та стійкість екосистеми. Рослини, вирощені на токсичному (забрудненому) ґрунті, такі як квасоля, біб, люцерна хмелевидна, конюшина лучна, льон звичайний, ріпак озимий, крес-салат, редис посівний, гірчиця біла та ін., характеризуються низькою схожістю, уповільненням розвитку чи загибеллю рослин [6, 7]. Це спонукає не лише до моніторингу чи діагностики навколишнього середовища, але й до пошуку методів очищення ґрунту, води та повітря від полютантів [1, 2, 5, 7].

Відомо, що різні види рослин, наприклад, лишайники, планктон, вищі водні рослини, зазвичай дають базову інформацію про стан екосистеми, а морфологічні зміни допомагають оцінити поточну екологічну ситуацію на певній території [3, 9, 11]. Для фіторемедіації (детоксикації) використовують водні (33%), декоративні (5%) та наземні рослини (62% від загальної кількості), що покращують розщеплення та поглинання полютанта [11, 13]. Так, для екологічної характеристики атмосферного повітря великих територій мегаполісів, територій забруднених автомобільним транспортом, промисловими викидами аналізується білатеральна симетрія розвитку листової пластинки деревних і трав'янистих форм рослин (наприклад, берези бородавчастої *Betula pendula,* тополі бальзамічної *Populus balsamifera,* клену гостролистого *(Ace platanoides)* і ясенелистого *(A. negundo)* тощо), що вказує на

якість умов проживання. Зокрема використовують флуктуаційну асиметрію, що враховує відмінності між лівою в правою частинами органів живого організму, що не є випадковими і генетично детермінованими, а виникають внаслідок дії негативних чинників. Поява усіх ступенів некротичних пошкоджень на листках *Betula pendula*, зокрема «риб'ячий скелет», міжжилковий некроз, що свідчить про надходження контамінантів (наприклад, нафтопродуктів) як через продихи листків, так і через кореневу систему [8]. Використання *Triticum aestivum* з пребіотиками у місцях захоронення відходів дозволяє знизити токсичність та підвищує ефективність очищення ґрунту від важких металів [12].

Суттєве навантаження в результаті антропогенної діяльності отримує літосфера, тому доволі перспективними є методи фітоіндикації, що передбачають використання чутливих біоіндикаторів-рослин до різних типів забруднення [1, 7, 10, 13]. Токсичні речовини, що потрапляють у довкілля накопичуються, змінюють хімічний склад ґрунтів і порушують цілісність геохімічного середовища і біоти. Вибір видів вищих водних рослин, що розвивають складну кореневу систему і накопичують полютанти, є важливим аспектом для фіторемедіації забрудненого середовища.

Метою дослідження було виявлення можливостей використання *Scirpus sylvaticus L* як фіторемедіатора *вторинної дії* для відновлення ґрунтів, забруднених нафтою та нафтопродуктами.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження проводили на глинистих ґрунтах з околиць міста Борислава моделюванням: до відібраних ґрунтів, підсушених до повітряно-сухого стану та добре зволожених, вносили сиру нафту (з Бориславського нафтового родовища) густиною 0,96 г/см^3 з розрахунку наступних рівнів забруднення: 0,3%; 2%; 5%; 8%. Контрольним вважали зволожений ґрунт без нафти. Посудини з ґрунтом залишали на 30 діб для випаровування летких компонентів нафти і зниження токсичності, після чого висаджували рослини, відібрані з болотистих ділянок м. Львова (парк Погулянка). Рослини вирощували за умов природного денного освітлення у дворику біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка.

Через 30 та 50 діб після висадки рослин вимірювали довжини листків різних ярусів, підземних кореневищ і коренів *Scirpus sylvaticus L.*

Площу листкової поверхні визначали ваговим методом [4]. Для визначення абсолютно сухої речовини зразки висушували у сушильній шафі при температурі 100–105°С впродовж 4-6 годин [4].

Сумарну кількість нафтопродуктів в ґрунті визначали гравіметричним методом при прожарюванні наважки впродовж 3-4 діб в муфелі при подачі кисню при температурі 400ºС до сталої маси. Висушування за таких умов незабрудненого ґрунту *усуває* вилив гумусової складової та вологи ґрунту [4].

Сумарний міст компонентів нафтового забруднення розраховували за формулою:

$$K = \frac{m_1 - m_2 + m_3}{m_1} \times 100\%$$

де К – сумарний вміст компонентів нафти, %; m_1, m_2– маса наважки ґрунту забрудненого нафтою до і після прожарювання, г; m_3 – маса наважки контрольного ґрунту після прожарювання, г.

Математичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом. Достовірність різниці між отриманими експериментальними даними та фоновими оцінювали за t-критерієм Стьюдента. Нульова гіпотеза відхиляється при $P \leq 0,05$. Якщо рівень значущості знаходиться в межах $0,10 > P > 0,05$, то вважається, що є тенденція до прояву визначеного процесу. Усі розрахунки проводили за допомогою редактора MS Excel 2007 та пакету програм Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТИ

Змішані типи (органічні і неорганічні) забруднювачів ефективно детоксикуються вищими водними рослинами (*Eichhornia crassipes* водяний гіацинт, *Salvinia minima* водяна папороть, *Lemna minor* або *Spirodela intermedia* ряска, *Pistia stratoites* водяний салат, *Nasturtium officinale* крес-салат та інші) за допомогою різних механізмів: фітоакумуляції, фітодеградації, фітотрасформації, фітовипаровування чи фітоекстракції (табл. 1) [9, 11, 13].

Комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus L*) – багаторічна трав'яниста рослина з довгим тригранним стеблом (майже 100–125 см), вкритих листками, що росте в прибережному водному (болотистому) середовищі майже по всій території України (на Поліссі, головно, – комиш укорінливий *S. radicans*). Висівання *S. Sylvaticus* як вторинного фіторемедіатора може бути доволі перспективним.

Після висаджування рослин комишу лісового у дослідних зразках забрудненого ґрунту на 30 та 50 добу росту вимірювали площу листкової поверхні та довжину коренів (табл. 2, рис. 1).

Аналіз отриманих результатів вказує на певну відмінність між контрольними да дослідними зразками. Зокрема, площа листків рослин, що росли за дії середніх та високих концентрацій нафти (від 2% нафти і вище у ґрунті), впродовж перших трьох декад незначно знижується (на 10% ÷ 15%) порівняно із контрольними рослинами. Водночас, для низьких концентрацій (0,3% нафти і нижче) площа листкової поверхні є більшою порівняно з контрольною на 12%. Схожу тенденцію спостерігали за впливу нафтового забруднення на кореневу систему рослин: за низької концентрації нафти, 0,3%, ріст коренів не інгібувався, тоді як інгібування за дії середніх та високої

Таблиця 1

Використання різних вищих водних рослин для фіторемедіації (зменшення впливу) полютантів

Полютант	Вищі водні рослини
Нафта, нафтопродукти	*Juncus roemerianus, Vetiveria zizanioides (L.) Nash, Rhizophora sp., Bruguiera sp., Avicennia sp., Phragmites australis, Phragmites communis Trin, Scirpus triqueter, Suaeda glauca, Limoniumbi color Kuntze, Atriplex centralasiatica Iljin, Oryza sp., Lepironia articulate, Scirpus grossus*
Важкі метали (переважно Pb, Hg, Cu, Cr, Ni, Zn, Al, Fe, Mn)	*Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes, Salvinia minima, Salvinia herzogii, Lemna minor, Spirodela intermedia Nasturtium officinale, Myriophyllum spicatum, Ceratophyllum demersum, Potamogeton crispus, Potamogeton pectinatus, Typha latifolia, Mentha aquatica, Vallisneria spiralis, Phragmites australis, Scirpus* sp., *Polygonum hydropiperoides*

Таблиця 2

Морфометричні показники *Scirpus sylvaticus L.* на 30 і 50 доби росту за впливу нафтового забруднення

Концентрація нафти	Площа листка (см²)		Довжина кореня (см)	
	30 доба	50 доба	30 доба	50 доба
контроль	9,2 + 0,2	19,2 + 1,2	23,0+ 1,2	45,0+ 1,1
0,3%	10,2+ 0,4	17,2+ 0,5	24,0 + 1,4	43,0 + 1,2
2%	9,8 + 0,6	11,8 + 0,8	18,0 + 3,5	28,0 + 3,5
5%	8,2 + 0,4	11,2 + 0,5	14,5+ 1,2	24,5+ 1,2
8%	7,8 + 0,6	9,8 + 0,6	13,0 + 2,4	18,0 + 2,0



Рис. 1. Висаджені рослини *Scirpus sylvaticus L.* у досліджуваних зразках забрудненого ґрунту нафтою та вимірювання морфометричних показників

концентрації було суттєвим – 22%, 36% та 46% у варіантах 2%, 5% та 8% нафти відповідно.

Отриману закономірність можна пояснити стимулювальним впливом нафти низької концентрації на рослини та відносною стійкістю адаптивних механізмів у рослин комишу лісового до нетривалої (30 діб) дії нафтового забруднення середнього та високого рівня.

Результати морфометричних даних рослин комишу на 50 добу росту за дії нафти засвідчують значне інгібування як росту наземної частини, так і кореневої системи. Так, низька концентрація нафти у ґрунті виявила незначну інгібуючу дію на рослини комишу лісового, площа листової поверхні зменшилася на 10%, а довжина коренів – на 5%, що може свідчити про кращу адаптацію коренів до нафти за цих умов. Середні та вища концентрація нафти мала суттєву інгібувальну дію на площу листової поверхні, вона зменшувалася на 38, 41 та 48% у варіантах 2%, 5%, 8% відповідно. ріст коренів інгібувався ще сильніше, до 60% у варіанті 8% нафтового забруднення

Інгібуючий вплив нафтового забруднення ґрунту на рослини описаний багатьма авторами [1, 2, 5, 7, 9, 10, 12], де зазначається, що за умов впливу нафти значно змінюються анатомічні особливості рослин: збільшується товщина листкової

пластинки, зменшуються розміри клітин, кількість хлоропластів, з'являються некрози тощо. Тобто у стійких до нафтового забруднення рослин відбувається посилення ксероморфних ознак, що забезпечує їм захист від токсичного впливу нафти [2]. Загалом, «роботу» вищих водних рослин можна розділити на три етапи: деградація забруднювача, придушення та екстракція або видалення, зокрема біотичні/абіотичні механізми розкладання полютанта, випаровування або транспірація летких сполук, імобілізація в прикореневій зоні тощо.

Отже, інгібування росту рослин комишу найяскравіше виявлене у забрудненому ґрунті з 8% нафти, тоді як у ґрунтах із низьким вмістом нафти спершу спостерігали незначне стимулювання, а пізніше – нейтральний ефект.

Водночас, дія нафтового забруднення на рослини комишу лісового на нагромадження маси сухої речовини коренів порівняно із динамікою нагромадження маси сухої речовини надземною частиною була вищою, ніж на морфометричні показники (табл. 3).

Маса сухої речовини є одним з інтегральних критеріїв метаболізму рослини, вона безпосередньо залежить від фази росту і розвитку рослини, умов кореневого та повітряного живлення, стресових умов. Нафта, як стресовий чинник, у досліджуваних концентраціях призводила до зниження показників маси сухої речовини у рослин *Scirpus sylvaticus L*.

Зокрема, у варіанті слабкого нафтового забруднення (0,3% нафти у ґрунті), маса сухої речовини надземної частини на 30 та 50-ту добу знижувалася щодо контролю незначно, лише на 5–6%. Середні та висока концентрація нафти чинила суттєвий інгібуючий вплив, знижуючи масу сухої речовини при максимальному забрудненні (8% нафти в ґрунті) на 74% на 30-ту та 65% на 50-ту добу відповідно. Проте, незважаючи на екстремальні умови вирощування, надземна частина рослин *Scirpus sylvaticus L.* адаптується до них.

Аналізуючи тенденцію нагромадження маси сухої речовини коренями рослин комиша, бачимо, що низька концентрація нафти не чинить негативного впливу на цей показник, так на 50 добу росту зафіксовано навіть незначне зростання, на 7%. Середні концентрації спричинили зниження цього показника на 10–20%, тоді як висока концентрація (8%) викликала зниження маси сухої речовини в коренях на 62% на 30-ту та 66% на 50-ту добу росту відповідно.

Таблиця 3

Нагромадження маси сухої речовини у рослин *Scirpus sylvaticus L.* за впливу нафтового забруднення, (г)

Варіант досліду		**30 доба**	**50 доба**
Контроль	Надземна частина	0,085 ± 0,001	0,097 ± 0,001
	Корінь	0,048 ± 0,006	0,057 ± 0,001
0,3%	Надземна частина	0,081 ± 0,003	0,091 ± 0,004
	Корінь	0,042 ± 0,001	0,061 ± 0,004
2%	Надземна частина	0,074 ± 0,004	0,088 ± 0,006
	Корінь	0,040 ± 0,002	0,051 ± 0,004
5%	Надземна частина	0,068 ± 0,002	0,074 ± 0,002
	Корінь	0,038 ± 0,004	0,046 ± 0,003
8%	Надземна частина	0,022 ± 0,004	0,034 ± 0,006
	Корінь	0,018 ± 0,002	0,019 ± 0,004

Отже, інгібуючий вплив нафтового забруднення ґрунту на вміст маси сухої речовини зростає із концентрацією забруднювача. Проте динаміка цього зниження свідчить про можливе пристосування рослин *Scirpus sylvaticus* L до дії високих концентрацій нафти, що узгоджується з отриманими морфометричними даними.

Процес очищення ґрунту від нафтового забруднення, як уже зазначалось вище, є складним, тривалим та багатоетапним, що залежить від фізико-хімічних властивостей нафти а також низки характеристик ґрунту: гранулометричного складу, вологості, вмісту гумусу, мікробіоти тощо. Його умовно можна поділити на два етапи, що здійснюються послідовно і паралельно – це фізичне та біологічне очищення ґрунту.

Перший етап настає відразу після розливу нафти і включає насамперед випаровування летких компонентів та зв'язування нелетких та смолистих складових часточками ґрунту. Фізичне очищення ґрунту триває приблизно 100–120 діб, залежно від типу фіторемедіанта, часу його проростання та умов природного середовища (температури, вологості, ґрунту, наприклад, для дерново-підзолистих ґрунтів ефективність очищення складає до 30% від початкової концентрації нафти) [5, 10]. Впродовж цього періоду різко знижується токсичність компонентів нафти для мікробіоти ґрунту та рослинності. Токсичність випарів летких компонентів нафти на 30-ту добу знижується до рівня, що не інгібує ріст стійких до нафтового забруднення рослин чи проростання їхнього насіння [1, 5, 7]. Цей факт дозволяє проводити швидку рекультивацію нафтозабруднених ґрунтів, поєднуючи одночасно з фізичні та біологічні методи за допомогою стійких видів рослин (осоки, бобу, конюшини, вівса посівного тощо), так і за допомогою мікроорганізмів-деструктрів нафти. Стійкість до нафтового забруднення деяких рослин, наприклад, бобових, пояснюють здатністю фіксувати атмосферний азот, забезпечувати себе джерелом мінерального альтернативного живлення у ґрунті забрудненому нафтою шляхом розкладання вуглеводнів нафти.

Період деградації нафти у ґрунті тривав 80 днів, з них 50 днів за участю рослини. Сумарний вміст нафти у ґрунтах визначали на 30-ту добу після внесення нафти у ґрунт, під час висаджування рослин комишу, та на 80-добу після забруднення (табл. 4).

Аналіз результатів вказує на те, що найінтенсивніше зниження вмісту нафти у ґрунті відбувається впродовж перших 30–40 діб після виливу, після цього динаміка процесу самоочищення поступово гальмується і зростає лише після кількох місяців (до року) за умов активування ґрунтових біодеструкторів. Впродовж перших 30 діб досліду леткі компоненти випаровувались, а їхній вміст в наступні 80 діб незначно знижувався, що пов'язано з утрудненням випаровування летких та нагромадженням нелетких складових нафти. Динаміки самоочищення ґрунту наведена на рис 2.

Таблиця 4

Сумарний вміст нафти у ґрунті за росту рослин комишу

Початковий вміст нафти у ґрунті / **Варіанти досліду**	**0,3%**	**2%**	**5%**	**8%**
30 діб після внесення нафти, висаджування рослин	0,2±0,03	1,5±0,15	4,0±0,6	6,5±0,9
80 діб після внесення нафти, контрольний ґрунт	0,18±0,02	1,3±0,2	3,2±0,38	5,9±0,7
80 діб після внесення нафти, рослини комиша	0,11±0,02	0,9±0,1	2,5±0,35	5,1±0,7

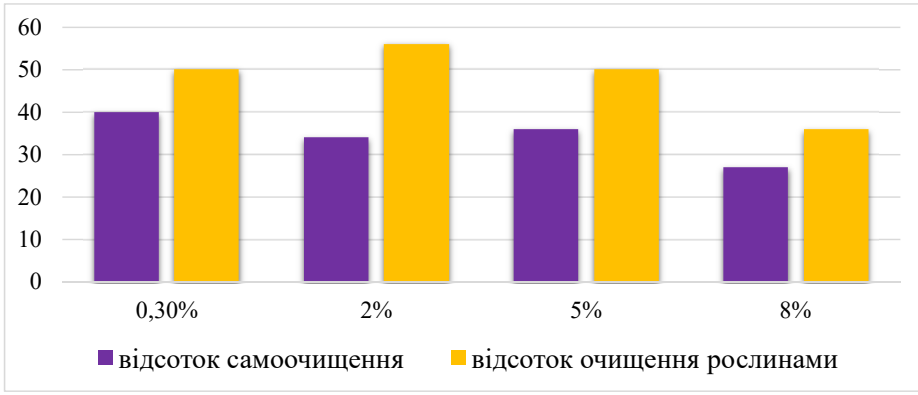


Рис. 2. Відсоток очищення ґрунту від нафтового забруднення за впливу рослин комишу лісового, %

З отриманих результатів видно, що відсоток самоочищення ґрунту впродовж 80 діб експерименту зменшувався із збільшенням концентрації (вмісту) нафти у субстраті: при 0,3% – 40%, при 2% – 35%, при 5% – 36% та при 8% – 26%. Тобто, ступінь самоочищення ґрунту знижується із зростанням рівня забруднювача, що пояснюють пригніченням процесів біодеструкції у сильно забруднених нафтою ґрунтах.

Виявлено позитивний вплив рослин комишу на вміст нафти у ґрунтів, а саме зниження її вмісту. Так, у варіанті 0,3% нафти у ґрунті на 80 добу після внесення нафти та 50-ту добу росту рослин залишилося всього 0,11%, тобто відсоток очищення становить 50%. Такі ж високі результати отримано і для інших варіантів, зокрема, відсоток очищення ґрунту у варіанті 2% та 5% складав 55% та 50% відповідно, тоді як у варіанті із 8% забрудненням ґрунту лише 36%. Вірогідно це пов'язано із екстремальними стресовими умовами цього варіанту для рослин комиша, що виявлялися також в інгібуванні досліджених морфо-фізіологічних характеристик.

Наведені дані свідчать про ефективність та доцільність використання рослин *Scirpus sylvaticus L* для фіторемедіаційних заходів на високозволожених ґрунтах, забруднених нафтою до 8%.

ВИСНОВКИ

Досліджено адаптаційні реакції *Scirpus sylvaticus L* (комишу лісового) до дії нафтового забруднення, виявлено зниження вмісту нафти в ґрунті та показано можливість використання цього виду для очищення природного середовища від нафтового забруднення.

Встановлено, що ріст коренів та пагонів рослин комишу у нафтозабрудненому ґрунті та нагромадження ними сирої маси інгібується, зокрема за дії 8% нафти спостерігається показане зменшення площі листової поверхні, довжини коренів та їхньої маси наполовину. Динаміка цього зниження свідчить про пристосування рослин *Scirpus sylvaticus L* (комиша лісового) до дії високих концентрацій нафти.

