

ISSN 2450 – 8640

ACTA CARPATHICA

№ 2 (42)



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

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

ACTA CARPATHICA

Збірник наукових праць

№ 2 (42), 2024

Збірник наукових праць

Заснований в 2013 р.

2 рази на рік

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

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

Члени редакційної колегії:

Дрозд Інеса (Україна), Згарджинська Божена (Польща), Ків Арік (Ізраїль), Клепач Галина (Україна), Климйшин Олександр (Україна), Кухаж Юлія (Україна), Лупак Оксана (Україна), Смуток Олег (США), Сосиневич Святослав (Швеція)

Members of the Editorial board:

Drozdz 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:

Національний природний парк Сколівські Бескиди.
Водоспад Сопіт
Автор: Наталія Гойванович.

Cover image:

The Skole Beskids National Nature Park.
Sopit waterfall
Author: Nataliia Hoivanovych.

Рекомендовано до друку Вченою радою Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка (протокол № 11 від 31.10.2024)

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.

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 «101 Екологія», «091 Біологія».

© Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2024

ЗМІСТ

Андрій Валерійович Лисиця, Дарія Василівна Лико, Оксана Іванівна Портухай, Ірина Павлівна Логвиненко	
Вміст сполук нітрогену у транскордонних річках Рівненської області.....	5
The contents of nitrogen compounds in the transcordon rivers of the Rivne region	14
Діана Богданівна Передерій	
Комплексна дія бетаїну, таурину та міо-інозитулу на біохімічні показники крові курей-несучок за теплового стресу.....	16
The synergistic impact of betaine, taurine, and myo-inositol on the biochemical blood profiles of laying hens under heat stress conditions.....	22
Dietmar Fink, Arnold Kiv, Taras Kavetskyu, Volodymyr Soloviev, Yurii Bondaruk, Nataliia Hoivanovych, Yuliia Kukhazh, Oksana Zubrytska, Oles Matskiv, Alaa Hijaze, Ondrej Šauša	
Mechanism for detecting contaminants in the track sensors.....	24
Механізм для виявлення забруднюючих речовин у трекових сенсорах.....	29
Ольга Володимирівна Васьків, Галина Миколаївна Клепач, Олег Володимирович Стасик, Олена Георгіївна Стасик	
Іони купруму (II) підвищують цитотоксичний вплив рекомбінантного альфа-синуклеїну людини на клітини дріжджів <i>Ogataea polymorpha</i>	30
Copper (II) ions enhance the cytotoxic effect of recombinant human alpha-synuclein on <i>Ogataea polymorpha</i> yeast cells.....	42
Назар Богданович Жигаль, Галина Леонідівна Антоняк	
Акустичне забруднення атмосфери на вулицях міста Львова та вплив зелених насаджень на рівень шуму, зумовленого рухом автотранспорту.....	43
Acoustic pollution of the atmosphere on the streets of the city of Lviv and the influence of green spaces on the level of noise caused by vehicular traffic.....	53
Svitlana Voloshanska, Viktor Senkiv, Inesa Drozd, Iryna Parashchak	
Meadow phytocoenoses of the Bystrytsia Tysmenytska floodplain under the conditions of secondary succession.....	54
Лучні фітоценози заплави Бистриці Тисменицької в умовах вторинної сукцесії.....	61
Анжеліка Алімівна Силаєва, Олександр Іванович Цибульський, Олександр Євгенович Усов, Ярослав Олександрович Ковган, Микола Васильович Герасименко	
Попередні дані про таксономічний склад безхребетних струмків полонини Руна (Українські Карпати).....	62
Preliminary data of the invertebrates taxonomical composition mountain valley of Runa Streams (Ukrainian Carpathians).....	69

<i>Оксана Миколаївна Лупак, Галина Миколаївна Клепач, Галина Ярославівна Ковальчук, Ірина Євгенівна Копко</i>	
Вплив мікродобрива «Аватар-2 Органік» на морфобіологічні показники та продуктивність рослин <i>Calendula officinalis</i> в умовах Передкарпаття України.....	70
Influence of microfertilizer “Avatar-2 Organic” on morphobiology indicators and productivity of <i>Calendula officinalis</i> plants in the conditions of the Precarpathian area of Ukraine.....	80
<i>Ірина Володимирівна Бриндзя, Наталія Костянтинівна Гойванович, Людмила Романівна Білокур</i>	
Якість питної води населених пунктів Самбірської ТГ.....	81
Quality of drinking water in populated points of Sambirska territorial community.....	88

УДК 504.453:[553.63:546.17] (477.81)
DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2024.2.1>

Андрій Валерійович Лисиця,

доктор біологічних наук, професор кафедри природничих наук
Рівненський державний гуманітарний університет, Україна
orcid.org/0000-0001-9028-8412, Scopus Author ID: 35603968200,
Researcher ID: M-5864-2018, e-mail: lysyca@ukr.net

Дарія Васи́лівна Лико,

доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри природничих наук
Рівненський державний гуманітарний університет, Україна
orcid.org/0000-0003-0184-0549, e-mail: dariia.lyko.2019@gmail.com

Оксана Іванівна Портухай,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, географії та туризму
Рівненський державний гуманітарний університет, Україна
orcid.org/0000-0002-9078-0658, Scopus Author ID: 57393566500,
Researcher ID: JNR-2316-2023, e-mail: portuhayo@gmail.com

Ірина Павлівна Логвиненко,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри природничих наук
Рівненський державний гуманітарний університет, Україна
orcid.org/0000-0002-0950-2934, Scopus Author ID: 57392662200,
Researcher ID: JRW-4849-2023, e-mail: logvunenko.irina@gmail.com

ВМІСТ СПОЛУК НІТРОГЕНУ У ТРАНСКОРДОННИХ РІЧКАХ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Анотація. У статті проаналізовано надходження сполук нітрогену до транскордонних річок Рівненської області (на прикладі р. Стир, Горинь та Льва) внаслідок скидання недостатньо очищених вод водокористувачами. Розглянуто особливості водокористування в області, що передбачає забір, використання та відведення води у басейни основних річок. Так, у 2023 р. з річок Горинь та Стир, що мають найбільшу протяжність в області, було забрано відповідно 42,769 та 66,14 млн м³ і відведено назад 29,165 (з них забруднених зворотних вод 2,850 млн м³) та 22,324 (з них забруднених зворотних вод 2,677 млн м³). Загалом в області після забору та використання водних ресурсів 13,6% зворотного скиду становлять недостатньо очищені та неочищені води, до складу яких входять забруднювальні речовини. 86,4% становлять води нормативно очищені й нормативно чисті без очистки. Виявлено, що з неорганічних сполук нітрогену найбільше в поверхневій воді надходить нітратів, а найменше – нітритів. Упродовж 2021–2023 рр. надходження цих сполук зі скидами зворотних вод зменшилося: амонію з 105,2 до 74,2 т/р, нітритів – з 29 до 23,8 т/р, нітратів – з 1437,1 до 1157,6 т/р. Встановлено в досліджуваних річках перевищення нормативів ГДК для водойм рибогосподарського водокористування за вмістом амонію та нітритів. Так, у р. Льва у період з 2021 по 2023 р. спостерігалось перевищення ГДК вмісту амонію в 1,4–1,7 раза; у р. Стир у 2023 р. виявлено перевищення ГДК нітритів в 1,4 раза, амонію – в 1,2 (2022 р.) та 1,1 раза (2023 р.); у р. Горинь у 2023 р. зафіксовано перевищення амонію в 1,6 раза, нітритів – у 2,4 раза. Розглянуто обсяги скидів у досліджуваній поверхневій воді сполук нітрогену за період 2021–2023 рр. Найбільший обсяг зазначених сполук

скинуто в р. Льва у 2021 р.: амонію – 1,3 т, нітратів – 3,8 т. У 2023 році ці показники відповідно становили 0,5 та 3,8 т. У р. Стир найбільше було скинуто сполук нітрогену у 2023 р.: амонію – 0,2 т та нітратів – 3,6 т. У р. Горинь – у 2021 р.: амонію – 3,3 т, нітрату – 1,5 т, у 2023 р. ці показники становили відповідно 2,0 та 0,3 т. Наведено основні джерела надходження амонію та нітратів, а саме: для басейну р. Стир – ПАТ «Рафалівський кар'єр»; для басейну р. Горинь – Острозьке КП «Водоканал», ПрАТ «Івано-Долинський спецкар'єр»; для басейну р. Льва – ВП «Томашгородський кар'єр» та ВП «Клесівський кар'єр» філії «ЦУП» АТ «Укрзалізниця».

Ключові слова: амоній, нітрити, нітрати, об'єм скидів зворотних вод, водокористувачі, гідроекосистеми.

ВСТУП

Рівненська область налічує 151 озеро, 12 водосховищ, 1546 ставків, її територією протікає 149 річок довжиною понад 10 км, частина яких продовжує свій водотік у Республіку Білорусь. Така розгалужена гідрологічна сітка передбачає особливий контроль якості води річок, які течуть у сусідні країни, а також оцінювання впливу особливостей їхнього використання на погіршення екологічного стану. Рівненщина рівномірно забезпечена поверхневими водами (водними об'єктами), які часто піддаються змінам унаслідок функціонування й розвитку різних галузей економіки (промисловості, сільського, житлово-комунального господарств тощо). Сформований господарський комплекс є водоемний, а скиди неочищених зворотних вод призводять до надмірного антропогенного навантаження та забруднення водних ресурсів. До найбільш поширеного переліку забруднювальних речовин, що містяться у зворотних водах, входять: органічні та завислі речовини, сполуки нітрогену (амоній, нітрити, нітрати), сульфати, хлориди, фосфати, ферум та ін. Відомо, що сполуки нітрогену відіграють важливу роль для всіх гідробіонтів, проте за умови постійного надходження техногенного нітрогену від антропогенних джерел відбуваються зміни його природного балансу. Негативні наслідки підвищених концентрацій сполук нітрогену відчутні для всієї гідроекосистеми. До них можна віднести збільшення концентрації аміаку у водоймі (утворюється внаслідок перетворення амонію) до токсичного рівня, пригнічення швидкості росту водної рослинності, риби, зміни біомаси та чисельності фітопланктону тощо [1–5].

Дослідження екологічного стану поверхневих вод Рівненщини, сезонної динаміки вмісту сполук нітрогену у водних екосистемах, джерел їхнього надходження, проблем порушення рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати, а також збалансованого водокористування висвітлено в працях Бедункової О. О., Буднік З. М., Басараби І. В., Вознюк Н. М., Грюк І. Б., Статника І. І., Суходольської І. Л., Мельник В. Й., Толочик І. Л. та ін. [3, 5–13].

Мета дослідження – проаналізувати особливості надходження сполук нітрогену до транскордонних річок Рівненської області внаслідок скидання недостатньо очищених вод водокористувачами.

Об'єктом дослідження є процес забруднення водокористувачами транскордонних водних об'єктів Рівненської області сполуками нітрогену (на прикладі річок Стир, Горинь та Льва).

Предмет дослідження – показники вмісту сполук нітрогену (амоній, нітрити, нітрати) у кратності ГДК та обсяги їхніх скидів від антропогенних джерел.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для проведення дослідження вмісту сполук нітрогену в поверхневій воді транскордонних водних об'єктів Рівненщини проаналізовано дані Доповіді про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області (2021–2023 рр.) та результати дослідження лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів у Рівненській області [14–16]. У процесі дослідження використано методи системного аналізу, порівняльний та графічний.

Річки Горинь і Стир належать до басейну р. Прип'ять та є її правими притоками першого порядку. Річка Горинь бере початок на висоті 345 м над рівнем моря в Кременецьких горах із джерела, яке розташоване в с. Волиця Тернопільської області. Загальна довжина річки становить 659 км. Її протяжність у Рівненській області – 386 км, далі протікає Республікою Білорусь. Горинь має понад 15 великих приток, з них у межах області: р. Случ, Замчисько, Вілія, Устя, Стубелка (Стубазка) та Бережанка. Спостереження за станом води в річці проводиться Регіональним офісом водних ресурсів у Рівненській області в пункті спостереження с. Висоцьк Сарненського району (прикордонний пункт із Республікою Білорусь) і Рівненським обласним центром з гідрометеорології у пункті смт Оржів [14].

Річка Стир бере початок неподалік джерел Серету та Західного Бугу на території Львівської області. Загальна її довжина становить 494 км. На території України протікає Волинською та Рівненською областями, а далі – Республікою Білорусь. У межах Рівненської області її протяжність – 208 км. Стир має понад 10 великих приток. Щомісячний контроль за станом поверхневих вод проводить Волинський обласний центр з гідрометеорології у пункті спостережень біля с. Маюничі та Регіональний офіс водних ресурсів у Рівненській області у смт Зарічне (прикордонний пункт із Республікою Білорусь) [14].

Річка Льва бере початок в с. Карпилівка Рокитнівського району Рівненської області. Протікає з півдня області на північ і впадає в р. Ствига в Республіці Білорусь. Загальна довжина водотоку – 172 км, з яких у межах Рівненської області – 111 км. Для річки характерне природне забруднення органічними сполуками та залізом загальним, оскільки для території характерні дерново-підзолисті ґрунти, в ілювіальному горизонті яких міститься значна кількість Fe. Спостереження за станом води здійснюється в с. Переброди (прикордонний пункт із Республікою Білорусь) Регіональним офісом водних ресурсів у Рівненській області [16].

РЕЗУЛЬТАТИ

Для функціонування різних галузей економіки в Рівненській області здійснюється активне водокористування, що передбачає забір, використання та відведення води в басейни основних річок. Так, у 2023 р. з річок Горинь і Стир, що мають найбільшу протяжність в області, було забрано відповідно 42,769 та 66,14 млн м³ і відведено назад 29,165 (з них забруднених зворотних вод 2,850 млн м³) та 22,324 (з них забруднених зворотних вод 2,677 млн м³) (рис. 1) [14].

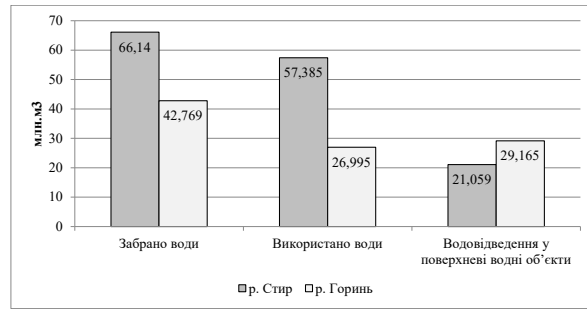


Рис. 1. Забір, використання та відведення води в басейнах річок Горинь і Стир станом на 2023 р., млн м³

Склад зворотних вод формується з води, що має різні категорії очищення: нормативно очищені, нормативно чисті без очистки, недостатньо очищені та неочищені (рис. 2). Більшу частину скиду в поверхневі води Рівненщини – 86,4% – становлять води нормативно очищені та нормативно чисті без очистки, 13,6% – недостатньо очищені та неочищені.

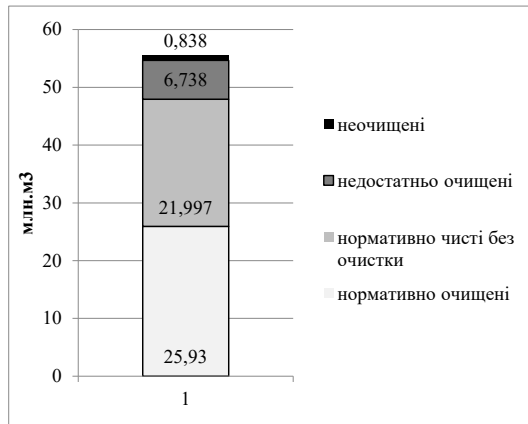


Рис. 2. Розподіл скиду зворотних вод за категоріями очистки у поверхневі водні об'єкти Рівненської області у 2023 р., млн м³

Скидання недостатньо очищених і неочищених зворотних вод стає однією з причин надходження різних видів забруднювальних речовин у поверхневі води Рівненщини, серед яких і неорганічні сполуки нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-). У період з 2021 по 2023 рік відбувається зменшення надходження цих сполук зі скидами зворотних вод: амонію з 105,2 до 74,2 т/р, нітритів – з 29,0 до 23,8, нітратів – з 1437,1 до 1157,6 (табл. 1). Найбільше у поверхневі води надходить нітратів, найменше – нітритів.

Результати спостережень Регіонального офісу водних ресурсів області за період з 2021 по 2023 рік свідчать про наявність підвищеного вмісту амонію у досліджуваних річках, значення якого перевищували нормативи гранично-допустимих концентрацій (ГДК) для водойм рибогосподарського водокористування (ГДКрибгосп (NH_4^+) = 0,5 мг/дм³, ГДКрибгосп. (NO_3^-) = 40 мг/дм³, ГДКрибгосп. (NO_2^-) = 0,08 мг/дм³), табл. 2.

У чисельнику вказані мінімальні та максимальні значення вмісту амонію, що були зафіксовані протягом року, у знаменнику – середньорічний показник, мг/дм³.

У поверхневих водах р. Стир у пункті спостереження смт Зарічне середньорічний показник вмісту амонію змінювався від 0,38 до 0,62 мг/дм³ і у 2022 та 2023 рр. перевищував ГДК відповідно в 1,2 та 1,1 раза (табл. 2). У 2023 р., за даними Волинського обласного центру з гідрометеорології, у пункті біля с. Маюничі спостерігалось перевищення ГДК вмісту нітритів в 1,4 раза.

У р. Горинь максимальний показник вмісту амонію у пункті спостереження с. Висоцьк був у 2022 році, що в 3 рази перевищував ГДК. Загалом середньорічні показники його вмісту в цьому пункті перебували в межах норми (табл. 2). За даними Рівненського обласного центру з гідрометеорології, у пункті спостереження, що біля смт Оржів, нижче скиду з очисних споруд ТзОВ «ОДЕК» у 2023 р. зафіксовано перевищення ГДК вмісту амонію в 1,6 раза, а нітритів – у 2,4 раза.

Протягом досліджуваного періоду в р. Льва в пункті спостереження, що розташований у с. Переброди Сарненського району, середньорічний вміст амонію збільшився від 0,70 до 0,85 мг/дм³ і протягом 3 років перевищував ГДК в 1,4–1,7 раза (табл. 2).

Основний антропогенний вплив на поверхневі водні об'єкти зумовлений діяльністю підприємств-водокористувачів, що скидають зворотні води з високим вмістом забруднювальних речовин. У період з 2021 по 2023 рік у поверхневі води р. Стир найбільший скид зворотних вод здійснив ПАТ «Рафалівський кар'єр» – 1334,2 тис. м³, у якому обсяг амонію становив 0,1 т, нітратів – 3,5 т. Загалом у 2023 році в річку було скинуто 0,2 т амонію та 3,6 т нітратів (табл. 3).

Серед найбільших водокористувачів р. Горинь виокремлюють Острозьке КП «Водоканал» (164,0–176,8 тис. м³), Оржівське ВУЖКГ (81,9–93,0 тис. м³). Варто зауважити, що у 2021 р. було скинуто амонію – 3,3 т, а нітратів – 1,5 т, проте вже у 2023 р. надходження цих показників зменшилося до 2,0 т та 0,3 т.

Таблиця 1

Скиди сполук нітрогену у поверхневі водні об'єкти Рівненської області в період з 2021 по 2023 рік, т/рік [14–16]

Сполуки нітрогену	2021 р.	2022 р.	2023 р.
Амоній	105,2	81,1	74,2
Нітрити	29,0	26,0	23,8
Нітрати	1437,1	1177,4	1157,6

Таблиця 2

Динаміка вмісту амонію у воді транскордонних водних об'єктів Рівненської області за період з 2021 по 2023 рік, мг/дм³

Пункт спостережень	Вміст амонію, ГДК _{рибгосп.} = 0,5 мг/дм ³		
	2021 р.	2022 р.	2023 р.
р. Стир, 48 км, смт Зарічне	$\frac{0,19 - 0,83}{0,38}$	$\frac{0,16 - 1,80}{0,62}$	$\frac{0,14 - 0,92}{0,55}$
р. Горинь, 67 км, с. Висоцьк Сарненського району	$\frac{0,14 - 1,05}{0,46}$	$\frac{0,15 - 1,50}{0,50}$	$\frac{0,16 - 1,01}{0,47}$
р. Льва, 100 км, с. Переброди Сарненського району	$\frac{0,29 - 1,03}{0,70}$	$\frac{0,45 - 1,61}{0,80}$	$\frac{0,54 - 1,47}{0,85}$

Таблиця 3

**Динаміка обсягів сполук нітрогену, що були скинуті водокористувачами
у період з 2021 по 2023 рік на території Рівненської області, т**

Назва водокористувача-забруднювача	2021 рік			2022 рік			2023 рік		
	Об'єм скидання зворотних вод, тис. м3	обсяг, т		Об'єм скидання зворотних вод, тис. м3	обсяг, т		Об'єм скидання зворотних вод, тис. м3	обсяг, т	
		NH4+	NO3 ⁻		NH4+	NO3 ⁻		NH4+	NO3 ⁻
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
р. Стир									
КП «Добробут» смт Зарічне	36,0	-	0,1	36,1	0,1	0,1	36,9	0,1	0,1
ПАТ «Рафалівський кар'єр»	-	-	-	-	-	-	1334,2	0,1	3,5
Усього	36,0		0,1	36,1	0,1	0,1	1371,1	0,2	3,6
р. Горинь									
Оржівське ВУЖКГ	93,0	1,1	0,2	84,6	0,6	0,1	81,9	0,7	0,1
Острозьке КП «Водоканал»	164,0	1,9	-	166,3	1,1	-	176,8	1,3	-
РОВКП ВКГ «РІВНЕОБЛВО ДОКАНАЛ» (с. Олександрія Рівненський район)	12,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-
ДП «Підприємство Державної кримінально-виконавчої служби України (№ 96)», с. Городище Рівненський район	35,0	0,3	0,2	32,4	0,1	0,1	-	-	-
Військова частина А2798	27,0	-	0,1	-	-	-	-	-	-
ТОВ «ОДЕК» України	-	-	-	94,5	0,1	0,3	74,4	-	0,2
ПП санаторій «Горинь»	2,0	-	-	5,2	-	0,1	4,8	-	-
ПрАТ «Івано-Долинський спецкар'єр»	-	-	-	164,9	0,1	0,9	-	-	-
Усього	333,0	3,3	1,5	547,9	2,0	1,5	337,9	2,0	0,3

р. Льва									
ПАТ «Томашгородський щебеневий завод»	179,0	0,4	1,2	2,4	0,1	1,0	3,8	0,1	1,1
ДП КДЗ «ВІТА» ПП «СОРИС»	–	–	–	45,6	–	0,7	–	–	–
ВП «Томашгородський кар'єр» філії «ЦУП» АТ «Укрзалізниця»	754,0	0,1	1,1	–	–	–	679,9	0,1	1,4
ВП «Клесівський кар'єр» філії «ЦУП» АТ «Укрзалізниця»	571,0	0,8	1,5	–	–	–	471,8	0,3	1,3
Усього	1504,0	1,3	3,8	48	0,1	1,7	1155,5	0,5	3,8

Значний антропогенний вплив на р. Льва здійснюють ВП «Томашгородський кар'єр» – об'єм скидання зворотних вод за три роки змінювався в межах 679,9–754,0 тис. м³, та ВП «Клесівський кар'єр», де цей показник перебував у межах 471,8–571,0 тис. м³. Найбільший обсяг сполук нітрогену було скинуто в річку у 2021 р.: амонію – 1,3 т, нітратів – 3,8 т. У 2023 р. ці показники відповідно становили 0,5 та 3,8 т. Отже, надходження амонію зменшилося, нітрати залишилися в такій кількості, як і у 2021 р. (табл. 3) [14–16].

Згідно з наведеними в табл. 3 даними впродовж 2021–2023 рр. найбільше антропогенне навантаження на басейни досліджуваних річок здійснювали такі водокористувачі: ПАТ «Рафалівський кар'єр», Острозьке КП «Водоканал», ПрАТ «Івано-Долинський спецкар'єр», виробничі підприємства (ВП) «Томашгородський кар'єр» та «Клесівський кар'єр» філії «ЦУП» АТ «Укрзалізниця».

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу вмісту сполук нітрогену в поверхневій воді транскордонних водних об'єктів Рівненщини встановлено:

1. Після забору та використання водних ресурсів 13,6% зворотного скиду становлять недостатньо очищені та неочищені води, до складу яких входять забруднювальні речовини різного складу та концентрації.

2. З неорганічних сполук нітрогену найбільше в поверхневій воді надходить нітратів, а найменше – нітритів. Упродовж 2021–2023 рр. зменшилося надходження цих сполук зі скидами зворотних вод: амонію з 105,2 до 74,2 т/р, нітритів – з 29 до 23,8 т/р, нітратів – з 1437,1 до 1157,6 т/р.

3. У досліджуваних річках зафіксовані перевищення нормативів ГДК для водойм рибогосподарського водокористування за вмістом амонію та нітритів. Так, у р. Льва у період з 2021 по 2023 рік спостерігалось перевищення ГДК вмісту амонію в 1,4–1,7 раза; у р. Стир у 2023 р. виявлено перевищення ГДК вмісту нітритів в 1,4 раза, амонію – в 1,2 (2022 р.) та 1,1 раза (2023 р.); у р. Горинь у 2023 р. зафіксовано перевищення вмісту амонію в 1,6 раза, нітритів – у 2,4 раза.

4. За досліджений період спостерігалися різні обсяги скидів у досліджувані поверхневі води сполук нітрогену. Найбільший обсяг зазначених сполук скинуто в річку Льва у 2021 р.: амонію – 1,3 т, нітратів – 3,8 т. У 2023 році ці показники відповідно становили 0,5 та 3,8 т. У р. Стир найбільше було скинуто у 2023 р.: амонію – 0,2 т та нітратів – 3,6 т. У р. Горинь – у 2021 році: амонію – 3,3 т, нітрату – 1,5 т, у 2023 р. ці показники становили відповідно 2,0 та 0,3 т.

5. Основними джерелами надходження амонію та нітратів є підприємства, а саме: для басейну р. Стир – ПАТ «Рафалівський кар'єр»; для басейну р. Горинь – Острозьке КП «Водоканал», ПрАТ «Івано-Долинський спецкар'єр»; для басейну р. Льва – ВП «Томашгородський кар'єр» та ВП «Клесівський кар'єр» філії «ЦУП» АТ «Укрзалізниця».

Таким чином, поверхневі води трансдонних водних об'єктів Рівненщини зазнають постійного антропогенного навантаження, що призводить до їхнього забруднення сполуками нітрогену. Тому потрібно запроваджувати водоощадливі технології, здійснювати управління водокористуванням із наданням пріоритету збереженню водних ресурсів для підтримання екологічного стану поверхневих вод тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Суходольська І. Л., Басараба І. В. Основні джерела надходження сполук Нітрогену до водних екосистем. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». Київ, 2022. Вип. № 43. С. 65–69. URL: <http://eoj.dea.kiev.ua/archives/2022/4/10.pdf>.
2. Суходольська І. Л., Грюк І. Б., Грубінко В. В. Сезонна динаміка вмісту сполук нітрогену у водних екосистемах малих річок Рівненщини. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка*. 2014. 1 (58). С. 61–71. ISSN 2078-2357.
3. Суходольська І. Л., Грубінко В. В. Механізми підтримання гомеостазу Нітрогену та його вторинне використання у гідроекосистемах: монографія. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2019. 192 с.
4. Лавринюк З., Гулай Л., Юрченко О., Караїм О. Оцінка якості поверхневих вод за сполуками нітрогену та особливості антропогенного впливу в аспекті управління водними ресурсами річки Бистряк. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 4. С. 39–45. DOI: 10.32782/pcsd-2021-4-6.
5. Sukhodol'skaya I.L., Manturova O.V., Griuk I.B. Phytoplankton of Small Rivers of the Rivne Region (Ukraine) and relation of its quantitative parameters with nutrients content. *Hydrobiological Journal*. 2015. 51 (5). P. 50–61.
6. Бедункова О. О. Диференційована оцінка якості поверхневих вод річок. Рівненської області. *Екологічні науки*. Київ, 2016. № 14–15. С. 25–40.
7. Бедункова О. О. Оцінка сучасного екологічного стану поверхневих вод річки Случ за басейновим принципом. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2013. № 4. С. 74–82.
8. Бедункова О. О., Статник І. І., Вознюк Н. М. Аналіз навантаження біогенами водної екосистеми річки Горинь. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2021. Вип. 4 (96). С. 3–13. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs420211>.
9. Бедункова О. О., Буднік З. М. Оцінка екологічної шкоди та екологічного ризику гідрохімічних показників річки Іква. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2012. № 4 (60). С. 21–28.