Виявлено, що за росту рослин *Scirpus sylvaticus L* комишу лісового індекс токсичності за умов 5% та 8% нафтового забруднення для цих варіантів знижувався до 46% та 50%, знижувалася також мутагенна активність, що підтверджує зниження

загальної токсичності середовища. Вміст нафтопродуктів у ґрунтах, на яких росли рослини *Scirpus sylvaticus L* (комишу лісового), знижується, що дозволяє рекомендувати їх для фіторекультивації територій. Можливість проведення рекультивації без внесення різних агентів ремедіації (мікроорганізмів-деструкторів нафти), спрощуватиме та здешевлюватиме процес відновлення забруднених ґрунтів.

Проведені дослідження є основою для розробки технології відновлення нафтозабруднених добрезволожених (болотних) територій шляхом висаджування рослин комишу лісового (*Scirpus sylvaticus L*).

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурда І., Шевчук О., Ільчишин О., Величко О. Перспективи використання рослин люцерни хмелевидної з метою фіторемедіації нафтозабрудненого ґрунту. *Біологічні студії. Studia Biologica*. 2017. Т.11, № 3-4. С. 87–88.
2. Величко О.І. Роль обміну Нітрогену в адаптації рослин конюшини лучної до умов нафтозабрудненого ґрунту. *Біологічні студії. Studia Biologica*. 2020. Т. 14, № 1. С. 105–118. DOI: https://doi.org/10.30970/sbi.1401.612
3. Грицак Л., Барна І., Кодлюк І., Сельська І., Сплавінська Ю., Сукар Х., Барна С. Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля. *Наукові записки*. 2017. № 2. С. 153–165.
4. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т. В. Загальна екологія. Практичний курс: навчально-методичний посібник для студентів вищих навчальних закладів. *Частина 2. Природні наземні екосистеми*. Чернівці. 2008. 320 с.
5. Романюк О.І., Борецька І.Ю., Шевчик Л.З., Ощаповський І.В. Розробка фіторемедіаційних композицій для очистки ґрунтів, забруднених нафтою та її похідними. *Науково-практичний журнал. Екологічні науки*. 2022. № 4. (43). С. 94–99. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.15
6. Стаднічук О., Платонов М., Мартинюк І., Кропивницька Л. Вплив дегазуючих систем на довкілля. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія. 2015. № 19. С. 8–12.
7. Bunio L. V., Tsvilynyuk O. M. Influence of crude oil pollution on the content and electrophoretic spectrum of proteins in Carex hirta plants at the initial stages of vegetative development. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021. Vol. 12 (3). P. 459–466.
8. Glibovytska N. Bio-indication perspectivity of *betula pendula* roth. under conditions of environmental oil pollution. Біоіндикаційна перспективність берези повислої в умовах нафтового забруднення довкілля. *Acta Carpathica*. 2022. № 1. P. 36–44. DOI: https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.1.4
9. Kiiskila J. D., Das P., Datta D. S. R. Phytoremediation of Explosive-Contaminated Soils. *Curr Pollution Rep*. 2015. 1. P. 23–34. DOI 10.1007/s40726-015-0003-3
10. Kobyletska M., Velychko O., Mamchur O. Adaptive reactions of wheat plants to drought conditions under the influence of salicylic acid. *Studia Biologica*. 2023. 17 (4). 117–132. doi:10.30970/sbi.1704.749
11. Lazim I.I., Mohammed S.J., Al-Naqeeb N. A., Fayed M. I. A. Use of Some Aquatic Plants as Bioindicator of Contamination with Hydrocarbons and Heavy Elements: A Review. *Annals of Agri-Bio Research*. 2022. 27 (2). 204–210.
12. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Dychenko O.Yu., Korchahin O.P., Molchanova A.V. The estimation of phytotoxic action of wastewater in waste disposal sites on *Triticum aestivum* resistance. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 2. С. 77–84. DOI: 10.31210/visnyk2019.02.09

13. Sheikh-Abdullah S. R., Al-Baldawi I. A., Almansoory A. F., Purwanti I. F., Al-Sbani N. H., Sharuddin, S. S. N. Plantassisted remediation of hydrocarbons in water and soil: Application, mechanisms, challenges and opportunities. *Chemosphere*. 2020. 247. 125932. *https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020. 125932.*

REFERENCES

1. Burda, I., Shevchuk, O., Ilchyshyn, O., & Velychko, O. (2017). Perspektyvy vykorystannia roslyn liutserny khmelevydnoi z metoiu fitoremediatsii naftozabrudnenoho hruntu [Prospects for the use of hop alfalfa plants for phytoremediation of oil-contaminated soil]. *Studia Biologica*, 11, № 3-4, P. 87–88. [in Ukrainian]
2. Velychko, O. I. (2020). Rol obminu Nitrohenu v adaptatsii roslyn koniushyny luchnoi do umov naftozabrudnenoho rruntu [The role of nitrogen metabolism in the adaptation of red clover plants to oil-contaminated soil]. *Biolohichni studii – Studia Biologica*, 14(1), 105–118. https://doi.org/10.30970/sbi.1401.612 [in Ukrainian]
3. Hrytsak, L., Barna, I., Kodliuk, I., Selska, I., Splavinska, Yu., Sukar, Kh., & Barna, S. (2017). Bioindykatsiini metody dlia potreb systemnoho analizu yakosti dovkillia [Bioindicative methods for environmental quality analysis]. *Naukovi zapysky*, (2), 153–165. [in Ukrainian]
4. Rudenko, S. S., Kostyshyn, S. S., & Morozova, T. V. (2008). Zahalna ekolohiia. Praktychniy kurs: navchalno-metodychnyi posibnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv. Chastyna 2. Pryrodni nazemni ekosystemy [General ecology. Practical course. Part 2: Natural terrestrial ecosystems]. Chernivtsi: [Publishing house]. [in Ukrainian]
5. Romaniuk, O. I., Boretska, I. Yu., Shevchyk, L. Z., & Oshchapovskyi, I. V. (2022). Rozrobka fitoremediatsiinykh kompozytsii dlia ochystky rruntiv, zabrudnenykh naftoiu ta yii pokhidnymy [Development of phytoremediation compositions for the remediation of oil-contaminated soils]. *Ekolohichni nauky – Ecological Sciences*, (4)43, 94–99. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.15 [in Ukrainian]
6. Stadnichuk, O., Platonov, M., Martyniuk, I., & Kropyvnytska, L. (2015). Vplyv dehazuinykh system na dovkillia [Impact of degassing systems on the environment]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ahronomiia – Bulletin of Lviv National Agrarian University. Agronomy*, (19), 8–12. [in Ukrainian]
7. Bunio, L. V., & Tsvilynyuk, O. M. (2021). Influence of crude oil pollution on the content and electrophoretic spectrum of proteins in *Carex hirta* plants at the initial stages of vegetative development. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12(3), 459–466.
8. Glibovytska, N. (2022). Bio-indication perspectivity of *Betula pendula* Roth. under conditions of environmental oil pollution [Біоіндикаційна перспективність берези повислої в умовах нафтового забруднення довкілля]. *Acta Carpathica*, (1), 36–44. https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.1.4
9. Kiiskila, J. D., Das, P., & Datta, D. S. R. (2015). Phytoremediation of explosive-contaminated soils. *Current Pollution Reports*, 1, 23–34. https://doi.org/10.1007/s40726-015-0003-3
10. Kobyletska, M., Velychko, O., & Mamchur, O. (2023). Adaptive reactions of wheat plants to drought conditions under the influence of salicylic acid. *Studia Biologica*, 17(4), 117–132. https://doi.org/10.30970/sbi.1704.749
11. Lazim, I. I., Mohammed, S. J., Al-Naqeeb, N. A., & Fayed, M. I. A. (2022). Use of some aquatic plants as bioindicator of contamination with hydrocarbons and heavy elements: A review. *Annals of Agri-Bio Research*, 27(2), 204–210.
12. Pysarenko, P. V., Samoilik, M. S., Dychenko, O. Yu., Korchahin, O. P., & Molchanova, A. V. (2019). The estimation of phytotoxic action of wastewater in waste disposal sites on *Triticum aestivum* resistance. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, (2), 77–84. https://doi.org/10.31210/visnyk2019.02.09

13. Sheikh-Abdullah, S. R., Al-Baldawi, I. A., Almansoory, A. F., Purwanti, I. F., Al-Sbani, N. H., & Sharuddin, S. S. N. (2020). Plant-assisted remediation of hydrocarbons in water and soil: Application, mechanisms, challenges and opportunities. *Chemosphere*, 247, 125932. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125932

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING *SCIRPUS SYLVATICUS L* FOR PHYTOREMEDIATION OF SOILS FROM OIL PRODUCTS

The result of anthropogenic activity is a significant burden on the lithosphere, as toxic substances entering the environment accumulate, change the chemical composition of soils and disrupt the integrity of the geochemical environment and biota. Methods of phytoindication, which involve the use of sensitive bioindicators-plant species to different types of pollution, are quite promising. The choice of species of higher aquatic plants that develop a complex root system and accumulate polytopes is an important aspect for phytoremediation of the contaminated environment. Among them, the forest reed (*Scirpus sylvaticus L*) is promising. The aim of the study was to identify the possibilities of using *Scirpus sylvaticus L* as a phytoremediator of secondary action for the remediation of soils contaminated with oil and oil products. The object of the study was plants planted in clay soils contaminated with oil (0.3%, 2%, 5%, 8%), selected from marshy "conditionally clean" areas. The adaptive reactions of *Scirpus sylvaticus L* to oil pollution and the decrease in oil content in the soil after 80 days were revealed. The possibility of using this species to clean the environment from oil pollution is shown.

It was found that the growth of roots and shoots of reed plants in oil-contaminated soil and their accumulation of crude mass is inhibited, in particular, under the influence of 8% oil, a significant decrease in leaf surface area, root length, and root mass is observed. In the growth of *Scirpus sylvaticus L* plants, the toxicity index under conditions of 5 % and 8% oil pollution decreased to 46% and 50%, respectively, and the mutagenic activity also decreased, which confirms the reduction of the overall toxicity of the environment. The content of petroleum products in the soils on which *Scirpus sylvaticus L* plants grew decreased, which allows us to recommend them for phytoremediation of well-moistened (marsh) oil-contaminated areas. The ability to carry out remediation without the use of various remediation agents (oil-destroying microorganisms) will simplify and reduce the cost of the process of restoring contaminated soils.

Key words: phytoremediation, forest reed (*Scirpus sylvaticus L*), oil pollution, morphometric parameters, bioindication.

УДК 502.521(477.44):546.3-022.17]:504.5-047.44](045)
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.6

Олена Василівна Кочубей,
доктор філософії, викладач кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-5047-6694, e-mail: sncelena@gmail.com

Світлана Василівна Совгіра,
доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-8742-7773, e-mail: sovgirasvitlana@gmail.com

Наталія Юріївна Душечкіна,
кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-4203-7122, e-mail: nataxeta74@gmail.com

НОРМУВАННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ: ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОБУЖЖЯ)

Анотація. У статті висвітлюється проблема техногенного забруднення ґрунтів важкими металами в межах Центрального Побужжя, що є регіоном зі значним антропогенним навантаженням. У контексті активного розвитку промисловості, транспорту, сільськогосподарської діяльності та урбанізації, відбувається накопичення в ґрунтовому середовищі токсичних елементів, зокрема кадмію, свинцю, міді, цинку, нікелю, хрому, що створює потенційну загрозу для стану агроекосистем, якості продукції рослинництва та здоров'я населення. Метою дослідження є аналіз сучасних хімічних методів виявлення важких металів у ґрунтах і наукове обґрунтування принципів їх екологічного нормування. У роботі подано коротку характеристику основних інструментів аналітичної хімії, зокрема спектрофотометричних, атомно-абсорбційних, рентгенофлуоресцентних методів, що дозволяють здійснювати високоточне кількісне визначення концентрацій токсичних елементів.

Також проаналізовано наявні нормативно-правові документи щодо гранично допустимих концентрацій (ГДК) для ґрунтів різного типу, а також методики розрахунку узагальнених індексів забруднення, таких як індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ), геохімічний коефіцієнт накопичення, ступінь техногенного навантаження. Результати хімічного аналізу, проведеного на території Центрального Побужжя, свідчать про локальне перевищення нормативних показників, що обумовлює необхідність посилення регіонального екологічного моніторингу, оптимізації системи землеустрою та запровадження інтегрованого підходу до охорони ґрунтів. Обґрунтовано перспективність використання геоінформаційних технологій у поєднанні з аналітикою для створення карт техногенного навантаження, що сприятиме ефективному прийняттю управлінських рішень у сфері охорони довкілля. Матеріали статті можуть бути корисними для екологів, ґрунтознавців, хіміків-аналітиків, фахівців з природоохоронного менеджменту.

Ключові слова: важкі метали, ґрунт, техногенне навантаження, хімічний аналіз, гранично допустима концентрація, Центральне Побужжя, нормування.

ВСТУП

Ґрунт є одним із найважливіших компонентів біосфери, що забезпечує життєдіяльність наземних екосистем, продуктивність агроландшафтів і сталий розвиток природного середовища. Водночас, ґрунт є й одним з основних акумуляторів техногенного забруднення, зокрема унаслідок надходження важких металів із промислових викидів, стічних вод, транспортних викидів, мінеральних добрив та засобів захисту рослин. Особливої актуальності це питання набуває у регіонах зі значною індустріалізацією, розвинутим агросектором і високою щільністю населення. Центральне Побужжя належить саме до таких територій, де інтенсивне використання природних ресурсів зумовлює значне антропогенне навантаження на ґрунтове середовище. Згідно з даними сучасних досліджень [1], [4], [3], основними джерелами важких металів є промисловість, транспорт та аграрний сектор.

Важкі метали, на відміну від органічних забруднювачів, є стійкими, не розкладаються у природних умовах і мають здатність до біоакумуляції та тривалого збереження в ґрунтовому профілі. Їх надлишок не лише порушує фізико-хімічні властивості ґрунтів, а й становить загрозу для трофічних ланцюгів, рослинної і тваринної продукції, а отже, й здоров'я людини. З огляду на це, важливою науковою та практичною проблемою є виявлення, оцінка та нормування вмісту важких металів у ґрунтах [4].

У науковій літературі наявні різні підходи до класифікації забруднення ґрунтів, проте ефективність природоохоронних заходів значною мірою залежить від достовірності хімічного аналізу та обґрунтованості екологічних нормативів. Саме тому хімічні дослідження, що застосовуються для виявлення токсичних елементів у ґрунтах, має важливе значення у контексті розроблення систем моніторингу та регіональних програм охорони довкілля [10].

Метою цієї статті є комплексне висвітлення хімічних методів визначення важких металів у ґрунтах, аналіз чинної нормативної бази щодо їх вмісту, а також оцінка рівня техногенного навантаження на територію Центрального Побужжя з урахуванням сучасних підходів до екологічного нормування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження було проведено на території Центрального Побужжя – природно-географічного регіону, що охоплює частину Вінницької, Кіровоградської та Черкаської областей [9]. Об'єктом дослідження виступають ґрунти, розташовані в зонах з різним рівнем антропогенного навантаження: поблизу промислових підприємств, автомагістралей, сільськогосподарських угідь інтенсивного використання, а також на умовно чистих (контрольних) ділянках. Особливу увагу приділено ділянкам, що зазнають впливу техногенних чинників, зокрема в межах промислових зон та транспортних розв'язок. Методика ґрунтується на підходах, викладених у роботах [6], що підтверджує її наукову валідацію.

Відбір зразків ґрунту здійснювався у весняно-літній період 2024 року за стандартною методикою, що передбачає пробовідбір з глибини 0–20 см – шару, найбільш схильного до накопичення токсикантів. Було відібрано понад 30 зразків із різних типів ґрунтів, зокрема чорноземів типових, лучно-чорноземних і сіроземів. Зразки транспортувалися до лабораторії в герметичних контейнерах із дотриманням температурного режиму.

Для хімічного аналізу вмісту важких металів використовувалися атомно-абсорбційна

спектрофотометрія (ААС) – для визначення концентрацій свинцю, кадмію, міді, цинку, нікелю та хрому, спектрофотометрія – як допоміжний метод для виявлення валентних форм металів (наприклад, Cr(III) та Cr(VI)) та уточнення результатів ААС, а також рентгенофлуоресцентний аналіз (XRF) – для оперативного скринінгового визначення загального вмісту елементів у твердих зразках без попередньої підготовки. Перед проведенням вимірювань зразки висушували, просіювали через сито з розміром отворів 1 мм, а потім піддавали кислотному розчиненню у відповідності до методичних рекомендацій ISO 11466:1995 та EPA 3050B. Для контролю точності використовували сертифіковані референтні матеріали та дублювання проб [8].

Інтерпретація результатів здійснювалась за допомогою таких аналітичних показників, як коефіцієнт варіації (Cv) – для оцінки просторової мінливості концентрацій металів, коефіцієнт накопичення (Кн) – співвідношення між концентрацією металу в забрудненому ґрунті та його фоновим рівнем, індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ) – як узагальнена оцінка ступеня техногенного навантаження, а також порівняння фактичного вмісту елементів із встановленими нормативами згідно з вимогами ДСП 11-11-2001 щодо гранично допустимих концентрацій (ГДК) [3].

Результати оброблялися із застосуванням статистичного програмного забезпечення Statistica 13.0, а також використовувалися можливості платформи QGIS для просторової візуалізації отриманих даних [7].

РЕЗУЛЬТАТИ

Результати хімічного аналізу ґрунтів Центрального Побужжя свідчать про наявність техногенно зумовленого забруднення важкими металами різного ступеня інтенсивності залежно від просторового розташування досліджуваних ділянок. Території, наближені до джерел техногенного навантаження – промислових об’єктів, автомагістралей, зон накопичення відходів – демонструють вищі концентрації кадмію, свинцю, цинку, міді, нікелю порівняно з контрольними зразками, відібраними в умовно чистих або слабо порушених ландшафтах [3].

Весняно-літній період 2024 року було обрано для польового етапу дослідження, що дозволило оцінити стан ґрунтів у період найменшої біологічної активності, коли мінеральні компоненти у більшій мірі стабілізовані й менш піддаються сезонним флуктуаціям. Загалом було відібрано понад 30 ґрунтових зразків, кожен з яких піддавався комплексному аналізу за вмістом цинку (Zn), міді (Cu), свинцю (Pb), кадмію (Cd), нікелю (Ni) та хрому (Cr). Для аналітичних вимірювань застосовували атомно-абсорбційний спектрометр, спектрофотометр та XRF-аналізатор, що забезпечили достовірність результатів та можливість зіставлення даних між ділянками з різним рівнем навантаження.

Середній вміст цинку у зразках коливався в межах 75–135 мг/кг, при нормативі 100 мг/кг. Найвищі значення були зафіксовані на ділянках інтенсивного сільськогосподарського використання, що свідчить про внесення мінеральних добрив, багатих на Zn [5]. Концентрація свинцю сягала 85 мг/кг, що перевищує ГДК (32 мг/кг) більш ніж у 2,5 раза, особливо поблизу автомагістралей. Кадмій, як один із найбільш токсичних елементів, виявлено у концентраціях до 1,7 мг/кг при нормативі 0,7 мг/кг, що вказує на наявність локальних джерел забруднення, імовірно, пов’язаних із згорянням пального, промисловими викидами та непрямим надходженням з полів (рис. 1).