10. Грюк І. Б., Суходольська І. Л. Вміст сполук Нітрогену у воді малих річок як показник рівня антропогенного навантаження територій. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2012. Вип. 60. С. 227–238.
11. Вознюк Н. М., Бебко З. З. Закономірності формування гідрохімічного режиму поверхневих вод р. Горинь. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. Київ, 2015. № 12–13. С. 19–26.
12. Мельник В. Й. Екологічна оцінка сучасного стану якості річкових вод Рівненської області. *Укр. геогр. журн.* 2000. № 4. С. 44–52.
13. Мельник В. Й., Толочик І. Л. Моніторинг продуктивності річок України (на прикладі р. Стир) : монографія. Рівне : О. Зень, 2023. 187 с.
14. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2023 році. Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. Рівне, 2024. 230 с.
15. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2022 році. Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. Рівне: 2023. 233 с.
16. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2021 році. Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. Рівне, 2022. 230 с.

REFERENCES

1. Sukhodolska, I.L. & Basaraba, I.V. (2022). Osnovni dzherela nadkhodzhennia spolk Nitrohenu do vodnykh ekosystem [Main sources of the Nitrogen compounds restocking to water ecosystems]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Ekolohichni nauky»*. Kyiv, Vol. 43. 65–69. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/4/10.pdf> [in Ukrainian].
2. Sukhodolska, I.L. Hriuk, I.B. & Hrubinko, V.V. (2014). Sezonna dynamika vmistu spolk nitrohenu u vodnykh ekosystema malykh richok Rivnenshchyny [Dynamics of connections of nitrogen content in surface water of Rivne region]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. V. Hnatiuka*. 1 (58), 61–71. ISSN 2078-2357 [in Ukrainian].
3. Sukhodolska, I.L. & Hrubinko, V.V. (2019). Mekhanizmy pidtrymannia homeostazu Nitrohenu ta yoho vtorynne vykorystannia u hidroekosystemakh [Mechanisms of maintaining Nitrogen homeostasis and its secondary use in hydroecosystems]: monohrafiia. Kyiv: Vydavnychiy dim «Kondor», 192 p. [in Ukrainian].
4. Lavrynyuk, Z., Karaim, O., Gulay, L. & Yurchenko, O. (2021). Otsinka yakosti poverkhnevyykh vod za spolukamy nitrohenu ta osoblyvosti antropohennoho vplyvu v aspekti upravlinnia vodnymy resursamy richky Bystriak [Assessment of the surface water quality by nitrogen compounds and features of the anthropogenic impact in aspect of the water resources management of the Bystryak river]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*. 4, 39–45. DOI: 10.32782/pcsd-2021-4-6 [in Ukrainian].
5. Sukhodol'skaya, I.L., Manturova, O.V. & Griuk, I.B. (2015). Phytoplankton of Small Rivers of the Rivne Region (Ukraine) and relation of its quantitative parameters with nutrients content. *Hydrobiological Journal*. 51 (5), 50–61.
6. Biedunkova, O.O. (2016). Dyferentsiiovana otsinka yakosti poverkhnevyykh vod richok Rivnenskoï oblasti [Differentiated evaluation of the quality of surface water Rovne region rivers]. *Ekolohichni nauky*. Kyiv, № 14-15. 25–40 [in Ukrainian].
7. Biedunkova, O.O. (2013). Otsinka suchasnoho ekolohichnoho stanu poverkhnevyykh vod richky Sluch za basinovym pryntsyptom [Ecological Assessment of modern state of river

- Sluch surface water in basin principle]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho Seriiia «Silskohospodarski nauky»*. 4, 74–82 [in Ukrainian].
8. Biedunkova, O.O., Statnyk, I.I. & Vozniuk, N.M. (2021). Analiz navantazhennia biohenamy vodnoi ekosystemy richky Horyn [Analysis of pressures from biogenic aquatic ecosystem of the Horyn River]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriiia «Silskohospodarski nauky»*. 4 (96), 3–13. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs420211> [in Ukrainian].
 9. Biedunkova, O.O. & Budnik, Z.M. (2012). Otsinka ekolohichnoi shkody ta ekolohichnoho ryzyku hidrokhimichnykh pokaznykiv richky Ikva [Assessment of ecological damage and ecological risk of hydrochemical indicators of the Ikva River]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriiia «Silskohospodarski nauky»*, 4 (60), 21–28 [in Ukrainian].
 10. Hriuk, I.B., & Sukhodolska, I.L. (2012). Vmist spoluk Nitrohenu u vodi malykh richok yak pokaznyk rivnia antropohennoho navantazhennia terytorii [Contents of nitrogen compounds in the water of small rivers as an indicator of anthropogenic capacity of the areas]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia biolohichna*, 60, 227–238 [in Ukrainian].
 11. Vozniuk, N.M. & Bebko, Z.Z. (2015). Zakonomirnosti formuvannia hidrokhimichnoho rezhymu poverkhnevyykh vod r. Horyn [Patterns of formation hydrochemical regime of surface water river Gorin]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Ekolohichni nauky»*. Kyiv, 12 (13), 19–26 [in Ukrainian].
 12. Melnyk, V.I. (2000). Ekolohichna otsinka suchasnoho stanu yakosti richkovyykh vod Rivnenskoï oblasti [Ecological assessment of the current state of river water quality in the Rivne region]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*, 4, 44–52 [in Ukrainian].
 13. Melnyk, V.I. & Toloehyk, I.L. (2023). Monitorynh produktyvnosti richok Ukrainy (na prykladi r. Styr) [Monitoring of the productivity of Ukrainian rivers (on the example of the Styr River)]: monohrafiia. Rivne: O. Zen. 187 p. [in Ukrainian].
 14. Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Rivnenskoï oblasti u 2023 rotsi [Report on the state of the environment in Rivne region in 2023]. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv Rivnenskoï oblderzhadministratsii. Rivne, 2024. 230 p. https://www.ecorivne.gov.ua/tmp/dopovid_2023.pdf [in Ukrainian].
 15. Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Rivnenskoï oblasti u 2022 rotsi [Report on the state of the environment in Rivne region in 2022]. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv Rivnenskoï oblderzhadministratsii. Rivne, 2023. 233 p. https://www.ecorivne.gov.ua/tmp/dopovid_2022.pdf [in Ukrainian].
 16. Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Rivnenskoï oblasti u 2021 rotsi [Report on the state of the environment in Rivne region in 2021]. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv Rivnenskoï oblderzhadministratsii. Rivne, 2022. 230 p. https://www.ecorivne.gov.ua/tmp/dopovid_2023.pdf [in Ukrainian].

ABSTRACT

THE CONTENTS OF NITROGEN COMPOUNDS IN THE TRANSCORDON RIVERS OF THE RIVNE REGION

We analyzed the levels of nitrogen compounds entering the cross-border rivers of the Rivne region (on the example of the Styr, Horyn and Lva rivers). The main reason is the discharge of insufficiently purified water by water users. The peculiarities of water use in the region were considered, it includes the intake, use and drainage of water in the basins of the main rivers. Thus, in 2023, 42.769 and 66.14 million m³ were withdrawn from the Horyn and Styr rivers, which have the longest length in the region, respectively, and 29.165 (of which 2.850 million m³

of polluted return water) and 22.324 (of which 2.677 million m³ of polluted return water) were diverted back. In general, in the oblast after the extraction and use of water resources, 13.6% of the return discharge is insufficiently purified and untreated water, which includes pollutants. 86.4% of water is normatively purified and normatively clean without purification. It was found that of the inorganic compounds of nitrogen, nitrates enter surface waters the most, and nitrites enter the least. During 2021–2023, the supply of these compounds with return water discharges decreased: ammonium from 1052 to 742 tons/year, nitrites from 29 to 23.8 tons/year, nitrates from 1437.1 to 1157.6 tons/year. Exceeding the standards of maximum permissible concentrations (MPC) for ponds for fish farming water use by the content of ammonium and nitrites was established in the investigated rivers. Thus, in the Lva River in the period from 2021 to 2023, there was in 1.4–1.7 times exceedance of the maximum permissible limit for ammonium; in the Styr River in 2023 was found a 1.4-fold exceedance of the MPC for nitrites, ammonium in 1.2 (in 2022) and in 1.1 times (in 2021); in the 2023 year, an excess of ammonium by 1.6 times and nitrite by 2.4 times was recorded in the Horyn River. The volumes of discharges of nitrogen compounds into the studied surface waters for the period from 2021 to 2023 were considered. The largest volume of these compounds was discharged into the Lva River in 2021: 1.3 tons of ammonium, 3.8 tons of nitrates. In 2023, these indicators were 0.5 and 3.8 tons, respectively. The most was discharged into the Styr River in 2023: 0.2 tons of ammonium and 3.6 tons of nitrates in 2021, 3.3 tons of ammonium and 1.5 tons of nitrate entered the Horyn River, and in 2023, these figures were 2.0 and 0.3 tons, respectively. We identified the main sources of ammonium and nitrates, namely: for the Styr river basin, it is PJSC “Rafalivskyi karier”; for the Horyn river basin, it is the Ostroh communal enterprise “Vodokanal”, PJSC “Ivano-Dolinsky special quarry”; for the basin of the Lva River, it is the Tomashgorod quarry and the Klesiv quarry the branches of TsUP JSC “Ukrzaliznytsia”.

Key words: ammonium, nitrites, nitrates, return water discharge volume, water users, hydroecosystems.

Діана Богданівна Передерій,

аспірантка

Інститут біології тварин Національної академії аграрних наук України,

лабораторія обміну речовин, Україна

orcid.org/0000-0002-9759-3513, e-mail: peredina0310@gmail.com

КОМПЛЕКСНА ДІЯ БЕТАЇНУ, ТАУРИНУ ТА МІО-ІНОЗИТОЛУ НА БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ КРОВІ КУРЕЙ-НЕСУЧОК ЗА ТЕПЛООВОГО СТРЕСУ

Анотація. В умовах сучасного птахівництва тепловий стрес є одним із головних факторів, що негативно впливають на продуктивність курей-несучок. Підвищені температури призводять до змін у метаболічних процесах, що проявляється через порушення біохімічних показників крові, зокрема активності ензимів, рівнів протеїнів, ліпідів і метаболітів. Для зниження негативного впливу теплового стресу на організм птахів перспективними є кормові добавки з антистресовими властивостями, як-от бетаїн, таурин і міо-інозитол. Отже, метою дослідження було оцінити вплив добавок бетаїну, таурину та міо-інозитолу на біохімічні показники крові курей-несучок, що піддаються тепловому стресу, і встановити шляхи попередження його негативної дії. У дослідженні було використано 15 курей-несучок, розділених на 2 групи: 1-ша група – контрольна (К, n = 7), 2-га група – дослідна (Д, n = 8), кури якої отримували бетаїн у кількості 0,5 г/кг корму, таурин у кількості 5 г/кг корму та 2 г/кг від сухої речовини корму міо-інозитолу. Дослідження передбачало два етапи: на першому, який тривав сім днів, курей утримували за температури 20 °С, яку приймали за термонеїтральні умови, а на другому – температуру повітря у віварії підвищували до 30 °С на 6 годин кожного дня протягом тижня. Після кожного етапу відбирали зразки крові птахів для подальших досліджень. У результаті встановлено, що ці добавки сприяють підтримці біохімічної стабільності в умовах теплового стресу, зокрема стабілізації протеїнового і ліпідного обміну, а також знижують загальне метаболічне навантаження на організм. Одержані результати свідчать про доцільність використання бетаїну, таурину та міо-інозитолу для профілактики стресових порушень у курей-несучок у виробничих умовах.

Ключові слова: тепловий стрес, кури-несучки, бетаїн, таурин, міо-інозитол, біохімічні показники крові, метаболічні процеси, ензиматична активність, протеїни, ліпідний обмін.

ВСТУП

У сучасному птахівництві виробники все частіше стикаються з проблемами, пов'язаними зі зростанням температури навколишнього середовища. Тепловий стрес (ТС), спричинений підвищеними температурами, є одним із найважливіших факторів, що негативно впливають на фізіологічний стан і продуктивність сільськогосподарських тварин, зокрема курей-несучок [1, 2]. Комфортною для курей вважається температура повітря 19–22 °С, причому за температури 21–22 °С відносна вологість не повинна перевищувати 70%. Небезпечною температурою, яка викликає ТС за 70% вологості вважається 29 °С і вище [3]. Унаслідок ТС у птахів порушуються метаболічні процеси в організмі, що проявляється змінами біохімічних показників крові, особливо на рівні ензимів, протеїнів, ліпідів і метаболітів [4]. У таких умовах особливо актуальним є пошук ефективних рішень для зниження негативного впливу ТС, зокрема через

використання кормових добавок. Для боротьби з негативними наслідками ТС у кормах для курей-несучок використовують різні добавки, що мають антистресовий і захисний ефект [5]. До таких належать бетаїн, таурин та міо-інозитол. Бетаїн є донором метильних груп, що полегшує перебіг метаболічних процесів і сприяє покращенню водного обміну в клітинах [6]. Таурин, як амінокислота з антиоксидантними властивостями, допомагає організму нейтралізувати вільні радикали, що утворюються в разі ТС, а міо-інозитол виконує функцію стабілізатора клітинних мембран, підвищуючи їх стійкість до оксидативного навантаження [7, 8]. Зокрема, відомо, що ці добавки позитивно впливають на біохімічні показники крові птахів за умов ТС, стабілізуючи обмін їх речовин [6–8]. Тож метою нашого дослідження було оцінити вплив добавок бетаїну, таурину та міо-інозитулу на біохімічні показники крові курей-несучок, що піддаються ТС, і встановити шляхи попередження його негативної дії.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У дослідженні було використано 15 курей-несучок, розділених на 2 групи: 1-ша група – контрольна (К, n = 7), 2-га група – дослідна (Д, n = 8), кури якої отримували бетаїн у кількості 0,5 г/кг корму, таурин у кількості 5 г/кг корму та 2 г/кг від сухої речовини корму міо-інозитулу. Дослідження провели в умовах віварію Інституту біології тварин НААН, де птиця перебувала в металевих клітках зі встановленими автоматичними поїлками та годівницями. Протягом усього дослідження птахи отримували повнораціонний комбікорм, який відповідав усім вимогам щодо вмісту поживних речовин, вітамінів та мікроелементів, а також мали вільний доступ до чистої води. У приміщенні регулювали та контролювали температуру, вологість і освітлення згідно з вимогами. Дослідження передбачало два етапи: на першому, який тривав сім днів, курей утримували за температури 20 °С, яку приймали за термонеїтральні умови (ТН). На 7-му добу проводили відбір зразків крові для подальших біохімічних досліджень. Починаючи з восьмої доби експериментального періоду температуру повітря у віварії підвищували до 30 °С на 6 годин кожного дня. На 14-ту добу досліджень знову проводили відбір біологічного матеріалу після попередньої декапітації птахів.

Усі процедури з тваринами виконували відповідно до положень Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментів та інших наукових цілей (Страсбург, 2005), Директиви Ради Європи № 2010/63/ЄС та Закону України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» зі змінами 440-IX від 14.01.2020, згідно з протоколом № 115 від 28.09.2022 року засідання комісії з біоетики наукових досліджень Інституту біології тварин НААН.

У крові досліджували вміст загального протеїну, альбуміну, загального холестеролу, триацилгліцеролів, сечовини, креатиніну, активність лужної фосфатази, аланін- та аспаргатамінотрансфераз – на біохімічному аналізаторі Humalyzer 2000 (Німеччина).

Статистичний аналіз проведено, як описано в [9]. Дані виражені як середнє \pm стандартне відхилення. Усі дані аналізували за допомогою статистичного програмного забезпечення Statistica10. Статистичну значущість визначали за допомогою одностороннього дисперсійного аналізу (ANOVA). Т-критерій Стьюдента використовувався для вивчення відмінностей між 2 групами. Різницю вважали статистично значущою, якщо $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

В умовах ТС для курей-несучок критичною є стабільність біохімічних показників крові, які відображають фізіологічний стан і рівень оксидативного стресу. Встановлено, що за впливу високих температур активність АЛТ у сироватці крові курей знижується як у контрольній, так і в дослідній групі, на 50% і 56% відповідно ($p < 0,05$ та $p < 0,001$) порівняно з нормальними умовами (табл. 1). Активність АЛТ у крові є важливим показником стану печінки, і її зниження під впливом ТС свідчить про певне пригнічення обмінних процесів у печінці [10]. Додавання добавок (бетаїну, таурину та міо-інозитулу) достовірно значущих змін активності АЛТ не викликало, що може бути пов'язано із захисною дією добавок, що сприяють збереженню цілісності печінкових клітин і зменшують рівень оксидативного пошкодження тканин, незважаючи на стресові умови [6, 7].

Таблиця 1
Активність ензимів у сироватці крові курей-несучок в умовах теплового стресу за дії бетаїну, таурину та міо-інозитулу ($M \pm m$)

Показники	Умови	К	Д
АЛТ, одл	ТН	11,17±2,11	15,3±3,82
	ТС	5,4±0,73*	6,52±1,07***
АСТ, одл	ТН	269±17	316±39#
	ТС	275±11	240±8##
Лужна фосфатаза, од/л	ТН	2594±140	745±112###
	ТС	858±36***	1168±143*##

Примітка: тут і далі * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ – статистично достовірна різниця даних за теплового стресу (ТС) до даних у термонейтральній зоні (ТН); # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$ – статистично достовірна різниця даних дослідної групи (Д) до даних контрольної групи (К).

Аналіз активності АСТ у крові курей-несучок показав, що за ТС статистично достовірних змін цього ензиму не спостерігалось щодо ТН умов. Введення добавок у дослідній групі за ТН умовах вплинуло на зростання активності АСТ на 15% ($p < 0,05$), а за ТС – на зниження на 13% ($p < 0,01$) порівняно з контрольними показниками (табл. 1). Це вказує на те, що добавки мають певний стимулюючий вплив на функціонування печінки за нормальних умов [10].

Активність лужної фосфатази, яка є маркером метаболічної активності, також зазнала значних змін у сироватці крові курей. У контрольній групі її активність знизилась у 3 рази ($p < 0,001$) за ТС, а в дослідній, навпаки, зросла в 1,6 рази ($p < 0,05$) порівняно з ТН (табл. 1). Лужна фосфатаза є показником обміну фосфору та кальцію, і зниження її активності у контрольній групі за ТС може вказувати на порушення мінерального обміну [11]. Із введенням добавок у раціон харчування птахів за ТН умов у їх організмі активність лужної фосфатази знижується у 3,5 рази ($p < 0,01$), а за умов ТС – зростає в 1,4 рази порівняно з контролем, що може бути обумовлено стабілізуючим впливом добавок на структуру та функції клітин у стресових умовах.

Під час дослідження рівня загального протеїну було встановлено, що його концентрація в обох групах за ТС знижувалася на 16% ($p < 0,05$) у контрольній групі та на 21% ($p < 0,01$) – у дослідній. При цьому альбумін зменшувався на 23%

($p < 0,05$) в дослідній групі порівняно з ТН (табл. 2). Зниження цих показників вказує на підвищене використання протеїнів організмом для підтримки енергії та структурних функцій в умовах стресу та, як наслідок, виснаження цих ресурсів [12]. Із додатковим введенням у корм птахів добавок не прослідковувалось статистично достовірних змін їх вмісту в сироватці крові курей.

Таблиця 2

Вміст протеїнів у сироватці крові курей-несучок в умовах теплового стресу за дії бетаїну, таурину та міо-інозитулу ($M \pm m$)

Показники	Умови	К	Д
Загальний протеїн, г/л	ТН	55,23±5,41	54,07±2,26
	ТС	46,6±2,6*	42,94±2,5**
Альбумін, г/л	ТН	23±2,75	26,7±2,26
	ТС	22,13±0,86	20,6±1,99*

Зміни в ліпідному обміні, як представлено в таблиці 3, зокрема вміст триацилгліцеролів, показали їхнє зростання на 17% ($p < 0,01$) у контрольній групі та зниження на 18% ($p < 0,01$) – у дослідній за ТС порівняно з ТН. Підвищення рівня ліпідів у крові під впливом ТС Rashidi та ін. [13] пояснили тим, що висока температура знижує споживання корму і бройлери компенсують свою потребу в енергії шляхом ліполізу ліпідів організму, що спричиняє підвищення рівня тригліцеролів у крові. Введення добавок вплинуло на зниження рівня цих ліпідів як за нормальних (на 7%, $p < 0,01$), так і за стресових (на 37%, $p < 0,001$) умов, що може вказувати на регулюючу роль добавок у ліпідному обміні.

Таблиця 3

Ліпідний обмін у сироватці крові курей-несучок в умовах теплового стресу за дії бетаїну, таурину та міо-інозитулу ($M \pm m$)

Показники	Умови	К	Д
Триацилгліцероли, ммоль/л	ТН	6,96 ± 0,23	6,49 ± 0,38##
	ТС	8,41 ± 0,18**	5,31 ± 0,03**###
Загальний холестерол, ммоль/л	ТН	3,5 ± 0,14	2,88 ± 0,13##
	ТС	2,19 ± 0,09**	3,63 ± 0,25**###

Рівень загального холестеролу у крові курей також зазнав змін: у контрольній групі за ТС він знизився на 37% ($p < 0,01$), тоді як у дослідній групі збільшився на 31% ($p < 0,01$) порівняно з ТН. Зниження рівня холестеролу в стресових умовах може вказувати на підвищену потребу організму у стероїдних гормонах під час стресу [14]. Вміст холестеролу в тій групі, яким у корм вводили добавки (група Д), знижувався у сироватці крові курей за ТН умов на 18% ($p < 0,01$), а за умов ТС – підвищувався 40% ($p < 0,01$) порівняно з контрольними показниками, що може свідчити про позитивний ефект добавок на відновлення його рівня.

Щодо метаболітів (табл. 4), то рівень сечовини в обох групах знижувався за ТС в 1,8 та 2,3 раза ($p < 0,001$) відповідно, що вказує на можливе порушення протеїнового метаболізму за умов ТС [14]. Введення добавок сприяло підвищенню рівня цього метаболіту в дослідній групі за ТН умов (в 1,2 раза, $p < 0,01$), що може бути ознакою стабілізуючого ефекту на азотистий обмін.

Вміст метаболітів у сироватці крові курей-несучок в умовах теплового стресу за дії бетаїну, таурину та міо-інозитулу ($M \pm m$, $n = 4$)

Показники	Умови	Контроль	Дослід
Сечовина, ммоль/л	ТН	3,2 ± 0,2	3,97 ± 0,2##
	ТС	1,75 ± 0,24***	1,7 ± 0,08***
Креатинін, мкмоль/л	ТН	53,3 ± 2,9	54,43 ± 3,39
	ТС	58,6 ± 6,36	70,6 ± 5,42**#

Креатинін за умов ТС у плазмі крові дослідної групи зростав на 23% ($p < 0,01$) порівняно з нормальними умовами і на 12% ($p < 0,05$) порівняно з контролем (табл. 4). Креатинін є кінцевим продуктом метаболізму протеїнів, що утворюється у м'язах унаслідок розпаду креатину, а згодом виводиться з організму через нирки. Рівень креатиніну в крові слугує показником функціонування нирок, оскільки його концентрація залежить від швидкості фільтрації через нирки [15], тому підвищення його рівня в крові може вказувати на порушення функціонування цих органів курей.

ВИСНОВКИ

Отже, результати дослідження показали, що введення добавок (бетаїну, таурину та міо-інозитулу) в раціон курей-несучок може позитивно впливати на біохімічні показники їхнього організму, зменшуючи негативні наслідки теплового стресу на обмінні процеси, що підтверджує їхній потенціал як захисних добавок за теплового стресу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bohler M.W., Chowdhury V.S., Cline M.A., Gilbert E.R. Heat stress responses in birds: A Review of the neural components. *Biology (Basel)*. 2021. 10 (11). 1095. DOI: 10.3390/biology10111095.
2. Kim D.H., Lee Y.K., Kim S.H., Lee K.W. The impact of temperature and humidity on the performance and physiology of laying hens. *Animals (Basel)*. 2021. 11 (1). 56. DOI: 10.3390/ani11010056.
3. Xin H., Harmon J.D.. Temperature and humidity stress index for laying hens. *Livestock industry facilities and environment: Heat stress indices for livestock. Agriculture and Environment Extension Publications*. Book 163, Iowa State University. 1998.
4. Kim D.H., Lee Y.K., Lee S.D., Kim S.H., Lee S.R., Lee H.G., Lee K.W. Changes in production parameters, egg qualities, fecal volatile fatty acids, nutrient digestibility, and plasma parameters in laying hens exposed to ambient temperature. *Front Vet Sci*. 2020. 7. 412. DOI: 10.3389/fvets.2020.00412. eCollection 2020.
5. Perederiy D.B. The influence of heat stress on the antioxidant protection glutathione link and the content of lipid peroxidation products in chicken liver. *Biol Tvarin*. 2023. 25 (4). 51–57. DOI: 10.15407/animbio125.04.051.
6. Li C., Wang Y., Li L., Han Z., Mao S., Wang G. Betaine protects against heat exposure-induced oxidative stress and apoptosis in bovine mammary epithelial cells via regulation of ROS production. *Cell Stress & Chaperones*. 2019. 24 (2), 453–460. DOI: 10.1007/s12192-019-00982-4
7. Baliou S., Adamaki M., Ioannou P., Pappa A., Panayiotidis M.I., Spandidos D.A., Christodoulou I., Kyriakopoulos A.M., Zoumpourlis V. Protective role of taurine against oxidative stress. *Mol Med Rep*. 2021. 24 (2). 605. DOI: 10.3892/mmr.2021.12242.

8. Gonzalez-Uarquin F., Rodehutschord M., Huber K. Myo-inositol: its metabolism and potential implications for poultry nutrition-a review. *Poult Sci.* 2020. 99 (2). 893–905. DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.014.
9. Petrovska I.R., Salyha Y.T., Vudmaska I.V. Statistical methods in biological research: educational and methodological manual. *Agrarian Science.* Kyiv. 2022. 172.
10. Oh R.C., Husted T.R., Ali S.M., Pantsari M.W. Mildly Elevated Liver Transaminase Levels: Causes and Evaluation. *Am Fam Physician.* 2017. 96 (11). 709–715.
11. Iluz-Freundlich D., Zhang M., Uhanova J., Minuk G.Y. The relative expression of hepatocellular and cholestatic liver enzymes in adult patients with liver disease. *Ann Hepatol.* 2020. 19 (2). 204–208. DOI: 10.1016/j.aohep.2019.08.004.
12. Tóthová C., Sesztáková E., Bielik B., Nagy O. Changes of total protein and protein fractions in broiler chickens during the fattening period. *Vet World.* 2019. 12 (4). 598–604. DOI: 10.14202/vetworld.2019.598-604.
13. Rashidi A.A., Gofrani Iv. Y., Khatibjoo A., Vakili R. Effects of dietary fat, vitamin E and zinc on immune response and blood parameters of broiler reared under heat stress. *Res J Poult Sci.* 2010. 3(2). 32–38. DOI: 10.3923/rjpscience.2010.32.38.
14. Hassan S., Habashy W., Ghoname M., Elnaggar A. Blood hematology and biochemical of four laying hen strains exposed to acute heat stress. *Int J Biometeorol.* 2023 Apr. 67 (4). 675–686. DOI: 10.1007/s00484-023-02445-z.
15. Yuzviak M. Influence of Zinc, Selenium and Germanium citrates nanoparticles on hematological and biochemical parameters of rabbits under moderate heat stress. *Biol Tvarin.* 2024. 26 (2). 47–55. DOI: 10.15407/animbiol26.02.047.