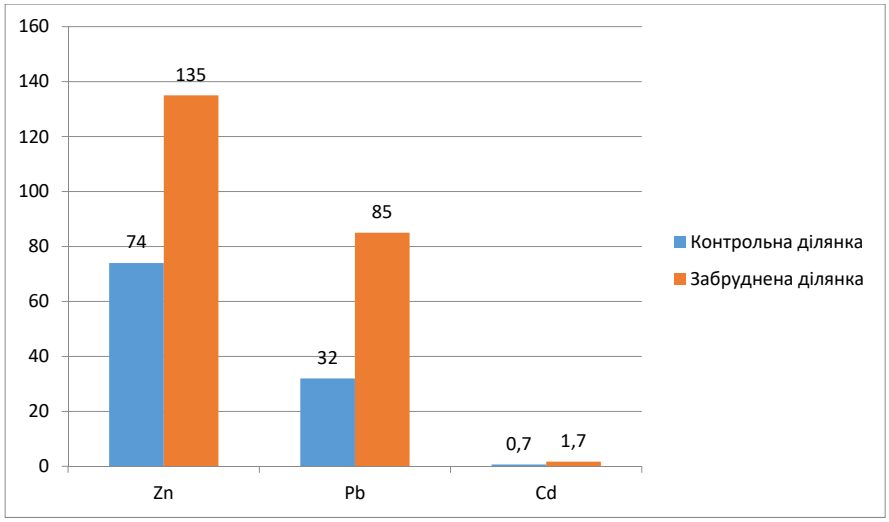


Рис. 1. Порівняння концентрацій Zn, Pb, Cd між контрольними та забрудненими ділянками

Для оцінки рівня техногенного навантаження було розраховано індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ), який охоплює сумарне відношення концентрацій металів до їх нормативних значень. За цим показником, у 27% зразків виявлено низький рівень забруднення (ІЗЗ < 16), у 41% – середній (16–32), а в 32% – високий рівень (ІЗЗ > 32). Високі значення ІЗЗ домінують у районах, де наявні старі промислові підприємства або об’єкти незадовільного екологічного стану (рис. 2).

Просторове представлення результатів у вигляді картографічної візуалізації у QGIS дозволило виділити кластери забруднення (рис. 3), що розташовані переважно вздовж основних транспортних шляхів і на периферії населених пунктів із розвиненою промисловою інфраструктурою [3].



Рис. 2. Просторовий розподіл рівнів ІЗЗ у %, категорії: низький, середній, високий

Окрім ІЗЗ, використовувався коефіцієнт накопичення (Кн), який показав значне перевищення фонових рівнів, особливо для Cd (Кн > 4) та Pb (Кн > 2,5), що підтверджує наявність техногенного навантаження. Статистична обробка результатів із використанням коефіцієнта варіації (Cv) виявила високу просторову мінливість концентрацій металів: Cv для Cd і Pb сягав 60–70%, що свідчить про локалізований характер джерел забруднення, пов'язаний із особливостями техногенного впливу в межах досліджуваного регіону.

Порівняння з міжнародними стандартами, зокрема Європейського Союзу (EU Soil Strategy), показало, що українські ГДК для Cd і Pb є значно вищими за рекомендовані європейські порогові значення, що може знижувати ефективність екологічного контролю. Наприклад, ГДК кадмію в ґрунтах ЄС становить 0,3 мг/кг, тоді як в Україні -0,7 мг/кг, що свідчить про потребу у перегляді нормативів з урахуванням сучасних уявлень про токсичність елементів та їхню поведінку в ґрунтовому середовищі [4]. Більше того, вітчизняна система нормування здебільшого ґрунтується на середніх показниках, не враховуючи специфіку ґрунтів конкретного регіону, їхню буферну здатність, кислотність, гранулометричний склад, які суттєво впливають на мобільність металів і біодоступність.

Дослідження також засвідчило доцільність розширення методології моніторингу за рахунок біоіндикаційних підходів, зокрема використання накопичення металів у рослинних індикаторах (наприклад, кульбаба, кропива), а також інтеграції аналітичної хімії з геоінформаційними технологіями для створення інструментів оперативного реагування. Такі інструменти можуть слугувати основою для регіонального управління

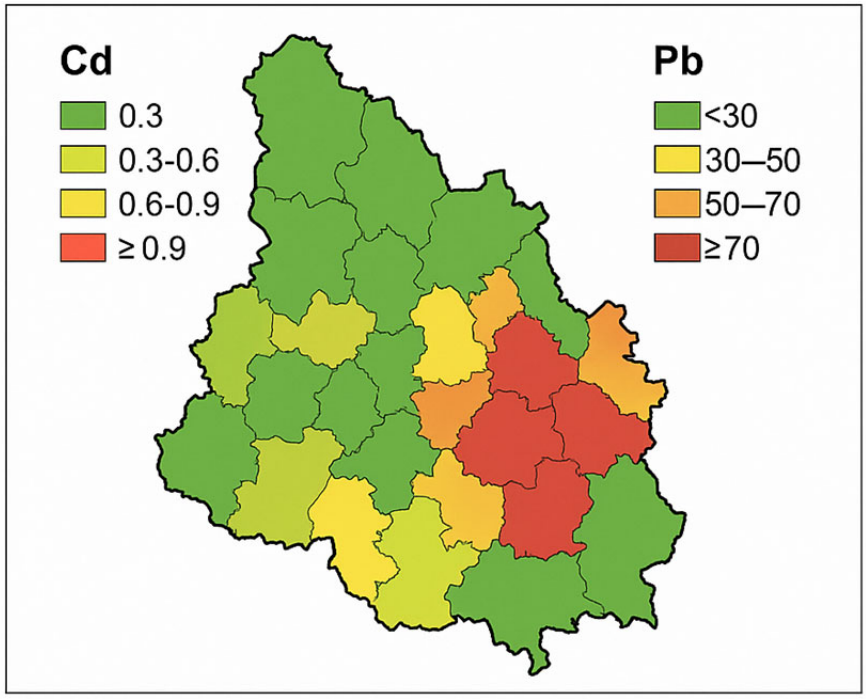


Рис. 3. Карта просторового розподілу ІЗЗ, побудована в QGIS

земельними ресурсами, визначення пріоритетних зон рекультивації, агроекологічного планування та запобігання деградації ґрунтів [2].

Одним із ключових аспектів у інтерпретації отриманих даних стало зіставлення рівнів забруднення ґрунтів із типами землекористування, оскільки функціональне призначення території безпосередньо впливає на джерела і шляхи надходження важких металів у ґрунтове середовище. Так, на територіях інтенсивного сільськогосподарського використання відмічено стійке перевищення нормативних значень для міді та цинку, що пояснюється широким застосуванням мінеральних добрив, мікроелементних добавок і препаратів на основі міді для обробки рослин. Це узгоджується з літературними джерелами, в яких вказується на сільське господарство як друге за значимістю джерело важких металів у ґрунтах після промисловості.

У зразках, відібраних із територій, прилеглих до автомагістралей, домінували підвищені концентрації свинцю та кадмію. Незважаючи на обмеження або заборону використання тетраетилсвинцю в сучасному пальному, залишкові наслідки багаторічної експлуатації автомобільного транспорту все ще виявляються в структурі забруднення ґрунтів [8]. Крім того, сучасний автотранспорт, особливо дизельний, продовжує бути джерелом кадмію та інших важких металів, які викидаються з вихлопними газами, зносу шин і гальмівних колодок. У такий спосіб формуються так звані «лінійні джерела» забруднення, які особливо небезпечні через довжину впливу та накопичувальний ефект [9].

На територіях із ознаками промислового впливу було виявлено комплексне забруднення ґрунтів кількома важкими металами одночасно. Саме там спостерігались найвищі значення індексу ґрунтового забруднення (ІЗЗ > 40), що відповідає високому ступеню небезпеки для навколишнього середовища. У низці точок зафіксовано зміни кольору та структури ґрунтового профілю, зокрема ущільнення, зміщення кислотності в бік підкислення, що додатково впливає на мобільність металів та їх проникнення у глибші горизонти [7].

Дослідження показали, що гранулометричний склад ґрунтів також відіграє суттєву роль у накопиченні важких металів. Найвищі концентрації виявлено у дрібнозернистих та суглинкових ґрунтах, які мають більшу питому поверхню, а отже, вищу здатність до сорбції металів. У піщаних ґрунтах, навпаки, вміст важких металів був нижчим, що пояснюється їх меншою сорбційною здатністю та вищою фільтраційною активністю. Такий висновок підтверджує необхідність у регіональному нормуванні забруднення ґрунтів із урахуванням не лише типу землекористування, але й фізико-хімічних властивостей самих ґрунтів.

Інтеграція результатів хімічного аналізу в геоінформаційне середовище дозволила не лише просторово візуалізувати зони забруднення, але й змоделювати потенційне поширення токсичних елементів за сценаріями розвитку територій. Побудовані тематичні карти техногенного навантаження дозволяють планувати заходи з локалізації та мінімізації екологічного ризику, а також оцінити ефективність застосування природоохоронних технологій на конкретних ділянках. Це особливо важливо в умовах зміни клімату, коли ерозійні процеси, змиви та коливання ґрунтових вод можуть істотно посилити розповсюдження забруднювачів.

У рамках дослідження також запропоновано формування локальних нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) для кожного району Центрального Побужжя з урахуванням фонового стану ґрунтів, типу господарської діяльності, кліматичних та гідрогеологічних особливостей. Такий підхід дозволить зробити систему екологічного

нормування більш гнучкою та адаптивною, що відповідає принципам європейської стратегії щодо сталого управління ґрунтами.

Загалом, результати дослідження підтвердили складний, мультифакторний характер техногенного навантаження на ґрунтове середовище Центрального Побужжя. Комплексний аналіз, що включає хімічні, статистичні, картографічні та біоіндикаційні підходи, дає змогу не лише ідентифікувати проблемні ділянки, а й сформувати науково обґрунтовану базу для прийняття управлінських рішень у сфері охорони земель.

ВИСНОВКИ

Комплексне дослідження вмісту важких металів у ґрунтах Центрального Побужжя засвідчило наявність значного техногенного навантаження на ґрунтове середовище, що зумовлено поєднанням промислової діяльності, інтенсивного землеробства та транспортного навантаження. Найбільші концентрації кадмію, свинцю, цинку та міді були зафіксовані на територіях, наближених до джерел забруднення, зокрема промислових об'єктів і автомобільних доріг, а також на сільськогосподарських угіддях, де активно застосовуються добрива та агрохімікати.

Розраховані індекси забруднення, зокрема індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ) і коефіцієнти накопичення, підтвердили локальні та регіональні перевищення встановлених нормативних рівнів, що свідчить про потребу в удосконаленні системи екологічного моніторингу. Отримані дані демонструють високу просторову варіативність рівнів забруднення, зумовлену як природними факторами (гранулометричний склад, кислотність ґрунтів), так і антропогенними джерелами впливу.

Порівняння результатів із національними та міжнародними нормативами показало необхідність перегляду вітчизняної нормативної бази з урахуванням регіональної специфіки та європейських екологічних вимог. Особливо це стосується гранично допустимих концентрацій кадмію та свинцю, які в Україні вищі, ніж у країнах ЄС, що знижує рівень ефективності екологічного контролю.

Доцільним вбачається впровадження інтегрованої системи оцінювання стану ґрунтів, яка поєднує аналітичні хімічні методи, біоіндикаційні підходи та геоінформаційні технології. Такий міждисциплінарний підхід дозволяє не лише виявляти джерела та рівні забруднення, але й створювати картографічні моделі ризику, які можуть бути використані в управлінні територіями, плануванні рекультиваційних заходів і формуванні регіональної політики сталого землекористування.

Таким чином, результати дослідження можуть стати підґрунтям для розроблення науково обґрунтованих заходів щодо охорони ґрунтів, адаптації системи екологічного нормування до сучасних викликів, а також створення ефективного механізму моніторингу та управління станом ґрунтових ресурсів Центрального Побужжя.

ЛІТЕРАТУРА

1. Datsko O., Butenko E., Kovalenko S. Ecological Assessment of Heavy Metal Content in Ukrainian Soils. *Journal of Ecological Engineering*. 2024, Т. 25, № 11. С. 100–108. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/192669
2. Yakymchuk A., Balanda O., Bzowska-Bakalarz M. Assessment of Soil Contamination of Ukraine with Heavy Metals. *Management Systems in Production Engineering*. 2024, Т. 32, № 2. С. 670–678. DOI: https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0039

3. Gololobova O.O. Assessment of Ecological Risk of Soil Contamination by Heavy Metals. *Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*. 2024, № 31. С. 12–20. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-31-02
4. Sytar O., Taran N. Effect of Heavy Metals on Soil and Crop Pollution in Ukraine – A Review. *Journal of Central European Agriculture*. 2023, Т. 23, № 4. С. 879–892. DOI: https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603
5. Kurylo P., Kharlamova O., Chornobay O., Kovalenko S. Heavy Metal Pollution of Soils in the Donetsk Region as a Result of War. *Environmental Research*. 2019, Т. 179. С. 108744. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108744
6. Shparyk Y., Parpan V. Heavy Metal Pollution and Forest Health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*. 2020, Т. 267. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115634
7. Kravets V., Skorobogatov L., Danylenko I., Kovtun O., Chorniy M. Soil Pollution in Areas Affected by Military Actions in Eastern Ukraine. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021, Т. 193, № 3. С. 123. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-021-08923-4
8. Tytova O., Steshenko V., Zadorozhna S. Environmental Consequences of War: Changes in Heavy Metal Concentrations in Soils of Eastern Ukraine. *Science of the Total Environment*. 2022, Т. 812. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152456
9. Babicheva I., Kalita O., Romanyuk Y. Influence of Military Activities on Heavy Metal Levels in Soils of Eastern Ukraine. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2018, Т. 19, № 3. С. 1239–1247.
10. Kovalenko S., Butenko E., Datsko O. Environmental Assessment of Soil Contamination by Trace Metals. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024, Т. 196, № 5. С. 345. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-024-12345-6

REFERENCES

1. Datsko, O., Butenko, E., & Kovalenko, S. (2024). Ecological assessment of heavy metal content in Ukrainian soils. *Journal of Ecological Engineering*, 25(11), 100–108. https://doi.org/10.12911/22998993/192669
2. Yakymchuk, A., Balanda, O., & Bzowska-Bakalarz, M. (2024). Assessment of soil contamination of Ukraine with heavy metals. *Management Systems in Production Engineering*, 32(2), 670–678. https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0039
3. Gololobova, O.O. (2024). Assessment of ecological risk of soil contamination by heavy metals. *Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*, (31), 12–20. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-31-02
4. Sytar, O., & Taran, N. (2023). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine – A review. *Journal of Central European Agriculture*, 23(4), 879–892. https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603
5. Kurylo, P., Kharlamova, O., Chornobay, O., & Kovalenko, S. (2019). Heavy metal pollution of soils in the Donetsk region as a result of war. *Environmental Research*, 179, 108744. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108744
6. Shparyk, Y., & Parpan, V. (2020). Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*, 267, 115634. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115634
7. Kravets, V., Skorobogatov, L., Danylenko, I., Kovtun, O., & Chorniy, M. (2021). Soil pollution in areas affected by military actions in Eastern Ukraine. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(3), 123. https://doi.org/10.1007/s10661-021-08923-4
8. Tytova, O., Steshenko, V., & Zadorozhna, S. (2022). Environmental consequences of war: Changes in heavy metal concentrations in soils of Eastern Ukraine. *Science of the Total Environment*, 812, 152456. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152456

9. Babicheva, I., Kalita, O., & Romanyuk, Y. (2019). Influence of military activities on heavy metal levels in soils of Eastern Ukraine. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(3), 1239–1247.
10. Kovalenko, S., Butenko, E., & Datsko, O. (2024). Environmental assessment of soil contamination by trace metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(5), 345. https://doi.org/10.1007/s10661-024-12345-6

ABSTRACT

REGULATION OF HEAVY METALS CONTENT IN SOILS: CHEMICAL METHODS FOR ASSESSING TECHNOLOGICAL LOAD (USING THE EXAMPLE OF THE CENTRAL *POBUZHZHIA*)

The article highlights the problem of technogenic soil contamination with heavy metals in the Central Pobuzhzhia region, which is characterized by significant anthropogenic pressure. Due to the intensive development of industry, transportation, agriculture, and urbanization, toxic elements such as cadmium, lead, copper, zinc, nickel, and chromium are increasingly accumulating in the soil environment. This poses a serious threat to the sustainability of agroecosystems, the safety of crop production, and public health. The main goal of this study is to analyze current chemical methods for detecting heavy metals in soils and to scientifically substantiate the principles of their environmental regulation. The article briefly characterizes the main tools of analytical chemistry, including spectrophotometric, atomic absorption, and X-ray fluorescence methods, which enable accurate quantitative determination of pollutant concentrations.

The study also examines the regulatory and legal documents that define the maximum allowable concentrations (MACs) for different types of soils and outlines the methodologies for calculating integral pollution indices such as the Soil Pollution Index (SPI), geochemical accumulation coefficient, and the degree of technogenic pressure. The results of chemical analyses conducted in the Central Pobuzhzhia territory indicate local exceedances of normative values, underscoring the need to strengthen regional environmental monitoring systems, optimize land use planning, and implement an integrated approach to soil protection. The article emphasizes the prospects of using geographic information systems (GIS) in combination with analytical data to develop technogenic load mapping, which would facilitate more effective decision-making in environmental management. The presented materials are of practical value for environmental scientists, soil experts, analytical chemists, and professionals in environmental protection and land management.

Key words: heavy metals, soil, technogenic load, chemical analysis, maximum allowable concentration, Central Pobuzhzhia, regulation.

УДК 581.17:581.45]:582.916.11](045)
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.7

Вікторія Олександрівна Скакун,
кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології та здоров'я людини
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0001-5161-123X, e-mail: skakyn_vika@meta.ua

ОСОБЛИВОСТІ КЛІТИННОЇ БУДОВИ ЛИСТКА *BUDDLEJA DAVIDII* L.

Анотація. Вивчення клітинної будови листка є важливим напрямом ботанічних досліджень, оскільки листок – це головний орган фотосинтезу, газообміну та транспірації у рослин. Розуміння його клітинної організації дозволяє пояснити механізми росту, адаптації до навколишнього середовища та продуктивності рослин. У статті розглянуто структурні особливості клітинних шарів листка *Buddleja davidii* L., зокрема епідерми, мезофілу та провідних тканин. Окрема увага приділена функціональній ролі продихів, трихом та міжклітинників у процесах адаптації рослин до різних екологічних умов. Адже рослини, як нерухомі організми, змушені пристосовуватися до змін навколишнього середовища за рахунок морфологічних і фізіологічних особливостей. Саме продихи, трихоми та міжклітинники відіграють важливу роль в адаптаційних процесах, забезпечують регуляцію газообміну, водного балансу, захищають від несприятливих чинників та оптимізують обмін речовин. Також вони є ключовими морфофункціональними структурами, які забезпечують адаптацію рослин до різноманітних екологічних умов – від засушливих степів до заболочених місць і водного середовища. Їхня ефективна взаємодія сприяє виживанню та успішному розвитку рослин у змінному середовищі. Описані особливості клітинної будови листка *Buddleja davidii* L. – декоративної рослини, широко відомої завдяки своїй екологічній стійкості та здатності адаптуватися до різних умов навколишнього середовища. Проведено детальний аналіз анатомо-морфологічних характеристик листкової пластинки, зокрема епідерми, мезофілу та провідних пучків. Виявлено, що листки *Buddleja davidii* L. мають чітко виражену ксероморфну будову, що забезпечує високу посухостійкість рослини. Встановлено наявність специфічних адаптаційних ознак, таких як товстий кутикулярний шар, щільно упаковані клітини стовбчастого мезофілу та добре розвинена судинна система. Отримані результати сприяють розумінню адаптаційних механізмів *B. davidii* L. до стресових екологічних факторів та можуть бути корисними для подальшого використання цієї рослини в ландшафтному дизайні та екологічних проєктах.

Ключові слова: клітина, листок, продихи, трихоми, мезофіл.