REFERENCES

1. Bohler, M.W., Chowdhury, V.S., Cline, M.A., & Gilbert, E.R. (2021). Heat stress responses in birds: A review of the neural components. *Biology (Basel)*, 10 (11), 1095. DOI: 10.3390/biology10111095.
2. Kim, D.H., Lee, Y.K., Kim, S.H., & Lee, K.W. (2021). The impact of temperature and humidity on the performance and physiology of laying hens. *Animals (Basel)*, 11 (1), 56. DOI: 10.3390/ani11010056.
3. Xin, H., & Harmon, J.D. (1998). Temperature and humidity stress index for laying hens. *Livestock Industry Facilities and Environment: Heat Stress Indices for Livestock.* Agriculture and Environment Extension Publications. Book 163, Iowa State University.
4. Kim, D.H., Lee, Y.K., Lee, S.D., Kim, S.H., Lee, S.R., Lee, H.G., & Lee, K.W. (2020). Changes in production parameters, egg qualities, fecal volatile fatty acids, nutrient digestibility, and plasma parameters in laying hens exposed to ambient temperature. *Front Vet Sci*, 7, 412. DOI: 10.3389/fvets.2020.00412. eCollection 2020.
5. Perederiy, D.B. (2023). The influence of heat stress on the antioxidant protection glutathione link and the content of lipid peroxidation products in chicken liver. *Biol Tvarin*, 25 (4), 51–57. DOI: 10.15407/animbiol25.04.051.
6. Li, C., Wang, Y., Li, L., Han, Z., Mao, S., & Wang, G. (2019). Betaine protects against heat exposure-induced oxidative stress and apoptosis in bovine mammary epithelial cells via regulation of ROS production. *Cell Stress & Chaperones*, 24 (2), 453–460. DOI: 10.1007/s12192-019-00982-4.
7. Baliou, S., Adamaki, M., Ioannou, P., Pappa, A., Panayiotidis, M.I., Spandidos, D.A., Christodoulou, I., Kyriakopoulos, A.M., & Zoumpourlis, V. (2021). Protective role of taurine against oxidative stress. *Mol Med Rep*, 24 (2), 605. DOI: 10.3892/mmr.2021.12242.
8. Gonzalez-Uarquin, F., Rodehutschord, M., & Huber, K. (2020). Myo-inositol: Its metabolism and potential implications for poultry nutrition – a review. *Poult Sci*, 99 (2), 893–905. DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.014.

9. Petrovska, I.R., Salyha, Y.T., & Vudmaska, I.V. (2022). Statistical methods in biological research: Educational and methodological manual. *Agrarian Science*, Kyiv, 172 [in Ukrainian].
10. Oh, R.C., Husted, T.R., Ali, S.M., & Pantsari, M.W. (2017). Mildly elevated liver transaminase levels: Causes and evaluation. *Am Fam Physician*, 96 (11), 709–715.
11. Iluz-Freundlich, D., Zhang, M., Uhanova, J., & Minuk, G.Y. (2020). The relative expression of hepatocellular and cholestatic liver enzymes in adult patients with liver disease. *Ann Hepatol*, 19 (2), 204–208. DOI: 10.1016/j.aohep.2019.08.004.
12. Tóthová, C., Sesztáková, E., Bielik, B., & Nagy, O. (2019). Changes of total protein and protein fractions in broiler chickens during the fattening period. *Vet World*, 12 (4), 598–604. DOI: 10.14202/vetworld.2019.598-604.
13. Rashidi, A.A., Gofrani, I.V., Khatibjoo, A., & Vakili, R. (2010). Effects of dietary fat, vitamin E, and zinc on immune response and blood parameters of broiler reared under heat stress. *Res J Poult Sci*, 3 (2), 32–38. DOI: 10.3923/rjpscience.2010.32.38.
14. Hassan, S., Habashy, W., Ghoname, M., & Elnaggar, A. (2023). Blood hematology and biochemical of four laying hen strains exposed to acute heat stress. *Int J Biometeorol*, 67 (4), 675–686. DOI: 10.1007/s00484-023-02445-z. PMID: 36853273.
15. Yuzviak, M. (2024). Influence of zinc, selenium, and germanium citrates nanoparticles on hematological and biochemical parameters of rabbits under moderate heat stress. *Biol Tvarin*, 26 (2), 47–55. DOI: 10.15407/animbiol26.02.047.

ABSTRACT

THE SYNERGISTIC IMPACT OF BETAINE, TAURINE, AND MYO-INOSITOL ON THE BIOCHEMICAL BLOOD PROFILES OF LAYING HENS UNDER HEAT STRESS CONDITIONS

In modern poultry farming, heat stress is one of the main factors negatively affecting the productivity of laying hens. Elevated temperatures lead to changes in metabolic processes, reflected in disruptions of blood biochemical indicators, specifically enzyme activities, protein, lipid, and metabolite levels. Feed supplements with antistress properties, such as betaine, taurine, and myo-inositol, hold promise for reducing the adverse effects of heat stress on poultry. Therefore, the study aimed to evaluate the impact of betaine, taurine, and myo-inositol supplements on the biochemical parameters of the blood of laying hens exposed to heat stress and to establish ways to prevent its negative effects. In the study, 15 laying hens were used, divided into 2 groups: 1st group – control (C), 2nd group – experimental (E), whose hens received betaine in the amount of 0.5 g/kg of feed, taurine in the amount of 5 g/kg of feed and 2 g/kg of myo-inositol from the dry matter of the feed. The study included two stages: in the first, which lasted seven days, the chickens were kept at a temperature of 20 °C, which was taken as thermoneutral conditions, and in the second, the air temperature in the vivarium was raised to 30 °C for 6 hours every day for a week. After each stage, blood samples of the birds were taken for further research. This study established that these supplements help maintain biochemical stability under HS conditions, particularly by stabilizing protein and lipid metabolism, improving oxidative defense markers, and reducing overall metabolic stress on the body. The results indicate the feasibility of using betaine, taurine, and myo-inositol to prevent stress-related disorders in laying hens under production conditions.

Key words: heat stress, laying hens, betaine, taurine, myo-inositol, biochemical indicators of blood, metabolic processes, enzymatic activity, proteins, lipid metabolism.

UDC 539.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2024.2.3>

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

Arnold Kiv,

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

Taras Kavetsky,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine
Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovak Republic
The state institution "South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky", Odesa, Ukraine
orcid.org/0000-0002-4782-1602, Scopus Author ID: 57220358576, e-mail: kavetsky@yahoo.com

Volodymyr Soloviev,

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine
The state institution "South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky", Odesa, Ukraine
orcid.org/0000-0002-4945-202X, Scopus Author ID: 7005535906,
e-mail: vnsoloviev2016@gmail.com

Yurii Bondaruk,

The state institution "South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky", Odesa, Ukraine
orcid.org/0000-0003-4231-1416, Scopus Author ID: 57202950413,
e-mail: bondaruk@windowslive.com

Nataliia Hoivanovych,

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

Yuliia Kukhazh,

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

Oksana Zubrytska,

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

Oles Matskiv,

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

Alaa Hijaze,

Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel
e-mail: hijazealaa1@gmail.com

Ondrej Šauša,

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

MECHANISM FOR DETECTING CONTAMINANTS IN THE TRACK SENSORS

Abstract. Track sensors are created on the basis of track structures, which are obtained as a result of ion implantation of thin dielectric and semiconductor films. The passage of ion currents through such structures has specific features that are studied for a long time. The entry of various types of impurities into the ion current changes the density of the current, which makes it possible to detect the small concentrations of impurities. In this work the possible mechanism of detection of foreign impurities in the environment using such sensor is considered. The effect of the characteristics of foreign particles entering the flow, as well as the structural and geometric features of the track, on the density of the “carriers flow” (CF), has been investigated. The measured dependences of the CF density on the charge of model particles in the CF and foreign particles, as well as on the defective structure of the track walls and its diameter, have made it possible to propose a mechanism for identifying various contaminants in such a track system.

In the sensor, as a result of the interaction of a foreign particle with CF particles, an excited region arises, the size of which depends on the nature of this interaction. The appearance of such a region leads to the observed negative peak in the CF kinetics. The lifetime of such an excited region determines the resolution of the sensor. This lifetime depends on the diameter of the track and the defect structure of its walls. This implies the possibility of influencing the resolution of the sensor. This parameter of the device can be influenced at all stages of its manufacture. When creating a track structure, it is important to ensure a certain ion implantation mode. Accordingly, it is necessary to select the track diameter. It is important to select the charge and geometric characteristics of the particles in the CF.

Key words: track sensors, model particles, relaxation time of the carriers flow, sensor resolution ability.

INTRODUCTION

The migration of particles in porous materials has been studied for a long time (see, for example [1, 2]). It was established that migration and diffusion in porous materials are characterized by specific laws, which differ from the peculiarities of corresponding processes in solids. The latest [3–5] research showed that the interaction of migrating particles with pore walls plays a decisive role in the mechanisms of nanoparticles passage in such materials.

Special conditions arise during migration and diffusion of charged particles in artificial porous materials, so called track materials, which are created during ion implantation of thin

films. When creating tracks by ion implantation, the inner surfaces of the tracks have a complex defective structure [6] and a set of local centers that significantly affect the mechanism of particles movement inside tracks. An important role in these processes is played by the charge states of migrating particles and local centers on the track walls.

When creating a track biosensor, it is necessary to know the regularities of the passage of ion streams through tracks, since the violation of these regularities indicates the presence of certain impurities in the carrier stream. Optimal parameters of the track structure, on the basis of which the biosensor is created, give the ohmic dependence of the ion current through the track.

The passage of ion flows through nanotracks is effectively studied by the computer simulation method. This paper discusses a possible mechanism for detecting various types of contaminants in track sensors. A computer experiment has shown that in the simplest case, a track sensor allows the detection of foreign particles if at least one parameter (for example, the charge) of the foreign particle differs from the corresponding parameter of the model particle in the carrier flow [7]. A corresponding change in the kinetics of the “carrier flow” (CF) is observed. In this work, we conducted a computer simulation study of the mechanism for detecting a foreign particle in a flow of ionic liquid passing through a track sensor.

DISTURBING INFLUENCE OF A FOREIGN PARTICLE ON THE FLOW

The methodology described in [7] was used. The model particles in the ion flow had a charge of +1. A foreign particle was introduced step by step with a charge of +2, +3 and +4. In all cases, the change in the usual current kinetics (Fig. 1) was of the same type, similar to that observed in the [7] (Fig. 2). However, the diameter of the well ($\Delta t \sim \tau$) increased in proportion to the charge of the foreign particle (Fig. 3) and decrease with the diameter increasing (Fig. 4).

Based on the results of computer experiment obtained, the concept of sensor resolution (SR) can be introduced. This characteristic of the device is determined by the lifetime of the corresponding negative peak $\tau \sim \Delta t$. Since $\Delta t \sim Z^*$, it is clear, that SR of the sensor decreases with increasing foreign particle charge. In the work [9], a characteristic dependence of the flux density on the diameter was established for fixed charges of model particles. As the track diameter decreases, an area of sharp decrease in current density appears. In Fig. 5 this region was investigated and it was found that the slope of the curve in this region is determined by the charges of the model particles.

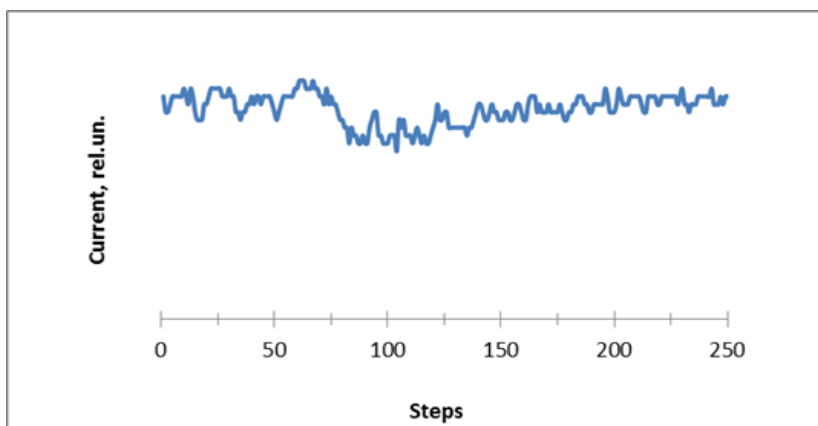


Fig. 1. Usual kinetics of the clean flow of model particles

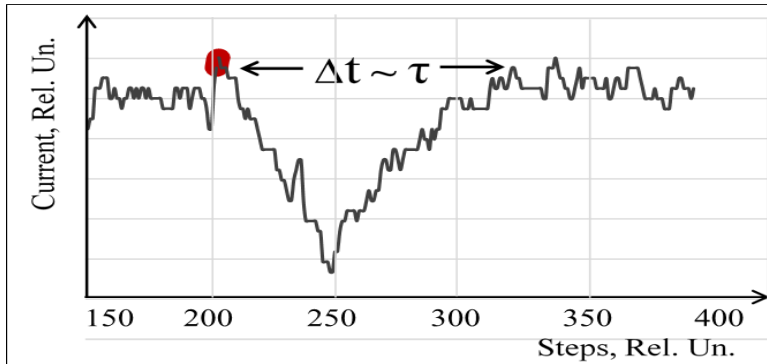


Fig. 2. Characteristic kinetics of the flow of model particles when introducing a foreign particle, see explanations in the text

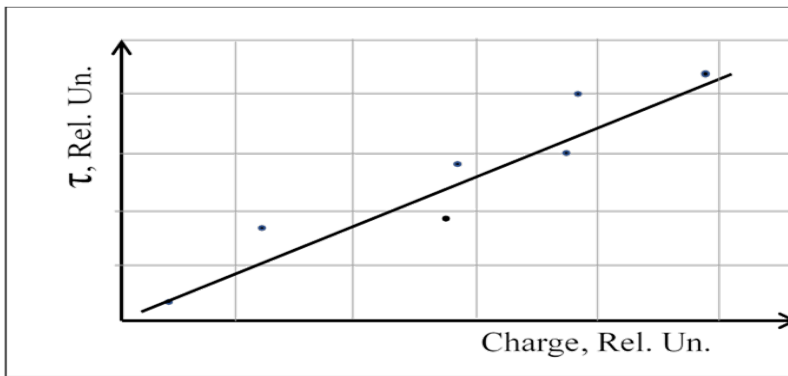


Fig. 3. Dependence of relaxation time τ on the charge of a foreign particle

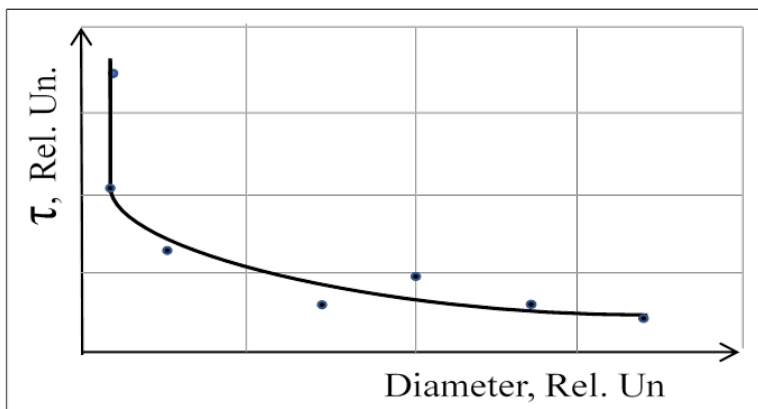


Fig. 4. Dependence of relaxation time τ on the track diameter

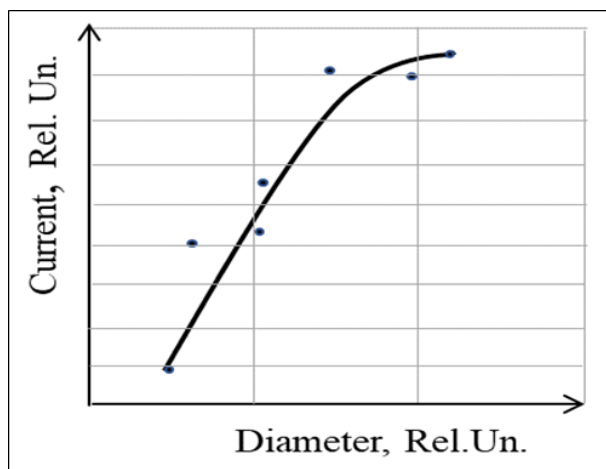


Fig. 5. Dependence of the current density of model particles on the track diameter in the region of a sharp drop in current

DISCUSSION AND CONCLUSION

The results obtained in this work and related works show that even in the simplest track sensors (including biosensors), the quality of the device depends on a large number of parameters of the track structure. Moreover, there are correlations between them, which complicate the accounting of each parameter separately. Therefore, conducting experimental research in the laboratory poses serious difficulties, which can be overcome by computer modeling. But in this case, new problems arise that require new approaches. The use of classical molecular dynamics makes it possible to obtain important information about the features of various processes in track structures, in particular about the mechanisms of migration and diffusion in such materials.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by the Ministry of Education and Science of Ukraine (projects No. 0122U000850, 0122U000874, 0122U001694, and 0124U003406), National Research Foundation of Ukraine (project No. 2020.02/0100), Slovak Grant Agency VEGA (project No. 2/0134/21), and Slovak Research and Development Agency (project No. APVV-21-0335). T.K. and Y.K. also acknowledge the SAIA (Slovak Academic Information Agency) 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. Fundamentals of Ion-Irradiated Polymers. Ed. Fink, D., Springer. 2004. 406 p.

2. Renkin E.M. Filtration, diffusion, and molecular sieving through porous cellulose membranes. *J. Gen. Physiol.* 1954. Vol. 38. P. 225–243.
3. Donchev I.I., Kavetsky T.S., Mushynska O.R., Zubrytska O.V., Briukhovetska I.V., Pryima A.M., Kovalchuk H.Y., Hoivanovych N.K., Kropyvnytska L.M., Pavlyshak Y.Y., Skrobach T.B., Kossak G.M., Stakhiv V.I., Monastyrskaya S.S., Kiv A.E. Computer model of track biosensor. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.* 2022. Vol. 25 (4). P. 441–445.
4. Bondaruk Y., Fink D., Kiv A., Donchev I. Simulation of the passage of ion flows through nanotracks. *International Journal of Advanced Computer Technology (IJACT)*. 2020. Vol. 9. P. 1–4.
5. Donchev I., Bondaruk Y., Fink D., Kavetsky T., Kushniyazova M., Pan'kiv L., Kukhazh Y., Mushynska O., Zubrytska O., Vinkovskaya A., Dyachok D., Kiv A. Optimization of ion track characteristics in a track biosensor. *Acta Carpathica*. 2022. Vol. 2 (38). P. 31–37.
6. Vinkovskaya A., Bondaruk Y., Fink D., Kavetsky T., Dyachok D., Donchev I., Pankiv L., Kukhazh Y., Zubrytska O., Matskiv O., Kravtsiv M., Leshko R., Hoivanovych N., Kiv A. Features of chemical etching of track structures. *Acta Carpathica*. 2023. Vol. 2 (40). P. 107–113.
7. Garcia Arellano H., Munoz Hernandez G., Fink D., Vacic J., Hnadowicz V., Alfonta L., Kiv A. Dependence of yield of nuclear track-biosensors on track radius and analyte concentration. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*. 2018. Vol. 420. P. 69–75.
8. Bondaruk Y.V., Kavetsky T.S., Vinkovskaya A.O., Kushniyazova M., Dyachok D.O., Pankiv L.I., Klepach H.M., Mushynska O.R., Zubrytska O.V., Matskiv O.I., Pavlovskyy Y.V., Voloshanska S.Y., Monastyrskaya S.S., Bodnar L.V., Kiv A.E. Improvement of new electronic materials using computer modeling. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.* 2023. Vol. 26 (4). P. 470–474.
9. Donchev I., Fink D., Vinkovskaya A., Kavetsky T., Kushniyazova M., Dyachok D., Bondaruk Y., Pan'kiv L., Kukhazh Y., Mushynska O., Zubrytska O., Matskiv O., Soloviev V., Kiv A. Simulation of track structures as the basis of biosensors. *Acta Carpathica*. 2023. Vol. 1 (39). P. 66–72.

REFERENCES

1. Fundamentals of Ion-Irradiated Polymers (2004). Ed. Fink, D., Springer. 406 p.
2. Renkin, E.M. (1954). Filtration, diffusion, and molecular sieving through porous cellulose membranes. *J. Gen. Physiol.* Vol. 38. P. 225–243.
3. Donchev, I.I., Kavetsky, T.S., Mushynska, O.R., Zubrytska, O.V., Briukhovetska, I.V., Pryima, A.M., Kovalchuk, H.Y., Hoivanovych, N.K., Kropyvnytska, L.M., Pavlyshak, Y.Y., Skrobach, T.B., Kossak, G.M., Stakhiv, V.I., Monastyrskaya, S.S., & Kiv, A.E. (2022). Computer model of track biosensor. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.* Vol. 25 (4). P. 441–445.
4. Bondaruk, Y., Fink, D., Kiv, A., & Donchev, I. (2020). Simulation of the passage of ion flows through nanotracks. *International Journal of Advanced Computer Technology (IJACT)*. Vol. 9. P. 1–4.
5. Donchev, I., Bondaruk, Y., Fink, D., Kavetsky, T., Kushniyazova, M., Pan'kiv, L., Kukhazh, Y., Mushynska, O., Zubrytska, O., Vinkovskaya, A., Dyachok, D., & Kiv, A. (2022). Optimization of ion track characteristics in a track biosensor. *Acta Carpathica*. Vol. 2 (38). P. 31–37.
6. Vinkovskaya, A., Bondaruk, Y., Fink, D., Kavetsky, T., Dyachok, D., Donchev, I., Pankiv, L., Kukhazh, Y., Zubrytska, O., Matskiv, O., Kravtsiv, M., Leshko, R., Hoivanovych, N., & Kiv, A. (2023). Features of chemical etching of track structures. *Acta Carpathica*. Vol. 2 (40). P. 107–113.

7. Garcia Arellano, H., Munoz Hernandez, G., Fink, D., Vacik, J., Hnatowicz, V., Alfonta, L., & Kiv, A. (2018). Dependence of yield of nuclear track-biosensors on track radius and analyte concentration. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*. Vol. 420. P. 69–75.
8. Bondaruk, Y.V., Kavetsky, T.S., Vinkovskaya, A.O., Kushniyazova, M., Dyachok, D.O., Pankiv, L.I., Klepach, H.M., Mushynska, O.R., Zubrytska, O.V., Matskiv, O.I., Pavlovskyy, Y.V., Voloshanska, S.Y., Monastyrskaya, S.S., Bodnar, L.V., & Kiv, A.E. (2023). Improvement of new electronic materials using computer modeling. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.* Vol. 26 (4). P. 470–474.
9. Donchev, I., Fink, D., Vinkovskaya, A., Kavetsky, T., Kushniyazova, M., Dyachok, D., Bondaruk, Y., Pan'kiv, L., Kukhazh, Y., Mushynska, O., Zubrytska, O., Matskiv, O., Soloviev, V., & Kiv, A. (2023). Simulation of track structures as the basis of biosensors. *Acta Carpathica*. Vol. 1 (39). P. 66–72.

АНОТАЦІЯ

МЕХАНІЗМ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ТРЕКОВИХ СЕНСОРАХ

Трекові сенсори створюють на основі трекових структур, які отримують унаслідок іонної імплантації тонких діелектричних і напівпровідникових плівок. Проходження іонних струмів через такі структури має особливості, які давно вивчаються. Вхідження різних видів домішок в іонний струм змінює густину струму, що дає змогу виявляти малі концентрації домішок. У цій роботі розглянуто можливий механізм виявлення сторонніх домішок у середовищі за допомогою такого сенсора. Досліджено вплив характеристик сторонніх частинок, що потрапляють у потік, а також структурно-геометричних особливостей треку на густину «потіку носіїв» (ПН). Виміряні залежності густини ПН від заряду модельних частинок у ПН та сторонніх частинок, а також від дефектної структури стінок треку та її діаметра дали змогу запропонувати механізм ідентифікації різноманітних забруднень у такій трековій системі.

У сенсорі внаслідок взаємодії сторонньої частинки із частинками ПН виникає збуджена область, розмір якої залежить від характеру цієї взаємодії. Поява такої області призводить до спостережуваного негативного піку кінетики ПН. Час життя такої збудженої області визначає роздільну здатність сенсора. Цей час життя залежить від діаметра треку та дефектної структури її стінок. Це передбачає можливість впливу на роздільну здатність сенсора. На цей параметр пристрою можна впливати на всіх етапах його виготовлення. Під час створення трекової структури важливо забезпечити певний режим іонної імплантації. Відповідно до цього потрібно підбирати діаметр треку. Важливо підібрати заряд і геометричні характеристики частинок в ПН.

Ключові слова: трекові сенсори, модель частинок, час релаксації потоку носіїв, роздільна здатність сенсора.

Ольга Володимирівна Васьків,

магістр

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0009-0002-4415-2957, e-mail: vaskiv.olga0@gmail.com

Галина Миколаївна Клепач,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0003-0784-8373, e-mail: h.klepach@dspu.edu.ua

Олег Володимирович Стасик,

доктор біологічних наук, старший дослідник

Інститут біології клітини Національної академії наук України, Україна

Науково-дослідний інститут епідеміології та гігієни Львівського національного

медичного університету імені Данила Галицького, Україна

orcid.org/0000-0001-8135-6102, e-mail: olehst11@gmail.com

Олена Георгіївна Стасик,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біохімії

Львівський національний університет імені Івана Франка

Інститут біології клітини Національної академії наук України, Україна

orcid.org/0000-0002-0253-2372, e-mail: olena.stasyk@lnu.edu.ua

ІОНИ КУПРУМУ (II) ПІДВИЩУЮТЬ ЦИТОТОКСИЧНИЙ ВПЛИВ РЕКОМБІНАНТНОГО АЛЬФА-СИНУКЛЕЇНУ ЛЮДИНИ НА КЛІТИНИ ДРІЖДЖІВ *OGATAEA POLYMORPHA*

Анотація. Відомо, що в білкових агрегатах нейронів людей, які страждають на хворобу Паркінсона (ХП), можна виявити підвищені рівні певних іонів металів (як-от цинк, залізо та купрум). Взаємодіючи з білками, ці метали впливають на властивості окремих ділянок мозку та призводять до нейродегенеративних змін. На сьогодні існує широкий спектр моделей для дослідження різних аспектів етіопатогенезу ХП *in vivo*, які базуються на використанні різних модельних організмів – від одноклітинних еукаріотів до приматів. Як штучну модель ХП в нашій роботі ми використовували дріжджі *Ogataea polymorpha* з конститутивною експресією рекомбінантного білка альфа-синуклеїну людини, головного токсичного чинника ХП. Метою роботи було дослідити вплив надлишку іонів купруму в ростовому середовищі на фізіологічні властивості клітин дріжджів *O. polymorpha* з конститутивною експресією альфа-синуклеїну. Штами дріжджів вирощували в багатому середовищі YPS (1% дріжджовий екстракт, 1% бактопептон, 1% сахароза), мінеральному середовищі YNB (0,67% Yeast Nitrogen Base (Difco), 0,5% амонію сульфат, 2% сахароза). Для твердих середовищ додавали агар у концентрації 2%. Температура культивування становила 37 °С, умови аерації – перемішування на термостатованому орбітальному шейкері (200 об/хв). Усі експерименти повторювали принаймні тричі. Статистичний аналіз проводили за допомогою Т-тесту Стьюдента. Результати представлені у вигляді середніх значень зі стандартними помилками. Враховували значення за $P \leq 0,05$.