ВСТУП

Buddleja davidii Franch. – декоративна листопадна рослина родини Scrophulariaceae, широко відома під назвою «метеликовий кущ» завдяки здатності приваблювати численних комах-запилювачів. У ландшафтному дизайні вона цінується за рясне й тривале цвітіння, стійкість до посухи та швидке зростання. Природний ареал будлеї Давида охоплює гірські регіони Китаю, Тибету та Японії, однак упродовж останніх десятиліть вид активно інтродукується та натуралізується в помірних зонах Європи й Північної Америки, зокрема й в Україні.

Незважаючи на популярність *B. davidii* у декоративному садівництві, анатомо-морфологічна будова її вегетативних органів залишається недостатньо вивченою, особливо в умовах інтродукції. У науковій літературі основна увага приділяється

систематиці, агротехнічним прийомам вирощування, селекції сортів, а також екологічному впливу виду, який у деяких регіонах розглядається як інвазійний.

Дослідження будови листка *B. davidii* переважно представлені в роботах з екологічної анатомії, де аналізуються адаптивні особливості мезофілу, продихового апарату та будови епідерми у зв'язку з посушливими умовами або урбанізованими середовищами. Також є поодинокі праці, присвячені гістохімічному складу тканин та ультраструктурі клітин за допомогою електронної мікроскопії. Проте узагальнених відомостей щодо анатомії пагонів, кореневої системи, а також змін у будові в залежності від умов вирощування в Правобережному Лісостепу України – поки обмаль.

У цьому контексті актуальним є вивчення будови *Buddleja davidii* в умовах інтродукції для оцінки її адаптивного потенціалу та розширення можливостей практичного використання в озелененні. Особливу увагу слід приділити мікроскопічним параметрам тканин, що забезпечують життєздатність виду в нових екологічних нішах [2, 5, 6].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження було проведено за допомогою методів електронної мікроскопії. Зразки листків збиралися з рослин, що ростуть у різних умовах навколишнього середовища. Зразки знебарвлювалися та забарвлювалися для вивчення особливостей клітинної будови.

Інструменти: секатор, скальпель, пінцет, гербарні папки, маркування проб.

Зразки фіксували в 70% етиловому спирті для збереження структури тканин. Після фіксації листки промивали дистильованою водою та розрізали на тонкі поперечні або поздовжні зрізи за допомогою ручного мікротома. Знебарвлення проводили шляхом обробки зразків 70% етиловим спиртом **або** рідким хлороформом**.** Забарвлення виконувалося стандартними гістологічними барвниками (сафарин). Зразки промивали та поміщали у гліцеринове середовище для створення постійних мікропрепаратів. Для електронної мікроскопії використовували мікроскоп «Біолам» (збільшення 20 мм).

РЕЗУЛЬТАТИ

Види роду *Buddleja* завдяки своїм декоративним якостям мають значний потенціал для озеленення в різних країнах Європи. Однак в Україні їх застосування в озелененні залишається обмеженим. Це пов'язано з низькою морозостійкістю рослин та невдалими спробами вирощування, оскільки вони майже щороку обмерзали до рівня кореневої шийки, а в особливо холодні зими – повністю вимерзали [8, 9].

Сьогодні представники роду *Buddleja* можна знайти майже в кожному ботанічному саду України. Ці кущі використовують як у поодиноких, так і в групових насадженнях, гармонійно поєднуючи їх з іншими декоративними низькорослими кущами та багаторічними трав'янистими рослинами.

Деякі види роду *Buddleja* у своїй природній зоні вважаються інвазійними та підлягають забороні на вирощування і продаж. Ці рослини здатні продукувати мільйони насінин, які за один рік можуть вирости до зрілих особин. Завдяки крихітним крильцям насіння легко переноситься вітром на значні відстані [5].

Оскільки біологічні особливості росту, розвитку та розмноження представників роду *Buddleja* L. в Україні досі залишалися недостатньо вивченими, їх застосування

в озелененні було обмеженим. Тому дослідження клітинної будови листків видів цього роду в умовах Правобережного Лісостепу України є актуальним і перспективним напрямом [6].

Листок *Buddleja davidii* L. демонструє високий рівень структурної організації, що відображає його пристосованість до зростання в умовах змінної вологості.

Епідерміс листка *Buddleja davidii* L. складається з одного шару клітин із товстостінною кутикулою. Товщина кутикули є помірною, що забезпечує захист від надмірної втрати вологи.

Листок *Buddleja davidii* L. характеризується сітчастим типом жилкування, з добре розвиненою головною жилкою, що забезпечує ефективний транспорт води та поживних речовин. У судинах ксилеми спостерігається значна кількість лігніфікованих клітин, що сприяє механічній міцності жилок. Присутність добре розвинених склеренхімних волокон поблизу судинних пучків забезпечує механічну стійкість листка, що є важливим для підтримки його функцій під час посухи або вітрового навантаження [2, 4, 5]. Флоема має структуру, адаптовану до транспорту органічних речовин у межах рослини. Мезофіл представлений добре диференційованою стовбчастою та губчастою паренхімою. Стовбчаста паренхіма складається з одного-двох шарів клітин, багатих на хлоропласти, що сприяє ефективному фотосинтезу. Губчаста паренхіма, розташована під губчастою, має більші міжклітинники, які полегшують циркуляцію газів. У паренхімних клітинах мезофілу спостерігається утворення кристалів кальцію оксалату. Їх функція включає регуляцію іонного обміну та захист від фітофагів (рис. 1).

Продиховий апарат переважно розташований на нижньому боці листка (гіпостоматичного типу). Кількість продихів становить 150–200 на 1 мм², що є адаптацією до оптимізації водного балансу та забезпечення газообміну. Замикаючі клітини мають нерівномірно потовщені стінки, що забезпечує ефективне відкриття та закриття продихів залежно від умов середовища. Для *Buddleja* L. характерний анізоцитний тип продихового апарату, при якому кожна із замикаючих клітин продиху супроводжується трьома побічними клітинами, одна з яких менша за інші (рис. 2).

Трихоми – це волоскоподібні вирости на поверхні листків, стебел та інших органів рослин. Вони можуть бути одно- або багатоклітинними, опушеними або залозистими.

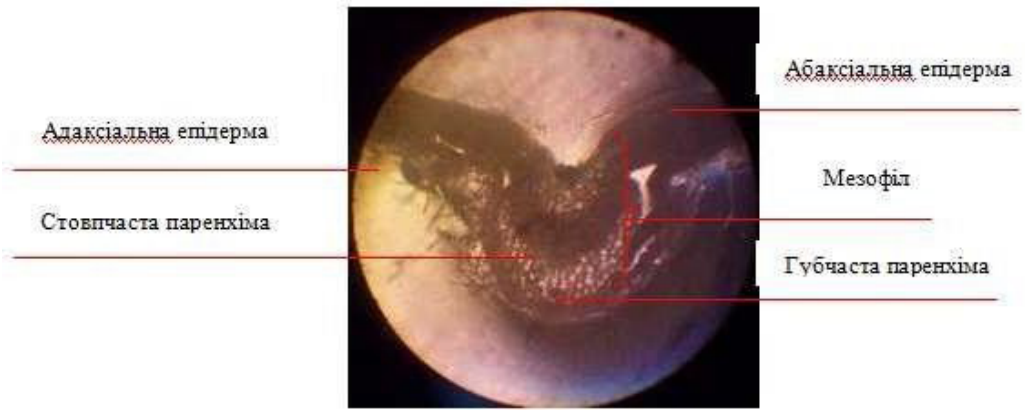


Рис. 1. Анатомічна будова листка *B. davidii* L. (збільшення 20 мм)



Рис. 2. Продиховий апарат *B. davidii* (збільшення 20 мм)

Трихоми виконують важливі функції, які сприяють виживанню та адаптації рослин до різних умов середовища.

Листки, стебла, квітки у *B. davidii* L. густо вкриті покривними трихомами – волосками. Трихоми складаються із видовжених загострених клітин. Вони виконують захисну функцію, сприяють зменшенню випаровування (рис. 3).

Мікроскопічні дослідження показують, що трихоми *Buddleja davidii* мають складну будову і виконують комплексні функції. Їх наявність є адаптаційним механізмом, який забезпечує високу стійкість виду до несприятливих умов навколишнього середовища.

Отримані результати свідчать, що клітинна будова листка *Buddleja davidii* L. оптимізована для зростання у стресових умовах, таких як посушливий клімат або забруднені міські території. Продиховий апарат у поєднанні з добре розвиненими фотосинтезуючими тканинами забезпечує ефективний газообмін навіть у несприятливих умовах. Кутикула та восковий наліт забезпечують додатковий захист від втрати води та надмірного впливу ультрафіолетового випромінювання. Унікальні анатомічні особливості *Buddleja davidii* L. роблять її перспективною для вирощування в умовах змін клімату та на деградованих ґрунтах.

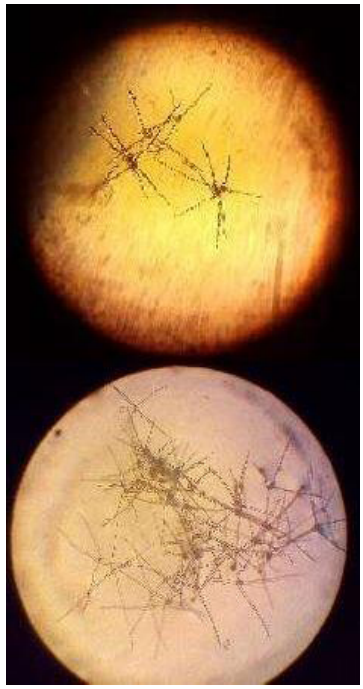


Рис. 3. Трихоми листка *B. davidii* L. (збільшення 20 мм)

Результати досліджень підкреслюють важливість подальшого вивчення адаптаційного потенціалу *Buddleja davidii* L., що може сприяти розробці ефективних практик у ландшафтному дизайні та сільському господарстві.

ВИСНОВКИ

Дослідження клітинної будови листка *Buddleja davidii* L. виявило комплекс анатомічних та морфологічних особливостей, які забезпечують високий адаптаційний потенціал цієї рослини до різноманітних умов середовища. Листки характеризуються

наявністю товстої кутикули, гіпостоматичним типом розташування продихів, добре розвиненим стовбчастим та губчастим мезофілом, а також сітчастим жилкуванням із лігніфікованими елементами провідної тканини.

Особливості продихового апарату, зокрема оптимальна густота продихів і їх розташування, сприяють ефективному газообміну та регуляції водного балансу. Присутність склеренхімних волокон забезпечує механічну міцність листка, а наявність кристалів оксалату кальцію виконує захисну та регуляторну функцію.

Отримані результати підтверджують, що *Buddleja davidii* L. є добре адаптованою до посушливих умов та антропогенних навантажень рослиною, що робить її перспективною для використання у ландшафтному озелененні, міському середовищі та на деградованих територіях. Ці анатомічні та фізіологічні особливості свідчать про високу екологічну пластичність *Buddleja davidii* L. та відкривають перспективи для подальших досліджень її адаптаційного потенціалу й впровадження в озеленення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ілюстрований довідник з морфології квіткових рослин. Навчально- методичний посібник. Видання друге, виправлене і доповнене/ С. М. Зиман, С. Л. Мосякін, Д. М. Гродзинський, О. В. Булах, Н. Г.Дремлюга Київ: Фітосоціоцентр, 2012. 176 с.
2. Красільнікова Л.О., Садовниченко Ю.О. Анатомія рослин. Рослинна клітина, тканина, вегетативні органи: Навч. посіб.: 2-гевид. Х.: Колорит, 2007. 245 с.
3. Смачелюк В. О. *Buddleja* L. вирощування, догляд, розмноження. *Природничі науки в системі освіти*: матеріали Всеукр. наук.- практ. інтернет-конф. (Умань, 26 бер. 2015 р.). Умань: ФОП Жовтий О. О., 2015. С. 47–50.
4. Смачелюк В. О. Використання видів роду *Buddleja* L. в декоративному садівництві. *Охорона біорізноманіття та історико-культурної спадщини у ботанічних садах тадендропарках*: матеріали Міжнар. наук. конф. (Умань, 6–8 жовт. 2015 р.). Умань: Видавець «Сочінський», 2015. С. 23–28.
5. Скакун В. О. Морфологічна характеристика видів роду *Buddleja* L. матеріали Міжнар. наук. конф. «Стратегії збереження рослин уботанічних садах і дендропарках, присвячена 90-річчю віддня народження члена-кореспондента НАН України Тетяни Михайлівни Черевченко (1929–2017)» (Київ, 25–27 лютого 2019). Київ, 2019. С. 187–189.
6. Скакун В. О. Біолого-екологічні особливості представників роду *Buddleja* L. у Правобережному Лісостепу України : монографія; МОН України, Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини. Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2024. 138 с.
7. Owen D. F., Whiteway W. R. 2003. Buddleia davidii in Britain: History and development of an associated fauna. *Biological Conservation*. Vol. 17, Is. 2. P. 149–155.
8. Norman E. M. 2000. Buddlejaceae. *Flora Neotropica*. Vol. 81. P. 1–224.
9. Tallent-Halsell N. G., Watt M. S. The invasive *Buddleja davidii* (Butterfly Bush). The Botanical Review. 2009. Vol. 75, Is. 3. P. 292–325.

REFERENCES

1. Zyman, S. M., Mosiakin, S. L., Hrodzynskyi, D. M., Bulakh, O. V., & Dremliuha, N. H. (2012). Iliustrovanyi dovidnyk z morfolohii kvitkovykh roslyn [An illustrated guide to the morphology of flowering plants]. Navchalno – metodychnyi posibnyk. Vydannia druhe, vypravlene i dopovnene Kyiv: Fitosotsiotsentr – Fitosotsiotsentr, 176 [in Ukrainian].

2. Krasilnikova, L.O., & Sadovnychenko, Yu.O. (2007). Anatomiia roslyn. Roslynna klityna, tkanyna, vehetatyvni orhany [Anatomy of plants. Plant cell, tissue, vegetative organs]: Navch. posib.: 2-hevyd. Kh.: Koloryt – Flavor, 245 [in Ukrainian].

3. Smacheliuk, V. O. (2015). *Buddleja* L. vyroshchuvannia, dohliad, rozmnozhennia [*Buddleja* L. cultivation, care, reproduction]. Pryrodnychi nauky v systemi osvity: materialy Vseukr. nauk.- prakt. internet-konf. (Uman, 26 ber. 2015 r.). Uman: FOP Zhovtyi O. O. – FOP Zhovtiy O. O., 47–50 [in Ukrainian].

4. Smacheliuk, V. O. (2015). Vykorystannia vydiv rodu *Buddleja* L. v dekoratyvnomu sadivnytstvi [The use of species of the genus *Buddleja* L. in ornamental gardening.]. Okhorona bioriznomanittia ta istoryko-kulturnoi spadshchyny u botanichnykh sadakh ta dendroparkakh: materialy Mizhnar. nauk. konf. Uman: Vydavets «Sochinskyi» – Publisher "Sochinsky", 23–28 [in Ukrainian].

5. Skakun, V. O. (2019). Morfolohichna kharakterystyka vydiv rodu *Buddleja* L. [Morphological characteristics of species of the genus *Buddleja* L.] materialy Mizhnar. nauk. konf. «Stratehii zberezhennia roslyn u botanichnykh sadakh i dendroparkakh, prysviachena 90-richchiu viddnia narodzhennia chlena-korespondenta NAN Ukrainy Tetiany Mykhailivny Cherevchenko (1929-2017)» (Kyiv, 25–27 liutoho 2019). Kyiv, 187–189 [in Ukrainian].

6. Skakun, V. O. (2024). Bioloho-ekolohichni osoblyvosti predstavnykiv rodu *Buddleja* L. u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Biological and ecological features of representatives of the genus *Buddleja* L. in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine] : monohrafiia; MON Ukrainy, Umanskyi derzh. ped. un-t imeni Pavla Tychyny. Uman : Vydavets «Sochinskyi M. M.» – Vydavets «Sochinskyi», 138 [in Ukrainian].

7. Owen, D. F., & Whiteway, W. R. (2003). *Buddleia davidii* in Britain: History and development of an associated fauna. *Biological Conservation*. Vol. 17, Is. 2.

8. Norman, E. M. (2000) Buddlejaceae. *Flora Neotropica*. Vol. 81.

9. Tallent-Halsell, N. G., & Watt, M. S. (2009). The invasive Buddleja davidii (Butterfly Bush). The Botanical Review. Vol. 75, Is. 3.

ABSTRACT

PECULIARITIES OF CELLULAR STRUCTURE OF *BUDDLEJA DAVIDII* L.

Studying the cellular structure of the leaf is an important area of botanical research, as the leaf is the main organ of photosynthesis, gas exchange and transpiration in plants. Understanding its cellular organization allows us to explain the mechanisms of growth, adaptation to the environment, and plant productivity. The article discusses the structural features of the cellular layers of the leaf *Buddleja davidii* L., in particular the epidermis, mesophyll, and conducting tissues. Particular attention is paid to the functional role of stomata, trichomes and intercellular spaces in the processes of plant adaptation to different environmental conditions. After all, plants, as immobile organisms, are forced to adapt to environmental changes due to morphological and physiological features. Stomata, trichomes, and intercellular spaces play an important role in adaptation processes, regulating gas exchange and water balance, protecting against adverse factors, and optimizing metabolism. They are also key morphofunctional structures that ensure the adaptation of plants to various environmental conditions, from arid steppes to wetlands and aquatic environments. Their effective interaction contributes to the survival and successful development of plants in a changing environment. The features of the cellular structure of the leaf of *Buddleja davidii* L., an ornamental plant widely known for its ecological stability and ability to

adapt to different environmental conditions, are described. A detailed analysis of the anatomical and morphological characteristics of the leaf blade, in particular the epidermis, mesophyll and conducting bundles, was carried out. It was found that the leaves of *Buddleja davidii* L. have a distinct xeromorphic structure, which provides high drought tolerance of the plant. The presence of specific adaptive traits, such as a thick cuticle layer, densely packed columnar mesophyll cells, and a well-developed vascular system, was established. The results contribute to the understanding of the adaptive mechanisms of *B. davidii* L. to environmental stressors and may be useful for the further use of this plant in landscape design and environmental projects.

Key words: cell, leaf, stomata, trichomes, mesophyll.

УДК 616-092
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.8

Олена Дмитрівна Боярчук,
кандидат біологічних наук, доцент кафедри анатомії, фізіології людини та тварин
ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Україна
orcid.org/0000-0002-4388-6011, e-mail: boiarchuk.helen@gmail.com

Ольга Володимирівна Бондаренко,
кандидат медичних наук, доцент кафедри анатомії, фізіології людини та тварин
ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Україна
orcid.org/0000-0001-7846-8023, e-mail: olgabond306@gmail.com

ПАТОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ ТА ЇЇ ОСНОВНІ АСПЕКТИ

Анотація. *Актуальність теми.* Патологічна фізіологія є фундаментальною медичною дисципліною, що досліджує механізми розвитку захворювань та їхній вплив на організм. В умовах зростаючої поширеності хронічних та інфекційних хвороб, важливість вивчення патологічних процесів з метою вдосконалення діагностики, лікування та профілактики є надзвичайно актуальною. *Невирішені питання*. Попри значні досягнення у вивченні патогенезу багатьох захворювань, низка питань залишається відкритою. Зокрема, недостатньо досліджено взаємозв'язок між генетичними та епігенетичними факторами у розвитку патологічних станів, механізми хронізації запальних процесів та ефективність персоналізованих методів лікування. *Мета дослідження*. Метою дослідження є аналіз основних патологічних процесів, їхніх механізмів розвитку та впливу на організм, а також оцінка сучасних підходів до діагностики, лікування та профілактики патологічних станів. *Результати дослідження*. У ході дослідження було розглянуто ключові патологічні процеси, зокрема порушення обміну речовин, дисфункції нервової та ендокринної систем, запальні та імунні реакції, гіпоксію та порушення кровообігу. Також проаналізовано сучасні методи діагностики та лікування, включаючи молекулярно-генетичні технології, імунну терапію, регенеративну медицину та персоналізований підхід у терапії. *Висновки.* Дослідження підтвердило складний та багатофакторний характер розвитку патологічних процесів, що вимагає комплексного підходу до їхнього вивчення та лікування. Використання новітніх технологій у діагностиці та терапії відкриває нові можливості для покращення ефективності лікування та підвищення якості життя пацієнтів. *Подальші напрямки дослідження*. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на глибше вивчення генетичних та епігенетичних механізмів патологічних процесів, розробку нових методів імунної терапії, а також удосконалення персоналізованих підходів до лікування різних захворювань.