Під час дослідження було встановлено, що збільшення концентрації Cu^{2+} у ростовому середовищі до 500 та 750 мкМ CuCl_2 спричиняло помітний токсичний ефект на клітини

модельного штаму (NCYC495/*SNCA-GFP*), порівнюючи зі штамом дикого типу (NCYC495 pr). Також було з'ясовано, що в модельного штаму дріжджів за таких умов культивування рівень АФО, а саме гідрогену пероксиду, був нижчим, ніж у штаму дикого типу. Імовірно, завдяки хелаторним властивостям білка альфа-синуклеїну щодо іонів купруму участь цього металу в ініціації оксидативного стресу обмежувалася і, як наслідок, знижувалася продукція АФО. Оскільки гідрогену пероксид є основним субстратом каталази, ферменту системи антиоксидантного захисту, було проаналізовано активність цього ферменту на тлі надлишку іонів купруму в ростовому середовищі. За концентрації Cu^{2+} 250 мкМ активність каталази в обох досліджуваних штамів дріжджів була найвищою, однак за 500 мкМ вона знижувалася. Такий ефект можна пояснити тим, що за високих концентрацій купрум діє як денатуруючий агент щодо білка каталази, призводячи до її інактивації. Слід зазначити, що надлишок іонів Cu^{2+} не викликав агрегації альфа-синуклеїну, проте підвищував цитотоксичний ефект цього білка на клітини модельного штаму.

Ключові слова: альфа-синуклеїн, хвороба Паркінсона (ХП), купрум, дріжджі *Ogataea polymorpha*.

ВСТУП

Хвороба Паркінсона (ХП) є поширеним прогресуючим нейродегенеративним захворюванням, яке вражає 1–3% населення похилого віку. До клінічних симптомів ХП належать тремор у спокої, ригідність, брадикінезія та постуральна нестабільність. Однією з нейропатологічних ознак ХП є зменшення кількості дофамінергійних нейронів у чорній субстанції мозку, що спричиняє дефіцит дофаміну. Іншою патологічною ознакою є внутрішньонейронні включення, як-от тільця Леві та нейрити Леві в залишкових дофамінергійних нейронах. Основним компонентом тілець Леві є агрегований альфа-синуклеїн [1]. Альфа-синуклеїн – пресинаптичний нейронний білок, який генетично та нейропатологічно пов'язаний із ХП [2]. Це нативно розгорнутий білок, здатний взаємодіяти з мембранами, приймаючи альфа-спірально конформацію. За патологічних умов альфа-синуклеїн агрегує в олігомери та фібрили, утворюючи токсичні амілоїдогенні конформації, збагачені бета-листовими структурами. Більш ранні дослідження *in vitro* довели, що наявність мілімолярних концентрацій різних іонів металів, серед яких купрум, сприяє утворенню частково згорнутих амілоїдогенних конформацій, які більш схильні до агрегації [3]. Купрум (Cu) – життєво важливий метал, необхідний для багатьох біологічних процесів. Переважна більшість загального купруму в організмі здорової людини пов'язана з простетичними групами ферментів або зв'язана з білками. Гомеостаз купруму строго регулюється складною системою транспортерів і білків-шаперонів. Надлишок і токсичність цього металу, які пов'язані з патогенезом печінкових розладів, нейродегенеративних змін та інших захворювань, можуть виникати в разі порушення гомеостазу купруму. Здатність ініціювати окислювальне пошкодження найчастіше пов'язують із купрум-індукованою клітинною токсичністю [4].

На сьогодні розроблено дуже великий арсенал моделей для вивчення різних аспектів етіопатогенезу ХП *in vivo* з використанням різних модельних організмів – від одноклітинних еукаріотів до приматів [5]. Як штучну модель ХП в нашій роботі ми використовували дріжджі *Ogataea polymorpha* з конститутивною експресією рекомбінантного білка альфа-синуклеїну людини. Цей модельний штам було сконструйовано на основі штаму дикого типу NCYC 495 pr шляхом введення касети експресії, яка складається з промотора гена *MET25 Saccharomyces cerevisiae*,

кодуючої послідовності альфа-синуклеїну людини, кон'югованої з геном зеленого флуоресцентного білка (GFP), та термінатора гена *CYC1 S. cerevisiae*. Наявність у клітинах модельного штаму химерного білка альфа-синуклеїну, кон'югованого із зеленим флуоресцентним білком, була підтверджена методом Вестерн-блотингу з антитілами до альфа-синуклеїну. За допомогою флуоресцентної мікроскопії було візуалізовано цитозольну локалізацію цього рекомбінантного білка [6]. У наших попередніх роботах також було сконструйовано модельний штам *S. cerevisiae* з використанням цієї ж касети експресії та охарактеризовано вплив альфа-синуклеїну людини на клітини пекарських дріжджів [7]. Метою нашої роботи було дослідити вплив надлишку іонів купруму на фізіологічні властивості модельного штаму дріжджів *Ogataea polymorpha* з конститутивною експресією рекомбінантного білка альфа-синуклеїну людини.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Штами, середовища та мікробіологічні методи

У роботі були використані штами термотолерантних дріжджів *O. polymorpha*, перелічені в таблиці 1.

Таблиця 1

Назва штаму	Опис генотипу
<i>Ogataea polymorpha</i>	
NCYC 495 pr (WT, штам дикого типу)	<i>leu1-1 HpLEU2</i>
NCYC 495/ <i>SNCA-GFP</i>	<i>APH, P_{MET25} - yEGFP3 - SNCA - T_{CYC1}</i>

Штами *O. polymorpha* вирощували в багатому середовищі YPS (1% дріжджовий екстракт, 1% бактопептон, 1% сахароза), мінеральному середовищі YNB (0,67% Yeast Nitrogen Base (Difco), 0,5% амонію сульфат, 2% сахароза). Для твердих середовищ додавали агар у концентрації 2%. Температура культивування становила 37 °C, умови аерації – перемішування на шейкері (200 об/хв). Оптичну густину суспензії клітин дріжджів, розведеної в декілька разів, визначали на електрофотокolorиметрі КФК-3 за довжини хвилі 600 нм у 5 мм проти води як контролю. Флуоресцентні мікрофотографії клітин дріжджів отримували за допомогою флуоресцентного мікроскопа Axio Imager A1 (Carl Zeiss Micro Imaging, Jena, Germany) та цифрової фотокамери Axio Cam MRm (Carl Zeiss Micro Imaging). Фотографії були зроблені із 600-кратним збільшенням. Обробку отриманих фотографій виконували за допомогою комп'ютерних програм AxioVision 4.5 (Carl Zeiss MicroImaging) та Adobe Photoshop CS5 (Adobe Systems, Mountain View, CA). Для виявлення мертвих клітин дріжджів методом флуоресцентної мікроскопії використовували розчин етидію броміду в кінцевій концентрації 1 мкг/мл. Перед аналізом у 200 мкл культури клітин вносили 1 мкл барвника. Для визначення вмісту активних форм кисню (АФО) в живих клітинах дріжджів відбирали по 1 мл культури з оптичною густиною $OD_{600} = 5,0$, до якої додавали по 10 мкл 2,7-дихлородигідрофлуоресцеїн діацетат (DCFH-DA) до кожного зразка. Після додавання DCFH-DA клітини інкубували впродовж 30 хвилин у темряві за температури 37 °C. Після цього клітини двічі відмивали дистильованою водою та ресуспендували в дистильованій воді до кінцевого об'єму 1 мл і проводили

флуоресцентну мікроскопію. Флуоресцентні мікрофотографії досліджуваних штамів дріжджів отримували за допомогою флуоресцентного мікроскопа Axio Imager A1 (Carl Zeiss Micro Imaging, Jena, Germany) та цифрової фотокамери Axi Cam MRm (Carl Zeiss Micro Imaging). Фотографії були зроблені зі 600-кратним збільшенням з тривалістю експозиції 50 мс. Аналізували 2–3 поля зору в середньому по 100 клітин у кожному полі зору. Оцінювання клітин, у яких є надлишок АФО, здійснювали за допомогою комп'ютерної програми Gel-Pro Analyzer.

Отримання безклітинних екстрактів

Для отримання безклітинних екстрактів використовували скляні кульки Баллотіні. До клітин, відмитих від ростового середовища, додавали 50 мМ калій-фосфатний буфер (рН 7,5) з 1 мМ PMSF (фенілметансульфонілфторид – інгібітор вакуолярних протеаз). У пластикові мікропробірки типу Ependorf переносили отриману суспензію, після чого додавали скляні кульки Баллотіні (діаметр 0,45–0,5 мм) у кількості $\frac{3}{4}$ від об'єму суспензії клітин і охолоджували, або заморожували за температури $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ для тривалого зберігання. Протягом 15 хв клітини руйнували методом струшування на вортексі за температури $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ з охолодженням на льоді через кожні 5 хв. Далі гомогенізували центрифугували протягом 20 хв у мікроцентрифузі Ependorf 5417R з радіусом ротора 8,25 см, за швидкості 13 500 об/хв (rpm), відносно центрифужне прискорення в цих умовах становить 16 800 g, за температури $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а до отриманого безклітинного екстракту дріжджів додавали додаткову порцію PMSF. Концентрацію білка визначали методом Лоурі [8].

Визначення активності каталази [9]

Активність каталази (КФК 1.11.1.6) визначали за інтенсивністю забарвлення комплексу, утвореного H_2O_2 із солями молібдену. 1 мл реакційної суміші складався з 0,05 М трис-НСІ буферу (рН 7,8), 0,03% розчину H_2O_2 та досліджуваного зразка (безклітинний екстракт дріжджів) з кінцевою концентрацією білка 50 мкг/мл у реакційній суміші. Реакцію зупиняли додаванням 0,5 мл 4%-го розчину молібдату амонію після 10 хв інкубації. Вимірювання проводили методом спектрофотометрії за довжини хвилі $\lambda = 410\text{ нм}$. Одиниці активності каталази виражали в $\text{нмоль H}_2\text{O}_2 \times \text{хв}^{-1} \times \text{мг}^{-1}$ білка.

Визначення вмісту карбонільних груп білків [9]

У процесі окиснювальної модифікації білків у радикалах залишків аліфатичних амінокислот утворюються альдегідні й кетонні групи. Останні взаємодіють з 2,4-динітрофенілгідразиним (ДНФГ) з утворенням 2,4-динітрофенілгідразонів, що мають характерний спектр поглинання. Альдегідо- і кетопохідні нейтрального характеру реєстрували за 370 нм, а основного характеру – за 430 нм.

До 0,005 мл зразків додавали по 0,5 мл 0,85%-го розчину NaCl. У контрольну пробу додавали 0,5 мл 2 н HCl, а в дослідні – 0,5 мл 0,1 М розчину 2,4-ДНФГ, розчиненого в 2 н HCl. Після цього до всіх зразків додавали по 0,5 мл 10%-ї трихлороцтової кислоти (ТХО) й інкубували протягом 1 години за температури $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Після інкубації проби центрифугували протягом 10 хвилин за 3000 об/хв, осад промивали тричі по 1 мл 5%-го ТХО. До осаду додавали 2,5 мл 8 М розчину сечовини та інкубували протягом 5 хвилин на киплячій водянній бані до повного розчинення осаду. Екстинкцію зразків вимірювали за довжини хвилі 370 нм та 430 нм протягом 10 хвилин. Отримані результати виражали в $\text{мкмоль карбонільних груп} \times \text{мг}^{-1}$ білка.

Віртуальний аналіз амінокислотної послідовності білків

Пошук амінокислотної послідовності альфа-синуклеїну (<https://www.uniprot.org/uniprotkb/P37840/entry#sequences>) здійснювали на онлайн ресурсі <https://www.uniprot.org/>. Віртуальне моделювання взаємодії альфа-синуклеїну з іонами Cu^{2+} здійснювали, послуговуючись вебресурсом MIB: Metal Ion-Binding site prediction server (<http://combio.life.nctu.edu.tw/MIB2/>).

Статистична обробка результатів

Усі експерименти повторювали принаймні тричі. Статистичний аналіз проводили за допомогою Т-тесту Стьюдента. Результати представлені у вигляді середніх значень зі стандартними помилками. Враховували значення за $P \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

Вплив іонів Cu^{2+} на життєздатність модельних штамів *Ogataea polymorpha*, у яких гетерологічно продукується альфа-синуклеїн людини

Відомо, що іони металів можуть ініціювати агрегацію білків в олігомери та відігравати певну роль у формуванні токсичних структур альфа-синуклеїну, основного патологічного чинника ХП. Вважається, що зв'язування іонів металів запускає структурні зміни білка в бік більш компактного стану через нейтралізацію заряду, що призводить до його агрегації та прогресування нейродегенеративних процесів [10].

Для з'ясування ролі іонів купруму в можливому цитотоксичному ефекті рекомбінантного альфа-синуклеїну людини на клітини модельного штаму дріжджів *O. polymorpha* було здійснено порівняльний аналіз швидкості росту культури штаму дикого типу та модельного штаму (рис. 1). Було встановлено, що збільшення концентрації Cu^{2+} у середовищі культивування чинить помітний дозозалежний токсичний ефект на клітини штаму NCYC 495/*SNCA-GFP*, особливо в концентраціях 500 та 750 мкМ.