Ключові слова: патологічна фізіологія, патологічні процеси, патогенез, діагностика, лікування, профілактика, персоналізована медицина, запалення, гіпоксія, імунна терапія.

ВСТУП

Патологічна фізіологія є ключовою галуззю в медицині, оскільки вона досліджує основи розвитку захворювань і порушень функціонування організму. Її актуальність обумовлена необхідністю глибокого розуміння механізмів патологічних процесів, що дозволяє покращувати методи діагностики, лікування та профілактики хвороб. Знання патологічної фізіології є необхідним для лікарів, біологів, фармакологів і дослідників, які працюють над створенням нових терапевтичних методів та лікарських засобів.

Вивчення цієї галузі науки дозволяє аналізувати причини захворювань, механізми їх розвитку та способи відновлення нормального функціонування організму. Мета статті – проаналізувати основні аспекти патологічної фізіології, її значення для медицини.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У статті використовуються різні наукові методи, що сприяють комплексному аналізу патологічних процесів: аналіз наукової літератури – огляд сучасних досліджень у сфері патологічної фізіології; порівняльний метод – вивчення подібностей і відмінностей у механізмах розвитку різних патологічних процесів; експериментальні дослідження – аналіз даних, отриманих у клінічних і лабораторних умовах. Таким чином, дана стаття є спробою систематизованого розгляду основ патологічної фізіології та її значення для медицини.

РЕЗУЛЬТАТИ

Вчення про хворобу, або загальна нозологія (від грец. νόσος – хвороба), відноситься до найдавніших проблем медицини. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) (World Health Organization (WHO) в 1946 р. в преамбулі свого статуту прийняла наступне визначення: «Здоров'я – це стан повного фізичного, психологічного і соціального благополуччя, а не тільки відсутність хвороб і фізичних дефектів». Здоров'я – це перш за все стан нічим не обмеженої реалізації генетично запрограмованих процесів саморегулювання, самооновлення та самовідтворення організму, при якому спостерігається відповідність структури та функції, а також здатність регуляторних систем підтримувати сталість внутрішнього середовища (гомеостаз) [1].

Патологічна фізіологія – це наука, що вивчає механізми розвитку патологічних процесів і захворювань, порушення функцій органів та систем, а також адаптаційні реакції організму. Основним завданням цієї галузі науки є встановлення закономірностей патологічних змін, що дозволяє розробляти ефективні методи діагностики, профілактики та лікування. Патологічна фізіологія є проміжною ланкою між фундаментальними біологічними науками (анатомія, фізіологія, біохімія) та клінічною медициною. Вона забезпечує лікарів теоретичною основою для розуміння розвитку хвороб, їхніх ускладнень та можливих шляхів відновлення нормальної життєдіяльності організму. Основні аспекти патологічної фізіології:

Етіологія – вивчення причин, що викликають захворювання. Це може бути як зовнішні (інфекції, травми, інтоксикації), так і внутрішні (спадкові, метаболічні) чинники. Термін «етіологія» походить від грецьких слів aitia (причина) і logos (вчення, наука) і має два значення: вчення про причини та умови виникнення хвороби, патологічних процесів або самі ці причини [2]. Філософські поняття (категорії) «причинність» (каузальність, причина) та «детермінізм» не є синонімами. Причинність – явище, яке зумовлює, викликає інше явище – наслідок, у результаті і виникає ланцюг взаємопов'язаних подій (причинно-наслідкових зв'язків). Наслідок – явище, що є результатом будь-якої дії. Детермінізм (від лат. determinare – визначати) – філософське вчення про загальний універсальний взаємозв'язок явищ об'єктивного світу та їх причинну обумовленість. Поняття «детермінізм» значно ширше поняття «причинність», включає його в себе і визначає різноманітні зв'язки між причинами та наслідками. У вітчизняній патології

положення про детермінованість патологічних зрушень, патологічних процесів, хвороб загальновизнано. Однак досі дискутуються самі поняття «причина», «причинні фактори», «умови»; їх роль у виникненні, течії та наслідку тієї чи іншої патології; класифікації хвороб; їхня нозологічна специфічність; розмежування причинних (каузальних) та умовних (кондиціональних) зв'язків у патології і т.д.

Патогенез – механізми та процеси, які відбуваються в організмі при розвитку хвороби. Це ключовий розділ, який пояснює як нормальні фізіологічні функції порушуються під впливом патологічних факторів. Термін «патогенез» походить від грец. pathos (страждання, розлад) і genesis (походження) [2, 3]. Значення вивчення патогенезу для теорії та практики медицини надзвичайно велике. По-перше, знаючи механізми виникнення, перебігу та результату хвороб або патологічних процесів можна обґрунтовано і своєчасно втручатися в хід їх розвитку та застосовувати адекватне, раціональне та ефективне патогенетичне лікування. По-друге, найкращим лікуванням вважають поєднання етіотропної та патогенетичної терапії.

Загальний саногенез. Термін «саногенез» походить від латів. sanus (здоров'я) та genesis (походження, розвиток). Під саногенезом слід розуміти комплекс захисно-компенсаторно-пристосувальних реакцій та механізмів, спрямованих проти хвороби та дії на організм хворобливих факторів з метою відновлення або попередження порушень механізмів саморегуляції та усунення захворювання. Таким чином, саногенетичні реакції та механізми спрямовані як на одужання хворого організму, так і на збереження та підтримання його здоров'я. Загальний саногенез – загальні принципи, реакції та механізми не тільки виходу організму із захворювання та його одужання, а й збереження здоров'я за участю різноманітних захисних та компенаторно-пристосувальних реакцій [2].

Функціональні зміни – патологічна фізіологія досліджує, як хвороба впливає на функції різних систем організму, включаючи нервову, серцево-судинну, дихальну, травну та інші системи. Адаптація та компенсація – організм може реагувати на патологічні впливи адаптаційними та компенсаторними механізмами. Наприклад, при втраті частини функції органу інші органи чи системи можуть взяти на себе його функції. Типові патологічні процеси – запалення, гіпоксія, шок, пухлинний ріст, алергія, порушення обміну речовин, дистрофії та ін.

Значення патологічної фізіології: для медицини – патофізіологія є основою клінічної медицини, допомагаючи лікарям розуміти механізми хвороб та знаходити підходи до їхнього лікування; для діагностики та лікування – знання про механізми патологічних процесів дозволяють розробляти методи діагностики та ефективного лікування захворювань; для профілактики – розуміння причин хвороб та його розвитку допомагає розробляти профілактичні заходи, створені задля запобігання чи уповільнення прогресування патологій [2-4].

У XVII столітті перші зусилля систематизувати хвороби докладав Франсуа Босьє де Лакруа. Лише в XIX столітті, британський епідеміолог Уельс Вільям Фарр озвучив свою думку з цього питання і наполягав на прийнятті загальної класифікації. У 1855 р. такий документ ухвалили і надалі його неодноразово переглядали. У 1893 році французький демограф, доктор медицин Жак Бертільон опублікував список причин смерті, який прийнято вважати попередником Міжнародної кваліфікації хвороб (МКХ). У результаті у 1900 р. відбулася перша конференція. З того часу зміни вносилися кожні 10 років, у кожній наступній класифікації враховувалися зміни, що відбулися в медичній

науці та практиці. ICD – 11 легко замінює ICD-10 –CM (International Classification of Diseases, Tenth Revision, Clinical Modification), привносячи безпрецедентну точність та достовірність у кожну галузь охорони здоров'я [5]. Версія МКХ-11 2024 містить розширені діагностичні дані та вдосконалені цифрові інструменти для підтримки глобальних систем охорони здоров'я. Крім того, були значно покращені цифрові інструменти та API. Цей випуск включає версію-кандидат інструменту WHO Digital Open Rule Integrated Cause of Death Selection (DORIS), який тепер доступний кількома мовами, поряд з оновленими API [6]. У 2024 р. ВООЗ досягла значного прогресу у взаємодоповненні різних медичних класифікацій та термінологій для підвищення глобальної сумісності у охороні здоров'я. Це включає MedDRA (Медичний словник для регуляторної діяльності) для полегшення точного подання інформації, пов'язаної з лікарськими засобами, впровадження номенклатури медичних пристроїв для забезпечення узгодженості в міжнародних системах охорони здоров'я та включення термінології Orphanet для покращення класифікації та розуміння рідкісних захворювань. Крім того, ВООЗ розробляє підходи для технічного співробітництва та зв'язків з MONDO Disease Ontology для підтримки точної класифікації захворювань, ініціює проектні роботи з LOINC.

Використання МКХ різноманітно і широко поширене, і багато з того, що відомо про ступінь, причини та наслідки захворювань людини в усьому світі, засноване на використанні даних, класифікованих відповідно до МКХ [6]: сертифікація та повідомлення про причини смерті; кодування та звітність щодо захворюваності, включаючи первинну медичну допомогу; каземікс та угруповання з діагнозу (DRG); оцінка та моніторинг безпеки, ефективності та якості медичної допомоги; реєстри онкозахворювань; стійкість до протимікробних препаратів (AMR); дослідження та проведення клінічних випробувань та епідеміологічних досліджень; оцінка функціонування; кодування станів традиційної медицини; стандарти взаємодії у цифрових рекомендаціях ВООЗ та для цифрової документації сертифікатів COVID-19 (DDCC).

Патологічна фізіологія разом з патологічною анатомією та клінічними дисциплінами використовують одну «патоклінічну» термінологію яка відображена в Medical Subject Headings, MeSH – онлайн-глосарії [7], який щорічно оновлюється від національної бібліотеки медицини США. Для зручності можна замінити його програмою Eponyms від Стенфордського університету або ресурсом Whonamedit? [8]. **Патофізіологія особливо тісно пов'язана з біохімією та фізіологією, тому важливим є врахування сучасного досвіду з генетики, молекулярної біології та імунології: «Encyclopedia of Molecular Mechanisms of Disease» Florian Lang [3], «Cellular and molecular immunology» Abul Abbas, Andrew Lichtman, Jordan Pober [4]. За основу беруть наступні керівництва, що є найбільш вдалими з патофізіології: «Pathophysiology: The Biologic Basis for Disease in Adults and Children»[9] і «Understanding Pathophysiology» Sue E. Huether, Kathryn L. McCance [10].**

Порівняно з іншими галузями науки наукових праць з патофізіології не так вже й багато, тому, враховуючи історичні особливості її розвитку можна відзначити ключові праці з патології: «Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease» Vinay Kumar, Abul K. Abbas, Jon C. Aster [11] – найвідоміший, найпопулярніший і найавторитетніший посібник з патології. «Rubin's Pathology: Clinicopathologic Foundations of Medicine» Raphael Rubin, David S. Strayer, Emanuel Rubin [12]: ще одне монументальне керівництво,

на яке посилається багаторазово англомовна патофізіологічна література. «Underwood's Pathology: Clinical Approach» Simon Cross [13]: перевага цієї книги – численні та часті клінічні кореляції.

Патологічна фізіологія охоплює широкий спектр порушень життєдіяльності організму, що виникають під впливом різних внутрішніх і зовнішніх факторів. До основних аспектів цієї науки належать механізми розвитку патологічних процесів, їх вплив на організм та можливості корекції [11]:

1. Порушення обміну речовин. Обмін речовин (метаболізм) є основою життєдіяльності організму, і будь-які його порушення можуть призводити до серйозних патологічних змін. Основні типи метаболічних розладів включають: гіперглікемію та гіпоглікемію – порушення вуглеводного обміну, що характерні для цукрового діабету; дисліпідемію – порушення жирового обміну, що є фактором ризику атеросклерозу та серцево-судинних захворювань; порушення білкового обміну – недостатність або надмірне утворення білків, що може призводити до дистрофії, набряків і зниження імунітету [14].

2. Дисфункції нервової та ендокринної систем. Нервова та ендокринна системи є головними регуляторами гомеостазу в організмі. Їхні порушення можуть спричиняти такі стани: неврологічні розлади – інсульт, хвороба Паркінсона, епілепсія, що виникають через порушення нервової провідності та загибель нейронів; ендокринні патології – гіпотиреоз, гіпертиреоз, наднирникова недостатність, що впливають на метаболізм, ріст і розвиток; стрес і психосоматичні розлади – тривалий вплив стресових факторів може викликати дисбаланс нейромедіаторів, що призводить до депресії, тривожних розладів та порушень роботи внутрішніх органів.

3. Патологічні процеси запалення та імунної відповіді. Запалення – це захисна реакція організму, проте у деяких випадках воно може мати патологічний характер. Основні типи порушень імунної системи: гостре та хронічне запалення – при тривалому запаленні може розвиватися аутоімунна агресія, що призводить до таких захворювань, як ревматоїдний артрит чи системний червоний вовчак; імунодефіцити – недостатність імунної відповіді, що робить організм вразливим до інфекцій; аутоімунні захворювання – патології, за яких імунна система атакує власні клітини організму.

4. Гіпоксія та її наслідки. Гіпоксія – це кисневе голодування тканин, що може бути спричинене порушенням кровообігу, дихальної функції або патологіями крові. Основні типи гіпоксії: гіпоксична гіпоксія – недостатнє надходження кисню до організму через захворювання легенів або зниження кисню в атмосфері; ішемічна гіпоксія – порушення кровообігу, що спостерігається при інфаркті, інсульті та судинних захворюваннях; цитотоксична гіпоксія – неможливість клітин використовувати кисень через отруєння або метаболічні порушення. Наслідки гіпоксії можуть бути критичними, включаючи некроз тканин, серцеву недостатність, порушення функцій головного мозку [15].

5. Порушення кровообігу. Кровообіг забезпечує транспорт кисню та поживних речовин до всіх органів і тканин. Його порушення можуть спричиняти серйозні патологічні стани: атеросклероз – утворення холестеринових бляшок у судинах, що веде до ішемічної хвороби серця та інсульту; гіпертонія та гіпотонія – підвищений або знижений артеріальний тиск, що порушує роботу серцево-судинної системи; тромбози та емболії – утворення згустків крові, що можуть блокувати кровотік і викликати небезпечні ускладнення, такі як інфаркт чи тромбоемболія легеневої артерії [16].

Основні патологічні процеси, що розглядаються в патологічній фізіології, мають велике значення для розуміння механізмів розвитку захворювань. Вивчення цих процесів дозволяє не лише покращити діагностику та лікування, а й розробити ефективні профілактичні заходи [12]. Подальші дослідження у цій сфері сприятимуть розробці нових методів терапії та запобіганню розвитку хронічних захворювань. Механізми розвитку патологічних процесів є ключовим аспектом патологічної фізіології, оскільки вони пояснюють причини виникнення хвороб та їхній вплив на організм. Важливими факторами патогенезу є генетичні зміни, вплив зовнішнього середовища та взаємодія різних фізіологічних систем [13].

1. Генетичні та епігенетичні фактори. Генетичні мутації можуть призводити до порушень функціонування клітин та розвитку хвороб. Вони можуть бути: спадковими – передаються від батьків до дітей (наприклад, муковісцидоз, гемофілія); набутими – виникають протягом життя через мутації ДНК під впливом зовнішніх факторів (наприклад, онкологічні захворювання). Крім мутацій, важливу роль відіграють епігенетичні зміни – зміни активності генів без зміни їхньої послідовності ДНК. Вони можуть бути викликані: впливом токсичних речовин; харчовими факторами; хронічним стресом. Епігенетичні зміни можуть сприяти розвитку хронічних захворювань, таких як діабет, гіпертонія та онкологічні процеси.

2. Вплив зовнішнього середовища. Фактори зовнішнього середовища можуть викликати або прискорювати розвиток патологічних станів. Основні з них: фізичні фактори – радіація, температура, травми; хімічні фактори – токсичні речовини, забруднення повітря, важкі метали; біологічні фактори – віруси, бактерії, паразити; соціальні та психологічні фактори – стрес, спосіб життя, неправильне харчування. Значна роль належить екологічним факторам, що можуть викликати хронічні отруєння, онкологічні захворювання, порушення імунної системи [17].

3. Комплексний характер патогенезу. Більшість захворювань розвивається внаслідок взаємодії кількох патологічних механізмів. Комплексний характер патогенезу включає такі аспекти: первинні причини (етіологія) – це фактори, що безпосередньо викликають захворювання (наприклад, вірус грипу як причина грипозної інфекції); механізми розвитку (патогенез) – це сукупність змін в організмі, що призводять до проявів хвороби; компенсаторні реакції – організм намагається відновити рівновагу (наприклад, підвищене серцебиття при анемії для покращення постачання кисню). Часто одне захворювання може запускати каскад інших патологічних змін. Взаємодія генетичних, екологічних і фізіологічних факторів визначає перебіг хвороби. Глибоке розуміння цих механізмів сприяє розробці нових підходів до профілактики та лікування захворювань.

Діагностика є ключовим етапом у виявленні захворювань та визначенні тактики лікування. Сучасні методи діагностики включають [10]: лабораторні дослідження включають аналіз крові, сечі, біохімічні тести, генетичне тестування; інструментальні методи – ультразвукове дослідження (УЗД), рентгенографія, комп'ютерна томографія (КТ), магнітно-резонансна томографія (МРТ); молекулярно-генетична діагностика – виявлення мутацій та генетичних аномалій, що можуть спричиняти спадкові або онкологічні захворювання; функціональні дослідження – електрокардіографія (ЕКГ), електроенцефалографія (ЕЕГ), спірометрія; біомаркери – специфічні білки або гени, які сигналізують про розвиток захворювань (наприклад, онкомаркери). Завдяки розвитку технологій з'являються неінвазивні методи

діагностики, які дозволяють виявляти патологічні стани на ранніх етапах без значного втручання в організм.

Лікування патологічних станів базується на усуненні причин захворювання, зменшенні його проявів та підтримці функцій організму. Основні методи лікування включають [11]: 1. Фармакотерапію – застосування медикаментів для корекції патологічних змін. Сучасні ліки можуть бути спрямовані на молекулярні механізми розвитку хвороб (таргетна терапія). 2. Генна терапія – метод, який дозволяє змінювати або виправляти генетичні дефекти. Вона використовується для лікування спадкових захворювань, онкології та імунодефіцитів. 3. Імунологічна терапія – застосування моноклональних антитіл, вакцин і методів стимуляції імунної системи для боротьби з пухлинами, вірусними інфекціями та аутоімунними хворобами. 4. Регенеративна медицина – використання стовбурових клітин для відновлення пошкоджених тканин та органів. 5. Хірургічні методи – традиційні та мінімально інвазивні операції, трансплантація органів.

Одним із найбільш перспективних напрямів сучасної медицини є персоналізований підхід до лікування, який враховує генетичні, біохімічні та інші особливості пацієнта. Персоналізована медицина дозволяє: прогнозувати ризик розвитку захворювань; підбирати індивідуальні схеми лікування; зменшувати ризики побічних ефектів від терапії. Сучасна медицина приділяє велику увагу профілактичним заходам, які спрямовані на зменшення ризику розвитку патологій. Основні підходи: первинна профілактика – вакцинація, здоровий спосіб життя, контроль факторів ризику; вторинна профілактика – регулярні медичні огляди, рання діагностика; третинна профілактика – реабілітаційні заходи після перенесених захворювань для попередження ускладнень. Реабілітація включає фізіотерапію, дієтотерапію, психологічну підтримку та соціальну адаптацію пацієнтів. Сучасні підходи до діагностики та лікування патологічних станів базуються на використанні високотехнологічних методів, персоналізованого підходу та комплексної профілактики. Інновації у медицині відкривають нові можливості для підвищення ефективності лікування та покращення якості життя пацієнтів.

ВИСНОВКИ

Патологічна фізіологія є фундаментальною наукою, що вивчає механізми розвитку хвороб та їхній вплив на організм. Аналіз основних патологічних процесів дозволяє краще розуміти причини захворювань, їхні наслідки та можливі методи корекції. Патологічна фізіологія відіграє важливу роль у медицині, оскільки пояснює механізми розвитку захворювань та допомагає розробляти ефективні методи діагностики та лікування. Таким чином, вивчення патологічної фізіології є необхідним для подальшого розвитку медицини та біологічних наук. Новітні дослідження та інноваційні технології відкривають широкі можливості для ефективного лікування та профілактики захворювань, що сприяє підвищенню тривалості та якості життя людей.

ЛІТЕРАТУРА

1. World Health Organization (WHO). URL: https://www.who.int
2. Sheila B. Sloane. Medical Abbreviations and Eponyms. Philadelphia : Saunders. 1997. 932 p. URL: https://archive.org/details/medicalabbreviat00sloa/page/n5/

3. Encyclopedia of Molecular Mechanisms of Disease» Florian Lang. 2009. URL: https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-3-540-29676-8
4. Andrew H. Abbas, Abul K.; Pober, Jordan S.; Lichtman. W. B. Cellular and molecular immunology. 2nd Edition (1, 1994). 448 p. ISBN-10:072165505X
5. ICD-10 –CM. International Classification of Diseases, Tenth Revision, Clinical Modification. icd.who.int
6. ICD-11 International Classification of Diseases 11 th Revision. URL: https://www.icd.who.int
7. Medical Subject Headings, MeSH. URL: https://meshb.nlm.nih.gov/search.
8. Whonamedit? URL: https://www.whonamedit.com/.
9. Kathryn L. McCance, Sue E. Huether Pathophysiology: The Biologic Basis for Disease in Adults and Children. 1994, 1, 692 pp. URL: https://evolve.elsevier.com /cs/product/9780323789875?role=student
10. Sue E. Huether, Kathryn L. McCance. Understanding Pathophysiology. 2020. 1116 p. URL: https://evolve.elsevier.com/cs/product/9780323639088?role=student
11. Vinay Kumar, Abul K. Abbas, Jon C. Aster. Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease/ 2020. Hardback. URL: https://www.ifnmu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/03/Kumar-V.Robbins-and-Cotran-Pathologic-Basis.pdf
12. Rubin R., Strayer D.S., Rubin E. Rubin's pathology: clinicopathologic foundations of medicine. Lippincott Williams & Wilkins. 2012. URL: https://internationalpbs.lwwhealthlibrary.com/book.aspx?bookid=825&
13. Simon Cross Underwood's Pathology: a Clinical Approach. 7th Edition – April 30, 2018. 776 p. ISBN:9780702072123. URL: https://www.elsevierhealth.com.au/ underwoods-pathology-a-clinical-approach-9780443116995.
14. Boiarchuk O., Granovski OThe influence of selenium on the morphological changes of the myocardium during the formation of experimental diabetes mellitus. *Scientific Collection «InterConf+»*. (2024. 45(201). 341–351. URL: https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2024.033
15. Антонова І. І., Середенко М. М., Гончар О. О., Коваль С. Б., Боярчук О. Д. Вплив гіпоксії різного генезу і ступеня її вираженості на функціональну активність лізосомального апарату. *Фізіологічний журнал,* 2000. 46(4), 45–51. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10997299/
16. Боярчук О. Особливості нейтрофілів при ДВЗ-синдромі. *Scientific Collection «InterConf+»*, 2023. 32(151), 410–414. https://doi.org/10.51582/ interconf.19-20.04.2023.042
17. Bondarenko O. V., Boiarchuk O. D. Pathophysiological mechanisms of adaptation of the mucosa of the gastric cardia to portal hypertension. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1254 012143. 2023. URL: https://iopscience.iop.org/ article/10.1088/1755-1315/1254/1/012143

REFERENCES

1. World Health Organization (WHO). Retrieved from: https://www.who.int
2. Sheila, B. (1997). Sloane. Medical Abbreviations and Eponyms. Philadelphia : Saunders. 932 p. Retrieved from: https://archive.org/details/medicalabbreviat00sloa/page/n5/
3. Encyclopedia of Molecular Mechanisms of Disease» Florian Lang. (2009). Retrieved from: https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-3-540-29676-8
4. Andrew H. Abbas, Abul K.; Pober, Jordan S.; Lichtman. W. B. (1994). Cellular and molecular immunology. 2nd Edition. 448 p. ISBN-10 : 072165505X
5. ICD-10 – CM. International Classification of Diseases, Tenth Revision, Clinical Modification. Retrieved from: https://www.icd.who.int.
6. ICD-11 International Classification of Diseases 11 th Revision. Retrieved from: https://www.icd.who.int.

7. Medical Subject Headings, MeSH. Retrieved from: https://meshb.nlm.nih.gov/search.
8. Whonamedit? Retrieved from: https://www.whonamedit.com/.
9. Kathryn L. McCance, Sue E. Huether Pathophysiology: The Biologic Basis for Disease in Adults and Children. 1994, 1, 692 pp. Retrieved from: https://evolve.elsevier.com /cs/product/9780323789875?role=student.
10. Sue E. Huether, Kathryn L. McCance. Understanding Pathophysiology. 2020. 1116 p. Retrieved from: https://evolve.elsevier.com/cs/product/9780323639088?role=student
11. Vinay Kumar, Abul K. Abbas, Jon C. Aster (2020). Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease. Hardback. Retrieved from: https://www.ifnmu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/03/Kumar-V.Robbins-and-Cotran-Pathologic-Disease.pdf
12. Rubin, R., Strayer, D. S., & Rubin, E. (2012). Rubin's pathology: clinicopathologic foundations of medicine. Lippincott Williams & Wilkins. Retrieved from: https://internationalpbs.lwwhealthlibrary.com/book.aspx?bookid=825&sectionid=0
13. Simon Cross Underwood's Pathology: a Clinical Approach. 7th Edition – April 30, 2018. 776 p. ISBN: 9780702072123. Retrieved from: https://www.elsevierhealth.com.au/ underwoods-pathology-a-clinical-approach-9780443116995.
14. Boiarchuk, O., & Granovski, O. (2024). The influence of selenium on the morphological changes of the myocardium during the formation of experimental diabetes mellitus. *Scientific Collection «InterConf+»*, (45(201), 341–351. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2024.033
15. Antonova, I. I., Seredenko, M. M., Honchar, O. O., Koval', S. B., & Boiarchuk, O. D. (2000). Vplyv hipoksiï riznoho henezu ta stupenia vazhkosti na funktsional'nu aktyvnist lizosomal'noho aparatu [The effect of hypoxia of different origins and of the degree of its severity on the functional activity of the lysosomal apparatus]. *Fiziolohichnyi zhurnal. 46*(4), 45–51. Retrieved from: https://pubmed.ncbi. nlm.nih.gov/10997299/ [in Ukrainian].
16. Boiarchuk, O. (2023). Osoblyvosti neitrofiliv pry DVZ-syndromi [Features of neutrophils in DIC syndrome]. *Scientific Collection «InterConf+»*, (32(151), 410–414. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2023.042 [in Ukrainian].
17. Bondarenko O. V., Boiarchuk O. D. (2023). Pathophysiological mechanisms of adaptation of the mucosa of the gastric cardia to portal hypertension. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1254012143. Retrieved from: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1254/1/012143

ABSTRACT

PATHOLOGICAL PHYSIOLOGY AND ITS MAIN ASPECTS

Relevance of the topic. Pathological physiology is a fundamental medical discipline that studies the mechanisms of disease development and their impact on the body. In the context of the growing prevalence of chronic and infectious diseases, the importance of studying pathological processes in order to improve diagnostics, treatment and prevention is extremely relevant. *Unresolved issues.* Despite significant achievements in the study of the pathogenesis of many diseases, a number of issues remain open. In particular, the relationship between genetic and epigenetic factors in the development of pathological conditions, the mechanisms of chronicity of inflammatory processes and the effectiveness of personalized treatment methods have not been sufficiently studied. *Research objective*. The purpose of the research is to analyze the main pathological processes, their mechanisms of development and impact on the body, as well as to evaluate modern approaches to the diagnosis, treatment and prevention of pathological conditions. *Research results*. The study examined key pathological processes, including metabolic disorders, dysfunctions of the nervous and endocrine systems, inflammatory and immune reactions, hypoxia, and circulatory disorders.

Modern methods of diagnosis and treatment were also analyzed, including molecular genetic technologies, immune therapy, regenerative medicine, and a personalized approach to therapy. *Conclusions*. The study confirmed the complex and multifactorial nature of the development of pathological processes, which requires an integrated approach to their study and treatment. The use of the latest technologies in diagnostics and therapy opens up new opportunities for improving the effectiveness of treatment and improving the quality of life of patients. *Further research directions*. Further research should be aimed at a deeper study of the genetic and epigenetic mechanisms of pathological processes, the development of new methods of immune therapy, and the improvement of personalized approaches to the treatment of various diseases.

Key words: pathological physiology, pathological processes, pathogenesis, diagnostics, treatment, prevention, personalized medicine, inflammation, hypoxia, immune therapy.

UDC 539.2
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.9

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

Alina Vinkovskaya,
The State Institution «South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushynsky», Ukraine
e-mail: alina.vinkovskaya@gmail.com

Taras Kavetskyy,
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine
Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, Slovak Republic
The State Institution «South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushynsky», Ukraine
orcid.org/0000-0002-4782-1602, Scopus Author ID: 57220358576,
e-mail: kavetskyy@yahoo.com

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

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

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

Oles Matskiv,
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine
e-mail: omackiv@gmail.com

Ondrej Šauša,
Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, Slovak Republic
Department of Nuclear Chemistry, Comenius University, Slovak Republic
orcid.org/0000-0001-9958-5966, Scopus Author ID: 6602354298,
e-mail: ondrej.sausa@savba.sk

Arnold Kiv,
The State Institution «South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushynsky», Ukraine
Ben-Gurion University of the Negev, Israel
orcid.org/0000-0002-0991-2343, Scopus Author ID: 6602488378,
e-mail: kiv.arnold20@gmail.com

MECHANISM OF OSCILLATIONS OF ION CURRENTS IN THE NANOTRACKS

Abstract. The paper contains the description of the features of ion current pulsations in track devices. The conditions under which the pulsations arise are discussed. We discuss different approaches that are used for explanation the effects of ion current pulsations. Ion current pulsations when passing through nanotracks play a dual role in practical applications. In biosensor systems, these effects significantly affect the parameters of devices. In other cases, these effects serve as the basis for the mechanisms of their new device operation.

Our studies, as well as the results of other authors, show that the mechanisms of ion current oscillations in nanotracks are associated with three reasons. The first reason is the collective interactions of currents in the nanotracks, the second is a certain defect structure of the internal walls of nanotracks, and the third is carbonization in the case of nanotracks in carbon materials. The article shows that the knowledge of the nature of ion current fluctuations in nanotracks allows modifying these effects to obtain the necessary parameters for electronic devices. These effects are especially important in the creation and improvement of modern biosensors.

Key words: ion currents, nanotracks, nanosensors, biosensors.

INTRODUCTION

Since the sixties of the past century, it is known that energetic (with tens of MeV or more) heavy (with atomic masses being usually larger than that of Ar) ion irradiation ("swift heavy ions", SHI) introduces very narrow (~ some nm) but long (typically 10–100 μm) parallel trails of damage in irradiated films (for example, polymer foils), the so-called latent ion tracks. The damage shows up primarily by the formation of radiochemical reaction products. Whereas the smaller ones readily escape from the irradiated zone thus leaving behind them nanoscopic voids, the larger ones tend to aggregate towards carbonaceous clusters. Thus, emerging structural disorder along the tracks modifies their electronic behavior. The newly created intrinsic free volume enables, for examples electrolytes, to penetrate into the polymer, thus forming parallel liquid nanowires. In case that the tracks penetrate through all the foil the conducting connections emerge between the foil front and back sides.

The ion track technology is, in particular, directed towards biosensing applications. In this case the ion tracks are functionalized directly by attaching organic or bioactive compounds (such as enzymes) to their walls. The recent advances in this field allow monitoring and tracking biomolecules in areas such as environment, food quality and health. The presently developed ion track-based nanosensors provide high sensitivity low power [1].

The creation of new biosensors and their further improvement requires a careful study of mechanisms of electrolytes passage through the tracks.

COLLECTIVE INTERACTION IN ION TRACK ELECTRONICS

In [2] the capability of a multitude of parallel electroactive nanostructures in a given substrate to show collective interactions has been considered. Two types of electroactive nanostructures are described. These electroactive nanostructures can be operated either by applying a constant voltage to them, or by application of a sinusoidal voltage at low frequency, and current spike emission can be triggered. An electroactive nanostructure can influence the performance of neighboring nanostructures by modifying the entrance or exit potentials (or both) of the latter one, via lateral charge exchange through the common front or backside conductors or contacts. For these two cases, this leads to two different effects: The collective interaction of many current spike-emitting latent tracks in electrolytic ambient leads to pulse-locked synchronization similarly to its representation in neural network theory.

In the structures with etched tracks in the films of SiO2 on Si the collective track interaction can induce negative differential resistance [3]. This is the consequence of a chain reaction triggered by spontaneous opening of previously closed (or closing of previously open) neighbored tracks. Periodic repetition of such opening/closing processes leads to self-pulsating devices.

OSCILLATING CURRENTS THROUGH NANOPOROUS MEMBRANES IN ELECTROLYTES

The effect of current pulsations when ions pass through the tracks is of great interest for creation of new biosensing devices [4-7].

To describe the properties of nanopores (in particular the ion transport in tracks) different models and mathematical methods are used. For example, the current through nanotracks is described by stationary Poisson Nernst Planck equations [8, 9]. Molecular dynamics simulation is used in [10–12] to describe the ion current rectification.

One of the models connects these oscillations with carbonaceous clusters that form along the latent tracks [7]. These clusters might behave as obstacles for the smooth ionic current passage along them, upon application of a DC or low frequency AC voltage across the track-containing polymer foil. As a result, charges may pile up in front of them until the intrinsic electric field across them exceeds the breakthrough field strength. At that moment current spikes eventually associated with negative differential resistances emerge. As the spike height is decreased by eventual surface adsorption layers, pulsating tracks can also be exploited for biosensing [13]. Foils with current spike emitting tracks are thought to mimic neurons. In a multitude of such tracks, the individual randomly emitted spikes synchronize themselves towards phase-locked oscillations [14, 15], similarly as they occur for neurons in the human brain, where their interaction results in the formation of brain waves. The frequency of these collective track pulsations is around 0.1…30 Hz [2]. Hence it is in an order of magnitude which is similar to brain waves. The presently available neural network theory describes the behavior of pulsating tracks at least qualitatively well.

In [15] it was suggested that the current oscillation mechanism is linked to the competition of two processes in the tracks: a) The adsorption of charged ions at the internal track walls and b) The ion spike when the number of accumulated ions reaches some critical value. The negative charge of the pore walls [16] causes the adsorption of positive ions.

Also, chemical reactions may influence this adsorption. During accumulation of the adsorbed ions at the inner surfaces of the tracks the repulsive forces begin to prevent the penetration of new positive ions into the tracks, hence the ion current decreases. At some threshold voltage applied to the track and for some critical number of adsorbed ions an ion spike emerges which leads to desorption of the ions accumulated inside the track, hence to an increase of the ion current. The current maximum corresponds to the open track with a minimum of adsorbed ions. Thereafter newly adsorbed ions can be accumulated so that the process repeats. Hence an oscillation current emerges with a frequency $\nu = 1/\tau_1$, (τ_1 being the period of oscillations) that is determined by the rate of accumulation of adsorbed ions and by the probability that an ion spike occurs, the latter depending on the applied voltage. In order that ions can penetrate at all through the track, the track radius must exceed a certain threshold value r_{min} which is determined by the thickness of the ion adsorption layer. On other hand, for too large track radii r_{max} the adsorption layer does not control the ion penetration through the track. Thus, current oscillations will occur only for track radii r with $r_{min} < r < r_{max}$.

The above model does not take into account the possible interaction of nanopores.

Hence this refers to the case of one track per membrane only. In the case of many tracks per membrane the statistical interaction between them modifies the conditions that determine the oscillation frequencies. Here, the ion current minimum corresponds to the situation when most tracks are closed simultaneously. Such a situation is realized as a result of statistical interaction processes and demands some time (τ_2). This interaction may be mediated by ionic charge equilibration processes between neighboring tracks via currents running from one charge carrier cloud near a track entrance and/or exit to the other, or via the (more improbable) ionic diffusion across the tracks, and by different adsorption conditions in different tracks. A realization of the situation when almost all tracks are open demands also a given time (τ_3).

It is clear that we have $\tau_1 << \tau_2 + \tau_3$: in the case of many tracks the frequency of current oscillations is much less than in the case of one individual track. In the case of many tracks per membrane the current oscillations do not drop to zero as in the case of individual tracks because in the first case some tracks are open always.

THE MODEL OF CURRENT SPIKES IN TRACK DEVICES

For ion current pulsations in track-containing foils the following features are established [17, 18]:

• Spike emission depends on the amplitude and frequency of the applied voltage.

• The high ion track density (higher than some threshold density) is necessary to obtain the effect of current spikes.

• Current spikes preferentially occur at pronounced, rather equidistant applied voltages.

• Maximal spike heights do not seem to be affected markedly by the frequency of the applied voltage.

• Current spike spectra are not always reproducible though their principle features remain the same.

• Current spike emission appears to vanish rapidly with the frequency of the applied voltage. Its decrease indicates the existence of a threshold frequency for spike emission.

The model described in [19] allows studying the general case of the ion current pulsations in the track-containing polymer foils embedded in electrolyte. A schematic representation of the appropriate structure can be seen in Fig. 1. To construct the model the classical method of

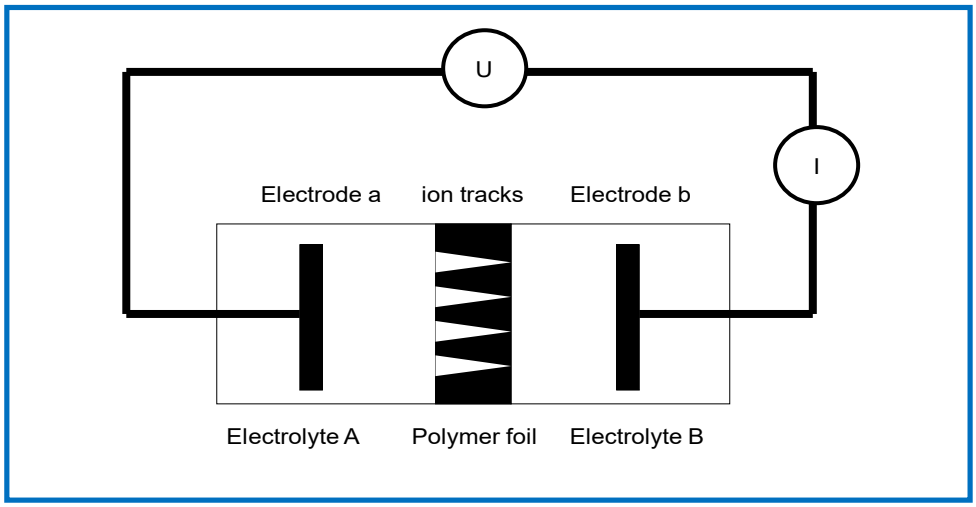


Fig. 1. Experimental setup to study current spike emission in ion track-containing foils embedded in electrolytes (current/voltage measurements)

Molecular Dynamics (MD) was modified so that a new MD approach allows describing also subthreshold radiation effects.

CONCLUSION

The effect of current spikes in track devices is discussed. Different explanations of this effect are considered. Experimental results show that ion current spikes in track-containing foils arise for different forms of tracks and different types of materials and that the current spike effect is determined significantly by the mean distance between tracks. A computer experiment with the developed model for current spikes showed that this model reflects the main features of the ion current spikes in track structures. It is shown that taking into account only one factor (the interaction of currents in the system of tracks) leads to the result of an emergence of current spikes. The occurrence of current spikes takes place in a wide range of the potential parameters.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by the Ministry of Education and Science of Ukraine (projects Nos. 0122U000850, 0122U000874, 0125U001054, 0125U002005, and 0125U002033), National Research Foundation of Ukraine (project No. 2020.02/0100), Slovak Grant Agency VEGA (projects Nos. 2/0166/22 and 2/0131/25), and Slovak Research and Development Agency (project No. APVV-21-0335). T.K. and Y.K. acknowledge the SAIA for scholarships in the Institute of Physics of Slovak Academy of Sciences in the framework of the National Scholarship Programme of the Slovak Republic. This work has also received funding through the MSCA4Ukraine project (grant No. 1128327), which is funded by the European Union, and the EURIZON project (grant EU-3022), which is funded by the European Union (EURIZON H2020 project) under grant agreement No. 871072.

BIBLIOGRAPHY

1. Alfonta L., Bukelman O., Chandra A., Fahrner W. R, Fink D., Fuks D., Golovanov V., Hnatowicz V., Hoppe K., Kiv A., Klinkovich I., Landau M., Morante J.R., Tkachenko N.V., Vacik J., Valden M. Strategies towards advanced ion track-based biosensors. *Radiat. Eff. Defects Solids.* 2009. Vol. 164. P. 431–437.
2. Fink D., Gerardo Munoz H., Alfonta L., Mandabi Y., Dias J.F., de Souza C.T., Bacakova L.E., Vacik J., Hnatowicz V., Kiv A.E., Fuks D., Papaleo R.M. Status and Perspectives of Ion Track Electronics for Advanced Biosensing. Eds. Shunin, Y.N., & A.E. Kiv, A.E., Nanodevices and Nanomaterials for Ecological Security, NATO Science for Peace and Security, Series B: Physics and Biophysics, Springer, 2012, P. 269–279.
3. Fink D., Petrov A., Hoppe K., Fahrner W.R. Characterization of "TEMPOS" structures. *Proceedings of MRS Meeting* (Boston, 1-5 December 2003).
4. Powell M.R., Sullivan M., Vlassiouk I., Constantin D., Sudre O., Martens C.C., Eisenberg R.S., Siwy Z.S. Nanoprecipitation-assisted ion current oscillations. *Nat. Nanotech.* 2008. Vol. 3. P. 51–59.
5. Fink D., Cruz S., Munoz G., Kiv A. Current spikes in polymeric latent and funnel-type ion tracks. *Radiat. Eff. Defects Solids.* 2010. Vol. 166. P. 373–388.
6. Fink D., Munoz G.H., Vacik J., Alfonta L. Pulsed biosensing. *IEEE Sens. B.* 2011. Vol. 11. P. 1084–1089.
7. Fink D., Kiv A., Fuks D., Tabacnics M., de Rizutto M.A., Silva A.O.D., Chandra A. Irradiation induced pulsations of reverse biased metal oxide/silicon structures. *Appl. Phys. Lett.* 2007. Vol. 91. P. 083512–83520.
8. Cervera J., Schiedt B., Ramirez P. Poisson-Nernst-Planck model for ionic transport through synthetic conical nanopores. *Europhys. Lett.* 2005. Vol. 71. P. 35–41.
9. Cervera J., Schiedt B., Neumann R., Mafe S., Ramirez P. Ionic conduction, rectification and selectivity in single conical nanopores. *J. Chem. Phys.* 2006. Vol. 124. P. 104706–104710.
10. Cruz-Chu E.R., Aksimentiev A., Schulten K. Ionic current rectification through silica nanopores. *J. Phys. Chem. C.* 2009. Vol. 113. P. 1850–1862.
11. Cruz-Chu E.R., Ritz T., Siwy Z.S., Schulten K. Molecular control of ionic conduction in polymer nanopores. *Faraday Discuss.* 2009. Vol. 143. P. 47–62.
12. Siwy Z., Apel P., Dobrev D., Neumann R., Spoor R., Trautmann C., Voss K. Ion transport through asymmetric nanopores prepared by ion track etching. *Nucl. Instrum. Meth. B.* 2003. Vol. 208. P. 143–148.
13. Fink D., Vacik J., Garcia Arellano H., Muñoz G.H., Alfonta L., Fahrner W.R., Hoppe K., Kiv A. Biosensors with nuclear tracks and embedded membranes. *Key Eng. Mater.* 2014. Vol. 605. P. 83–86.
14. Fink D., Muñoz G.H., Vacik J., Alfonta L. Pulsed biosensing. *IEEE Sen. J.* 2011. Vol. 11(4). P. 1084–1087.
15. Fink D., Kiv A., Fuks D., Saad A., Vacik J., Hnatowicz V., Chandra A. Conducting swift heavy ion track networks. *Radiat. Eff. Defects Solids.* 2010. Vol. 165. P. 227–244.
16. Fink D., Hnatowicz V., Apel P.Y. Transport Processes in Tracks. Transport Processes in Ion Irradiated Polymers. Ed. Fink, D. *Springer Series in Materials Science*, 2004. Vol. 65. P. 128–130.
17. Fink D., Kiv A., Fuks D., Munoz G.H., Cruz S.A., Fahrner W.R., Hoppe K. Collective interaction in ion track electronics. *Computer Modelling and New Technologies.* 2011. Vol. 15. P. 7–18.
18. Fink D., Cruz S., Munoz G.H., Kiv A. Current spikes in polymeric latent and funnel-type ion tracks. *Radiat. Eff. Defects Solids.* 2011. Vol.166. P. 373–388.
19. Mykytenko N., Fink D., Kiv A. Computer modeling of ion current pulsations in track-containing foils. *J. Comput. Sci.* 2015. Vol. 6. P. 34–39.

REFERENCES

1. Alfonta, L., Bukelman, O., Chandra, A., Fahrner, W. R, Fink, D., Fuks, D., Golovanov, V., Hnatowicz, V., Hoppe, K., Kiv, A., Klinkovich, I., Landau, M., Morante, J.R., Tkachenko, N.V., Vacik, J., & Valden, M. (2009). Strategies towards advanced ion track-based biosensors. *Radiat. Eff. Defects Solids.* Vol. 164. P. 431–437.
2. Fink, D., Gerardo Munoz, H., Alfonta, L., Mandabi, Y., Dias, J.F., de Souza, C.T., Bacakova, L.E., Vacik, J., Hnatowicz, V., Kiv, A.E., Fuks, D., & Papaleo, R.M. (2012). Status and Perspectives of Ion Track Electronics for Advanced Biosensing. Eds. Shunin, Y.N., & A.E. Kiv, A.E., Nanodevices and Nanomaterials for Ecological Security, NATO Science for Peace and Security, Series B: Physics and Biophysics, Springer, P. 269–279.
3. Fink, D., Petrov, A., Hoppe, K., & Fahrner, W.R. (2003). Characterization of "TEMPOS" structures. *Proceedings of MRS Meeting* (Boston, 1-5 December 2003).
4. Powell, M.R., Sullivan, M., Vlassiouk, I., Constantin, D., Sudre, O., Martens, C.C., Eisenberg, R.S., & Siwy, Z.S. (2008). Nanoprecipitation-assisted ion current oscillations. *Nat. Nanotech.* Vol. 3. P. 51–59.
5. Fink, D., Cruz, S., Munoz, G., & Kiv, A. (2010). Current spikes in polymeric latent and funnel-type ion tracks. *Radiat. Eff. Defects Solids.* Vol. 166. P. 373–388.
6. Fink, D., Munoz, G.H., Vacik, J., & Alfonta, L. (2011). Pulsed biosensing. *IEEE Sens. B.* Vol. 11. P. 1084–1089.
7. Fink, D., Kiv, A., Fuks, D., Tabacnics, M., de Rizutto, M.A., Silva, A.O.D., & Chandra, A. (2007). Irradiation induced pulsations of reverse biased metal oxide/silicon structures. *Appl. Phys. Lett.* Vol. 91. P. 083512–83520.
8. Cervera, J., Schiedt, B., & Ramirez, P. (2005). Poisson-Nernst-Planck model for ionic transport through synthetic conical nanopores. *Europhys. Lett.* Vol. 71. P. 35–41.
9. Cervera, J., Schiedt, B., Neumann, R., Mafe, S., & Ramirez, P. (2006). Ionic conduction, rectification and selectivity in single conical nanopores. *J. Chem. Phys.* Vol. 124. P. 104706–104710.
10. Cruz-Chu, E.R., Aksimentiev, A., & Schulten, K. (2009). Ionic current rectification through silica nanopores. *J. Phys. Chem. C.* Vol. 113. P. 1850–1862.
11. Cruz-Chu, E.R., Ritz, T., Siwy, Z.S., & Schulten, K. (2009). Molecular control of ionic conduction in polymer nanopores. *Faraday Discuss.* Vol. 143. P. 47–62.
12. Siwy, Z., Apel, P., Dobrev, D., Neumann, R., Spoor, R., Trautmann, C., & Voss, K. (2003). Ion transport through asymmetric nanopores prepared by ion track etching. *Nucl. Instrum. Meth. B.* Vol. 208. P. 143–148.
13. Fink, D., Vacik, J., Garcia Arellano, H., Muñoz, G.H., Alfonta, L., Fahrner, W.R., Hoppe, K., & Kiv, A. (2014). Biosensors with nuclear tracks and embedded membranes. *Key Eng. Mater.* Vol. 605. P. 83–86.
14. Fink, D., Muñoz, G.H., Vacik, J., & Alfonta, L. (2011). Pulsed biosensing. *IEEE Sen. J.* Vol. 11(4). P. 1084–1087.
15. Fink, D., Kiv, A., Fuks, D., Saad, A., Vacik, J., Hnatowicz, V., & Chandra, A. (2010). Conducting swift heavy ion track networks. *Radiat. Eff. Defects Solids.* Vol. 165. P. 227–244.
16. Fink, D., Hnatowicz, V., & Apel, P.Y. (2004). Transport Processes in Tracks. Transport Processes in Ion Irradiated Polymers. Ed. Fink, D. Springer Series in Materials Science, Vol. 65. P. 128–130, and references therein.
17. Fink, D., Kiv, A., Fuks, D., Munoz, G.H., Cruz, S.A., Fahrner, W.R., & Hoppe, K. (2011). Collective interaction in ion track electronics. *Computer Modelling and New Technologies.* Vol. 15. P. 7–18.
18. Fink, D., Cruz, S., Munoz, G.H., & Kiv, A. (2011). Current spikes in polymeric latent and funnel-type ion tracks. *Radiat. Eff. Defects Solids.* Vol.166. P. 373–388.

19. Mykytenko, N., Fink, D., & Kiv, A. (2015). Computer modeling of ion current pulsations in track-containing foils. *J. Comput. Sci.* Vol. 6. P. 34–39.

АНОТАЦІЯ

МЕХАНІЗМ КОЛИВАНЬ ІОННИХ СТРУМІВ У НАНОТРЕКАХ

У статті наведено опис особливостей пульсацій іонного струму у трекових пристроях. Обговорюються умови, за яких виникають пульсації. Ми розглядаємо різні підходи, що використовуються для пояснення ефектів пульсацій іонного струму. Пульсації іонного струму при проходженні через нанотреки відіграють подвійну роль у практичному застосуванні. У біосенсорних системах ці ефекти суттєво впливають на параметри пристроїв. В інших випадках ці ефекти слугують основою для механізмів їхньої роботи в нових пристроях.

Наші дослідження, а також результати інших авторів, показують, що механізми коливань іонного струму у нанотреках пов'язані з трьома причинами. Перша причина – колективна взаємодія струмів у нанотреках, друга – певна дефектна структура внутрішніх стінок нанотреків, а третя – карбонізація у випадку нанотреків у вуглецевих матеріалах. У статті показано, що знання природи коливань іонного струму у нанотреках дозволяє модифікувати ці ефекти для отримання необхідних параметрів для електронних пристроїв. Ці ефекти особливо важливі при створенні та вдосконаленні сучасних біосенсорів.

Ключові слова: іонні струми, нанотреки, наносенсори, біосенсори.

НОТАТКИ

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ACTA CARPATHICA

Збірник наукових праць

№ 1 (43), 2025

Здано до набору 15.05.2025 р. Підписано до друку 30.05.2025 р.
Гарнітура Times New Roman. Формат 70×100/16.
Друк офсетний. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 7,31. Зам. № 0525/432. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 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.

УДК 502.521(477.44):546.3-022.17]:504.5-047.44](045)
DOI https://doi.org/10.32782/2450-8640.2025.1.6

Олена Василівна Кочубей,
доктор філософії, викладач кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-5047-6694, e-mail: sncelena@gmail.com

Світлана Василівна Совгіра,
доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-8742-7773, e-mail: sovgirasvitlana@gmail.com

Наталія Юріївна Душечкіна,
кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та екології
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
orcid.org/0000-0002-4203-7122, e-mail: nataxeta74@gmail.com

НОРМУВАННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ: ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОБУЖЖЯ)

Анотація. У статті висвітлюється проблема техногенного забруднення ґрунтів важкими металами в межах Центрального Побужжя, що є регіоном зі значним антропогенним навантаженням. У контексті активного розвитку промисловості, транспорту, сільськогосподарської діяльності та урбанізації, відбувається накопичення в ґрунтовому середовищі токсичних елементів, зокрема кадмію, свинцю, міді, цинку, нікелю, хрому, що створює потенційну загрозу для стану агроекосистем, якості продукції рослинництва та здоров'я населення. Метою дослідження є аналіз сучасних хімічних методів виявлення важких металів у ґрунтах і наукове обґрунтування принципів їх екологічного нормування. У роботі подано коротку характеристику основних інструментів аналітичної хімії, зокрема спектрофотометричних, атомно-абсорбційних, рентгенофлуоресцентних методів, що дозволяють здійснювати високоточне кількісне визначення концентрацій токсичних елементів.

Також проаналізовано наявні нормативно-правові документи щодо гранично допустимих концентрацій (ГДК) для ґрунтів різного типу, а також методики розрахунку узагальнених індексів забруднення, таких як індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ), геохімічний коефіцієнт накопичення, ступінь техногенного навантаження. Результати хімічного аналізу, проведеного на території Центрального Побужжя, свідчать про локальне перевищення нормативних показників, що обумовлює необхідність посилення регіонального екологічного моніторингу, оптимізації системи землеустрою та запровадження інтегрованого підходу до охорони ґрунтів. Обґрунтовано перспективність використання геоінформаційних технологій у поєднанні з аналітикою для створення карт техногенного навантаження, що сприятиме ефективному прийняттю управлінських рішень у сфері охорони довкілля. Матеріали статті можуть бути корисними для екологів, ґрунтознавців, хіміків-аналітиків, фахівців з природоохоронного менеджменту.

Ключові слова: важкі метали, ґрунт, техногенне навантаження, хімічний аналіз, гранично допустима концентрація, Центральне Побужжя, нормування.

ВСТУП

Ґрунт є одним із найважливіших компонентів біосфери, що забезпечує життєдіяльність наземних екосистем, продуктивність агроландшафтів і сталий розвиток природного середовища. Водночас, ґрунт є й одним з основних акумуляторів техногенного забруднення, зокрема унаслідок надходження важких металів із промислових викидів, стічних вод, транспортних викидів, мінеральних добрив та засобів захисту рослин. Особливої актуальності це питання набуває у регіонах зі значною індустріалізацією, розвинутим агросектором і високою щільністю населення. Центральне Побужжя належить саме до таких територій, де інтенсивне використання природних ресурсів зумовлює значне антропогенне навантаження на ґрунтове середовище. Згідно з даними сучасних досліджень [1], [4], [3], основними джерелами важких металів є промисловість, транспорт та аграрний сектор.

Важкі метали, на відміну від органічних забруднювачів, є стійкими, не розкладаються у природних умовах і мають здатність до біоакумуляції та тривалого збереження в ґрунтовому профілі. Їх надлишок не лише порушує фізико-хімічні властивості ґрунтів, а й становить загрозу для трофічних ланцюгів, рослинної і тваринної продукції, а отже, й здоров'я людини. З огляду на це, важливою науковою та практичною проблемою є виявлення, оцінка та нормування вмісту важких металів у ґрунтах [4].

У науковій літературі наявні різні підходи до класифікації забруднення ґрунтів, проте ефективність природоохоронних заходів значною мірою залежить від достовірності хімічного аналізу та обґрунтованості екологічних нормативів. Саме тому хімічні дослідження, що застосовуються для виявлення токсичних елементів у ґрунтах, має важливе значення у контексті розроблення систем моніторингу та регіональних програм охорони довкілля [10].

Метою цієї статті є комплексне висвітлення хімічних методів визначення важких металів у ґрунтах, аналіз чинної нормативної бази щодо їх вмісту, а також оцінка рівня техногенного навантаження на територію Центрального Побужжя з урахуванням сучасних підходів до екологічного нормування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження було проведено на території Центрального Побужжя – природно-географічного регіону, що охоплює частину Вінницької, Кіровоградської та Черкаської областей [9]. Об'єктом дослідження виступають ґрунти, розташовані в зонах з різним рівнем антропогенного навантаження: поблизу промислових підприємств, автомагістралей, сільськогосподарських угідь інтенсивного використання, а також на умовно чистих (контрольних) ділянках. Особливу увагу приділено ділянкам, що зазнають впливу техногенних чинників, зокрема в межах промислових зон та транспортних розв'язок. Методика ґрунтується на підходах, викладених у роботах [6], що підтверджує її наукову валідацію.

Відбір зразків ґрунту здійснювався у весняно-літній період 2024 року за стандартною методикою, що передбачає пробовідбір з глибини 0–20 см – шару, найбільш схильного до накопичення токсикантів. Було відібрано понад 30 зразків із різних типів ґрунтів, зокрема чорноземів типових, лучно-чорноземних і сіроземів. Зразки транспортувалися до лабораторії в герметичних контейнерах із дотриманням температурного режиму.

Для хімічного аналізу вмісту важких металів використовувалися атомно-абсорбційна

спектрофотометрія (ААС) – для визначення концентрацій свинцю, кадмію, міді, цинку, нікелю та хрому, спектрофотометрія – як допоміжний метод для виявлення валентних форм металів (наприклад, Cr(III) та Cr(VI)) та уточнення результатів ААС, а також рентгенофлуоресцентний аналіз (XRF) – для оперативного скринінгового визначення загального вмісту елементів у твердих зразках без попередньої підготовки. Перед проведенням вимірювань зразки висушували, просіювали через сито з розміром отворів 1 мм, а потім піддавали кислотному розчиненню у відповідності до методичних рекомендацій ISO 11466:1995 та EPA 3050B. Для контролю точності використовували сертифіковані референтні матеріали та дублювання проб [8].

Інтерпретація результатів здійснювалась за допомогою таких аналітичних показників, як коефіцієнт варіації (Cv) – для оцінки просторової мінливості концентрацій металів, коефіцієнт накопичення (Кн) – співвідношення між концентрацією металу в забрудненому ґрунті та його фоновим рівнем, індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ) – як узагальнена оцінка ступеня техногенного навантаження, а також порівняння фактичного вмісту елементів із встановленими нормативами згідно з вимогами ДСП 11-11-2001 щодо гранично допустимих концентрацій (ГДК) [3].

Результати оброблялися із застосуванням статистичного програмного забезпечення Statistica 13.0, а також використовувалися можливості платформи QGIS для просторової візуалізації отриманих даних [7].

РЕЗУЛЬТАТИ

Результати хімічного аналізу ґрунтів Центрального Побужжя свідчать про наявність техногенно зумовленого забруднення важкими металами різного ступеня інтенсивності залежно від просторового розташування досліджуваних ділянок. Території, наближені до джерел техногенного навантаження – промислових об’єктів, автомагістралей, зон накопичення відходів – демонструють вищі концентрації кадмію, свинцю, цинку, міді, нікелю порівняно з контрольними зразками, відібраними в умовно чистих або слабо порушених ландшафтах [3].

Весняно-літній період 2024 року було обрано для польового етапу дослідження, що дозволило оцінити стан ґрунтів у період найменшої біологічної активності, коли мінеральні компоненти у більшій мірі стабілізовані й менш піддаються сезонним флуктуаціям. Загалом було відібрано понад 30 ґрунтових зразків, кожен з яких піддавався комплексному аналізу за вмістом цинку (Zn), міді (Cu), свинцю (Pb), кадмію (Cd), нікелю (Ni) та хрому (Cr). Для аналітичних вимірювань застосовували атомно-абсорбційний спектрометр, спектрофотометр та XRF-аналізатор, що забезпечили достовірність результатів та можливість зіставлення даних між ділянками з різним рівнем навантаження.

Середній вміст цинку у зразках коливався в межах 75–135 мг/кг, при нормативі 100 мг/кг. Найвищі значення були зафіксовані на ділянках інтенсивного сільськогосподарського використання, що свідчить про внесення мінеральних добрив, багатих на Zn [5]. Концентрація свинцю сягала 85 мг/кг, що перевищує ГДК (32 мг/кг) більш ніж у 2,5 раза, особливо поблизу автомагістралей. Кадмій, як один із найбільш токсичних елементів, виявлено у концентраціях до 1,7 мг/кг при нормативі 0,7 мг/кг, що вказує на наявність локальних джерел забруднення, імовірно, пов’язаних із згорянням пального, промисловими викидами та непрямим надходженням з полів (рис. 1).

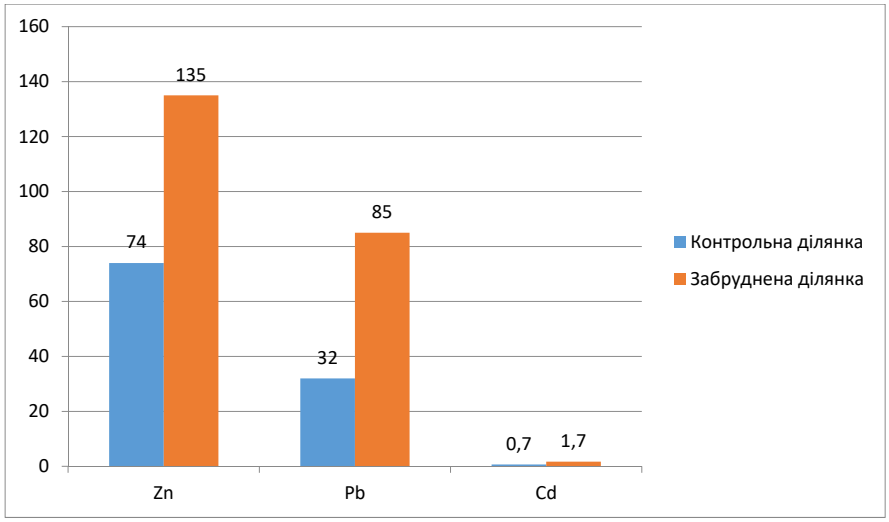


Рис. 1. Порівняння концентрацій Zn, Pb, Cd між контрольними та забрудненими ділянками

Для оцінки рівня техногенного навантаження було розраховано індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ), який охоплює сумарне відношення концентрацій металів до їх нормативних значень. За цим показником, у 27% зразків виявлено низький рівень забруднення (ІЗЗ < 16), у 41% – середній (16–32), а в 32% – високий рівень (ІЗЗ > 32). Високі значення ІЗЗ домінують у районах, де наявні старі промислові підприємства або об’єкти незадовільного екологічного стану (рис. 2).

Просторове представлення результатів у вигляді картографічної візуалізації у QGIS дозволило виділити кластери забруднення (рис. 3), що розташовані переважно вздовж основних транспортних шляхів і на периферії населених пунктів із розвиненою промисловою інфраструктурою [3].



Рис. 2. Просторовий розподіл рівнів ІЗЗ у %, категорії: низький, середній, високий

Окрім ІЗЗ, використовувався коефіцієнт накопичення (Кн), який показав значне перевищення фонових рівнів, особливо для Cd (Кн > 4) та Pb (Кн > 2,5), що підтверджує наявність техногенного навантаження. Статистична обробка результатів із використанням коефіцієнта варіації (Cv) виявила високу просторову мінливість концентрацій металів: Cv для Cd і Pb сягав 60–70%, що свідчить про локалізований характер джерел забруднення, пов'язаний із особливостями техногенного впливу в межах досліджуваного регіону.

Порівняння з міжнародними стандартами, зокрема Європейського Союзу (EU Soil Strategy), показало, що українські ГДК для Cd і Pb є значно вищими за рекомендовані європейські порогові значення, що може знижувати ефективність екологічного контролю. Наприклад, ГДК кадмію в ґрунтах ЄС становить 0,3 мг/кг, тоді як в Україні -0,7 мг/кг, що свідчить про потребу у перегляді нормативів з урахуванням сучасних уявлень про токсичність елементів та їхню поведінку в ґрунтовому середовищі [4]. Більше того, вітчизняна система нормування здебільшого ґрунтується на середніх показниках, не враховуючи специфіку ґрунтів конкретного регіону, їхню буферну здатність, кислотність, гранулометричний склад, які суттєво впливають на мобільність металів і біодоступність.

Дослідження також засвідчило доцільність розширення методології моніторингу за рахунок біоіндикаційних підходів, зокрема використання накопичення металів у рослинних індикаторах (наприклад, кульбаба, кропива), а також інтеграції аналітичної хімії з геоінформаційними технологіями для створення інструментів оперативного реагування. Такі інструменти можуть слугувати основою для регіонального управління

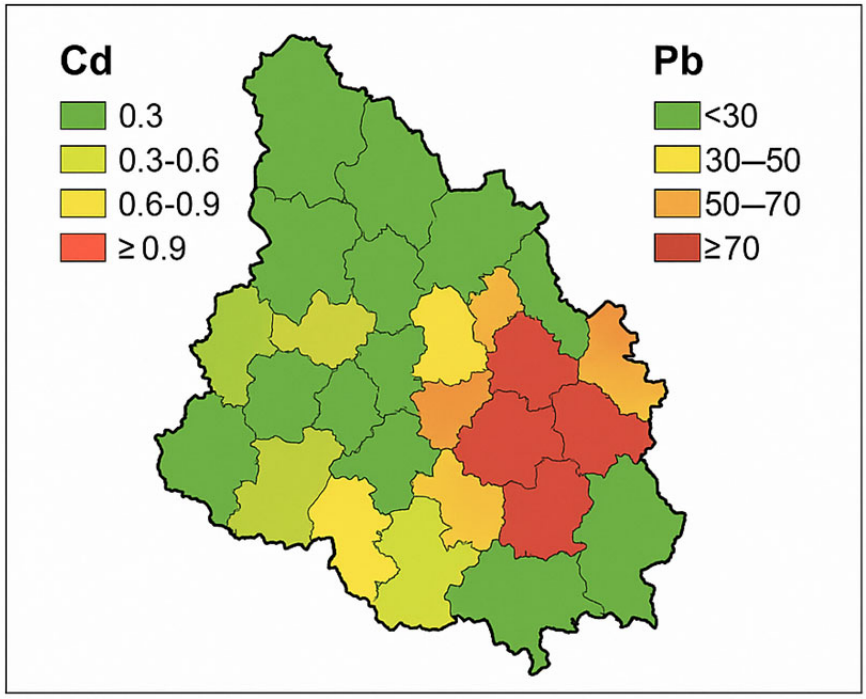


Рис. 3. Карта просторового розподілу ІЗЗ, побудована в QGIS

земельними ресурсами, визначення пріоритетних зон рекультивації, агроекологічного планування та запобігання деградації ґрунтів [2].

Одним із ключових аспектів у інтерпретації отриманих даних стало зіставлення рівнів забруднення ґрунтів із типами землекористування, оскільки функціональне призначення території безпосередньо впливає на джерела і шляхи надходження важких металів у ґрунтове середовище. Так, на територіях інтенсивного сільськогосподарського використання відмічено стійке перевищення нормативних значень для міді та цинку, що пояснюється широким застосуванням мінеральних добрив, мікроелементних добавок і препаратів на основі міді для обробки рослин. Це узгоджується з літературними джерелами, в яких вказується на сільське господарство як друге за значимістю джерело важких металів у ґрунтах після промисловості.

У зразках, відібраних із територій, прилеглих до автомагістралей, домінували підвищені концентрації свинцю та кадмію. Незважаючи на обмеження або заборону використання тетраетилсвинцю в сучасному пальному, залишкові наслідки багаторічної експлуатації автомобільного транспорту все ще виявляються в структурі забруднення ґрунтів [8]. Крім того, сучасний автотранспорт, особливо дизельний, продовжує бути джерелом кадмію та інших важких металів, які викидаються з вихлопними газами, зносу шин і гальмівних колодок. У такий спосіб формуються так звані «лінійні джерела» забруднення, які особливо небезпечні через довжину впливу та накопичувальний ефект [9].

На територіях із ознаками промислового впливу було виявлено комплексне забруднення ґрунтів кількома важкими металами одночасно. Саме там спостерігались найвищі значення індексу ґрунтового забруднення (ІЗЗ > 40), що відповідає високому ступеню небезпеки для навколишнього середовища. У низці точок зафіксовано зміни кольору та структури ґрунтового профілю, зокрема ущільнення, зміщення кислотності в бік підкислення, що додатково впливає на мобільність металів та їх проникнення у глибші горизонти [7].

Дослідження показали, що гранулометричний склад ґрунтів також відіграє суттєву роль у накопиченні важких металів. Найвищі концентрації виявлено у дрібнозернистих та суглинкових ґрунтах, які мають більшу питому поверхню, а отже, вищу здатність до сорбції металів. У піщаних ґрунтах, навпаки, вміст важких металів був нижчим, що пояснюється їх меншою сорбційною здатністю та вищою фільтраційною активністю. Такий висновок підтверджує необхідність у регіональному нормуванні забруднення ґрунтів із урахуванням не лише типу землекористування, але й фізико-хімічних властивостей самих ґрунтів.

Інтеграція результатів хімічного аналізу в геоінформаційне середовище дозволила не лише просторово візуалізувати зони забруднення, але й змоделювати потенційне поширення токсичних елементів за сценаріями розвитку територій. Побудовані тематичні карти техногенного навантаження дозволяють планувати заходи з локалізації та мінімізації екологічного ризику, а також оцінити ефективність застосування природоохоронних технологій на конкретних ділянках. Це особливо важливо в умовах зміни клімату, коли ерозійні процеси, змиви та коливання ґрунтових вод можуть істотно посилити розповсюдження забруднювачів.

У рамках дослідження також запропоновано формування локальних нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) для кожного району Центрального Побужжя з урахуванням фонового стану ґрунтів, типу господарської діяльності, кліматичних та гідрогеологічних особливостей. Такий підхід дозволить зробити систему екологічного

нормування більш гнучкою та адаптивною, що відповідає принципам європейської стратегії щодо сталого управління ґрунтами.

Загалом, результати дослідження підтвердили складний, мультифакторний характер техногенного навантаження на ґрунтове середовище Центрального Побужжя. Комплексний аналіз, що включає хімічні, статистичні, картографічні та біоіндикаційні підходи, дає змогу не лише ідентифікувати проблемні ділянки, а й сформувати науково обґрунтовану базу для прийняття управлінських рішень у сфері охорони земель.

ВИСНОВКИ

Комплексне дослідження вмісту важких металів у ґрунтах Центрального Побужжя засвідчило наявність значного техногенного навантаження на ґрунтове середовище, що зумовлено поєднанням промислової діяльності, інтенсивного землеробства та транспортного навантаження. Найбільші концентрації кадмію, свинцю, цинку та міді були зафіксовані на територіях, наближених до джерел забруднення, зокрема промислових об'єктів і автомобільних доріг, а також на сільськогосподарських угіддях, де активно застосовуються добрива та агрохімікати.

Розраховані індекси забруднення, зокрема індекс ґрунтового забруднення (ІЗЗ) і коефіцієнти накопичення, підтвердили локальні та регіональні перевищення встановлених нормативних рівнів, що свідчить про потребу в удосконаленні системи екологічного моніторингу. Отримані дані демонструють високу просторову варіативність рівнів забруднення, зумовлену як природними факторами (гранулометричний склад, кислотність ґрунтів), так і антропогенними джерелами впливу.

Порівняння результатів із національними та міжнародними нормативами показало необхідність перегляду вітчизняної нормативної бази з урахуванням регіональної специфіки та європейських екологічних вимог. Особливо це стосується гранично допустимих концентрацій кадмію та свинцю, які в Україні вищі, ніж у країнах ЄС, що знижує рівень ефективності екологічного контролю.

Доцільним вбачається впровадження інтегрованої системи оцінювання стану ґрунтів, яка поєднує аналітичні хімічні методи, біоіндикаційні підходи та геоінформаційні технології. Такий міждисциплінарний підхід дозволяє не лише виявляти джерела та рівні забруднення, але й створювати картографічні моделі ризику, які можуть бути використані в управлінні територіями, плануванні рекультиваційних заходів і формуванні регіональної політики сталого землекористування.

Таким чином, результати дослідження можуть стати підґрунтям для розроблення науково обґрунтованих заходів щодо охорони ґрунтів, адаптації системи екологічного нормування до сучасних викликів, а також створення ефективного механізму моніторингу та управління станом ґрунтових ресурсів Центрального Побужжя.

ЛІТЕРАТУРА

1. Datsko O., Butenko E., Kovalenko S. Ecological Assessment of Heavy Metal Content in Ukrainian Soils. *Journal of Ecological Engineering*. 2024, Т. 25, № 11. С. 100–108. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/192669
2. Yakymchuk A., Balanda O., Bzowska-Bakalarz M. Assessment of Soil Contamination of Ukraine with Heavy Metals. *Management Systems in Production Engineering*. 2024, Т. 32, № 2. С. 670–678. DOI: https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0039

3. Gololobova O.O. Assessment of Ecological Risk of Soil Contamination by Heavy Metals. *Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*. 2024, № 31. С. 12–20. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-31-02
4. Sytar O., Taran N. Effect of Heavy Metals on Soil and Crop Pollution in Ukraine – A Review. *Journal of Central European Agriculture*. 2023, Т. 23, № 4. С. 879–892. DOI: https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603
5. Kurylo P., Kharlamova O., Chornobay O., Kovalenko S. Heavy Metal Pollution of Soils in the Donetsk Region as a Result of War. *Environmental Research*. 2019, Т. 179. С. 108744. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108744
6. Shparyk Y., Parpan V. Heavy Metal Pollution and Forest Health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*. 2020, Т. 267. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115634
7. Kravets V., Skorobogatov L., Danylenko I., Kovtun O., Chorniy M. Soil Pollution in Areas Affected by Military Actions in Eastern Ukraine. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021, Т. 193, № 3. С. 123. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-021-08923-4
8. Tytova O., Steshenko V., Zadorozhna S. Environmental Consequences of War: Changes in Heavy Metal Concentrations in Soils of Eastern Ukraine. *Science of the Total Environment*. 2022, Т. 812. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152456
9. Babicheva I., Kalita O., Romanyuk Y. Influence of Military Activities on Heavy Metal Levels in Soils of Eastern Ukraine. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2018, Т. 19, № 3. С. 1239–1247.
10. Kovalenko S., Butenko E., Datsko O. Environmental Assessment of Soil Contamination by Trace Metals. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024, Т. 196, № 5. С. 345. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-024-12345-6

REFERENCES

1. Datsko, O., Butenko, E., & Kovalenko, S. (2024). Ecological assessment of heavy metal content in Ukrainian soils. *Journal of Ecological Engineering*, 25(11), 100–108. https://doi.org/10.12911/22998993/192669
2. Yakymchuk, A., Balanda, O., & Bzowska-Bakalarz, M. (2024). Assessment of soil contamination of Ukraine with heavy metals. *Management Systems in Production Engineering*, 32(2), 670–678. https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0039
3. Gololobova, O.O. (2024). Assessment of ecological risk of soil contamination by heavy metals. *Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*, (31), 12–20. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-31-02
4. Sytar, O., & Taran, N. (2023). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine – A review. *Journal of Central European Agriculture*, 23(4), 879–892. https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603
5. Kurylo, P., Kharlamova, O., Chornobay, O., & Kovalenko, S. (2019). Heavy metal pollution of soils in the Donetsk region as a result of war. *Environmental Research*, 179, 108744. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108744
6. Shparyk, Y., & Parpan, V. (2020). Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*, 267, 115634. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115634
7. Kravets, V., Skorobogatov, L., Danylenko, I., Kovtun, O., & Chorniy, M. (2021). Soil pollution in areas affected by military actions in Eastern Ukraine. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(3), 123. https://doi.org/10.1007/s10661-021-08923-4
8. Tytova, O., Steshenko, V., & Zadorozhna, S. (2022). Environmental consequences of war: Changes in heavy metal concentrations in soils of Eastern Ukraine. *Science of the Total Environment*, 812, 152456. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152456

9. Babicheva, I., Kalita, O., & Romanyuk, Y. (2019). Influence of military activities on heavy metal levels in soils of Eastern Ukraine. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(3), 1239–1247.
10. Kovalenko, S., Butenko, E., & Datsko, O. (2024). Environmental assessment of soil contamination by trace metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(5), 345. https://doi.org/10.1007/s10661-024-12345-6

ABSTRACT

REGULATION OF HEAVY METALS CONTENT IN SOILS: CHEMICAL METHODS FOR ASSESSING TECHNOLOGICAL LOAD (USING THE EXAMPLE OF THE CENTRAL *POBUZHZHIA*)

The article highlights the problem of technogenic soil contamination with heavy metals in the Central Pobuzhzhia region, which is characterized by significant anthropogenic pressure. Due to the intensive development of industry, transportation, agriculture, and urbanization, toxic elements such as cadmium, lead, copper, zinc, nickel, and chromium are increasingly accumulating in the soil environment. This poses a serious threat to the sustainability of agroecosystems, the safety of crop production, and public health. The main goal of this study is to analyze current chemical methods for detecting heavy metals in soils and to scientifically substantiate the principles of their environmental regulation. The article briefly characterizes the main tools of analytical chemistry, including spectrophotometric, atomic absorption, and X-ray fluorescence methods, which enable accurate quantitative determination of pollutant concentrations.

The study also examines the regulatory and legal documents that define the maximum allowable concentrations (MACs) for different types of soils and outlines the methodologies for calculating integral pollution indices such as the Soil Pollution Index (SPI), geochemical accumulation coefficient, and the degree of technogenic pressure. The results of chemical analyses conducted in the Central Pobuzhzhia territory indicate local exceedances of normative values, underscoring the need to strengthen regional environmental monitoring systems, optimize land use planning, and implement an integrated approach to soil protection. The article emphasizes the prospects of using geographic information systems (GIS) in combination with analytical data to develop technogenic load mapping, which would facilitate more effective decision-making in environmental management. The presented materials are of practical value for environmental scientists, soil experts, analytical chemists, and professionals in environmental protection and land management.

Key words: heavy metals, soil, technogenic load, chemical analysis, maximum allowable concentration, Central Pobuzhzhia, regulation.