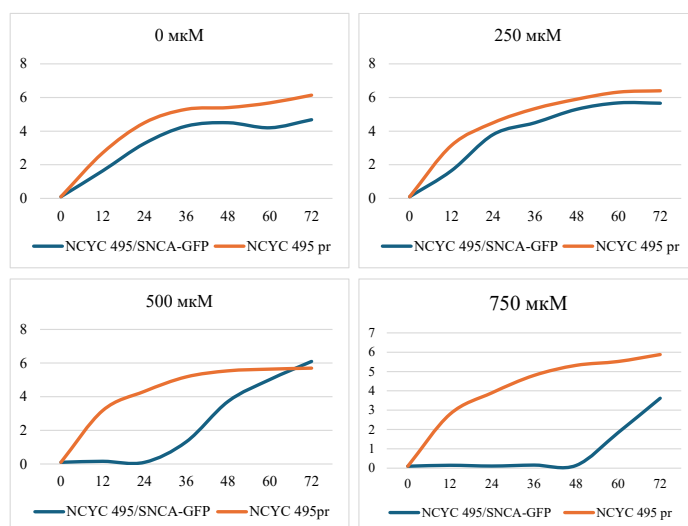


Рис. 1. Кінетики росту штаму дикого типу (NCYC 495 pr) та модельного штаму (NCYC 495/*SNCA-GFP*) дріжджів *O. polymorpha* на середовищах з різними концентраціями CuCl_2

Ріст культури модельного штаму на середовищі з високими концентраціями купрум (II) хлориду характеризувався тривалою лаг-фазою, що свідчило про адаптацію клітин дріжджів до надлишку іонів купруму. На відміну від клітин штаму дикого типу, клітини модельного штаму починали ділитися на 24-ту годину за концентрації іонів купруму 500 мкМ, тоді як за концентрації іонів цього металу 750 мкМ поділ клітин розпочинався на 48-му годину культивування. Імовірно, це пов'язано з тим, що високі концентрації іонів купрум підсилювали токсичний ефект альфа-синуклеїну на клітини NCYC 495/SNCA-GFP.

Підрахунок відсотка мертвих клітин у культурі виявив, що за концентрації 500 мкМ CuCl_2 у ростовому середовищі спостерігався найбільш виражений цитотоксичний ефект для обох досліджуваних штамів, тоді як за концентрації 250 мкМ CuCl_2 такого ефекту не спостерігалося (рис. 2). Оскільки під час вирощування модельного штаму на середовищі з 750 мкМ CuCl_2 приріст біомаси був дуже незначним, така культура була вилучена з аналізу і в подальших дослідженнях не використовувалася.

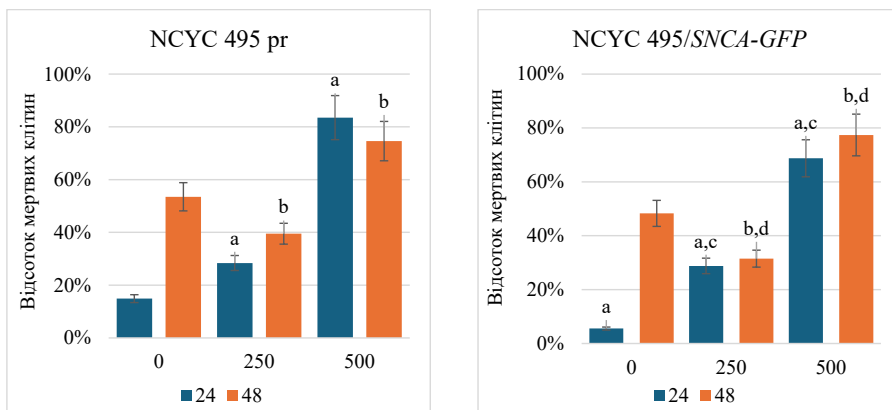


Рис. 2. Відсоток мертвих клітин у культурі штаму дикого типу (NCYC 495 pr) та модельного штаму (NCYC 495/SNCA-GFP) дріжджів *O. polymorpha*, культивованих на мінеральних середовищах без додавання та з додаванням 250 і 500 мкМ CuCl_2

Примітка: тут і в наступних рисунках $p \geq 0,95$, $P \leq 0,05$, a – різниця достовірна порівняно з NCYC 495 pr, вирощеним на середовищі без CuCl_2 на 24-ту годину, b – різниця достовірна порівняно з NCYC495 pr, вирощеним на середовищі без CuCl_2 на 48-му годину, c – різниця достовірна порівняно з NCYC 495/SNCA-GFP, вирощеним на середовищі без CuCl_2 на 24-ту год, d – різниця достовірна порівняно з NCYC 495/SNCA-GFP, вирощеним на середовищі без CuCl_2 на 48-му годину.

Вміст АФО та активність каталази в клітинах штамів *O. polymorpha* за умов надлишку Cu^{2+} в культуральному середовищі

Раніше в експериментах *in vitro* та *in vivo* було з'ясовано, що оксидативний стрес у дофамінергійних нейронах мозку може сприяти агрегації альфа-синуклеїну. Крім того, надекспресія або аномальний фолдинг цього білка, особливо його мутантних форм, також пов'язані зі збільшенням продукції АФО [11]. Оскільки купрум належить до когорти металів, асоційованих із розвитком оксидативного стресу, наступним завданням нашої роботи було дослідити кумулятивний ефект надлишку іонів цього металу та надекспресії альфа-синуклеїну на продукцію АФО в клітинах модельного штаму дріжджів (рис. 3).

Зокрема, було з'ясовано, що на 48-му годину росту штаму NCYC 495/*SNCA-GFP* за умов надлишку іонів купруму (250 мкМ) кількість клітин, у яких детектується АФО, є нижчою, ніж у штаму дикого типу (рис. 3А). Імовірно, це зумовлено хелаторними властивостями білка альфа-синуклеїну щодо іонів купруму. Таким чином, можна припустити, що завдяки альфа-синуклеїну внутрішньоклітинна концентрація іонів цього металу є меншою, ніж у штаму дикого типу, культивованого за тих самих умов, що і є причиною нижчого рівня АФО у клітинах модельного штаму.

Слід зазначити, що в модельного штаму максимальне накопичення АФО спостерігалось на 48-му годину культивування за концентрації 500 мкМ іонів купруму в ростовому середовищі. Можна припустити, що тривале вирощування модельного штаму в умовах надлишку купрум (II) хлориду призводить до зростання рівня АФО внаслідок виснаження сайтів зв'язування іонів купруму в альфа-синуклеїні.

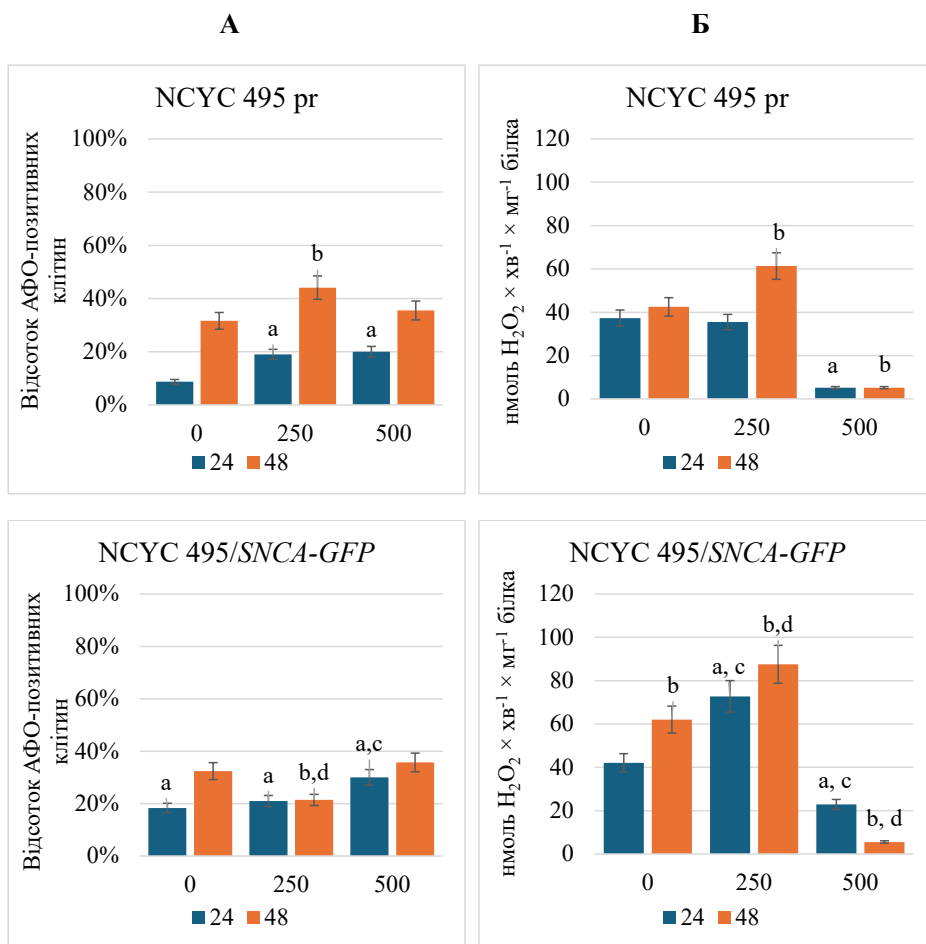


Рис. 3. DCFH-DA-детекція АФО (А) та активність каталази (Б) у клітинах штаму дикого типу (NCYC 495 pr) та модельного штаму (NCYC 495/*SNCA-GFP*) дріжджів *O. polymorpha* на 24-ту, 48-му годину культивування в мінеральному середовищі з додаванням 0, 250 та 500 мкМ CuCl₂

Оскільки в клітинах штаму дикого типу та модельного штаму дріжджів спостерігалось накопичення АФО за умов культивування на середовищі з надлишком іонів купруму, було проведено аналіз активності каталази, як ферменту, субстратом для якого є гідрогену пероксид, а продуктами реакції – вода та молекулярний кисень [12]. Нами було встановлено, що активність каталази є вищою у модельного штаму, ніж у штаму дикого типу. Найвища активність каталази спостерігалася на 48-му годину вирощування штаму NCYC 495/*SNCA-GFP* в умовах надлишку CuCl_2 (250 мкМ) в ростовому середовищі (рис. 3Б). Зниження рівня активності каталази в обох штамів відбувалося на 24-ту і 48-му годину за концентрації 500 мкМ, що може бути спричинено інгібуючим впливом іонів купруму.

Аналіз рівня карбонільних груп білків основного та нейтрального характеру у клітинах за умов надлишку CuCl_2

Окислювальне пошкодження та мітохондріальна дисфункція сприяють каскаду подій, що призводять до дегенерації дофамінергійних нейронів [11]. Однією з таких подій є АФО-опосередковане окиснення білків, що призводить до втрати їхньої фізіологічних функцій, набуття патологічних властивостей, сповільнення їхньої деградації та накопичення всередині нейрона з подальшою агрегацією та утворенням олігомерів і тілець Леві. Тому наступним нашим завданням було проаналізувати, чи призводить зростання рівня АФО на тлі надлишку іонів купруму в середовищі культивування до підвищення вмісту окиснених білків у клітинах модельного штаму та штаму дикого типу.

Проаналізувавши отримані дані, ми встановили, що в разі вирощування досліджуваних штамів на середовищі з надлишковим вмістом купрум хлориду (250 і 500 мкМ) вміст карбонільних груп у білках модельного штаму дріжджів є вищим порівняно зі штамом дикого типу (рис. 4).

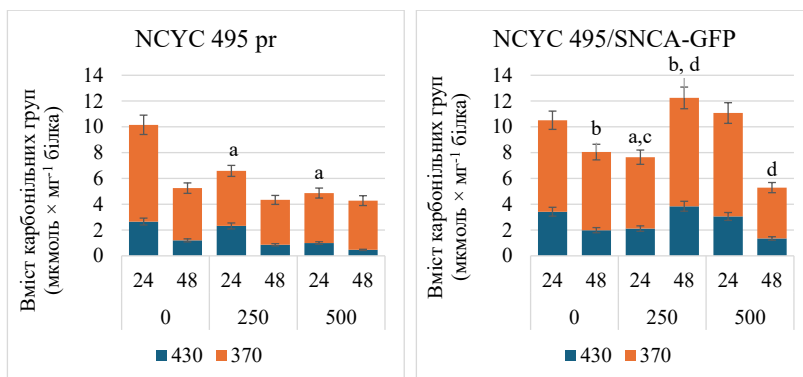


Рис. 4. Вміст карбонільних груп білків у безклітинних екстрактах штаму дикого типу (NCYC 495 pr) та модельного штаму (NCYC 495/*SNCA-GFP*) дріжджів *O. polymorpha* на 24-ту та 48-му годину культивування в середовищі без додавання та з додаванням 250 мкМ та 500 мкМ Cu^{2+}

Зростання вмісту карбонільних груп у білках модельного штаму можна пояснити тим, що в клітинах NCYC 495/*SNCA-GFP* у великій кількості наявний білок альфасинуклеїн, багатий на пролін, лізин, аргінін і треонін, які за взаємодії з АФО утворюють додаткові карбонільні групи.

Вплив різних концентрацій іонів Cu^{2+} на агрегацію альфа-синуклеїну

Відомо, що за патологічних умов білки можуть утворювати олігомери та фібрили, формуючи токсичні амілоїдогенні конформації, особливо багаті на бета-листові структури. Дослідження *in vitro* довели, що наявність купруму в мілімолярних концентраціях спричиняє утворення частково згорнутих амілоїдогенних конформацій білка, які є більш схильними до агрегації [13].

Методом флуоресцентної мікроскопії в клітинах модельного штаму дріжджів *O. polymorpha* було досліджено властивості альфа-синуклеїну, кон'югованого із зеленим флуоресцентним білком. У нашому дослідженні GFP слугував міткою для візуалізації внутрішньоклітинної локалізації людського білка. Було з'ясовано, що іони купруму в модельного штаму дріжджів не впливають на здатність альфа-синуклеїну до агрегації, оскільки утворення видимих агрегатів цього білка не спостерігалось впродовж усього періоду вирощування культури (рис. 5).

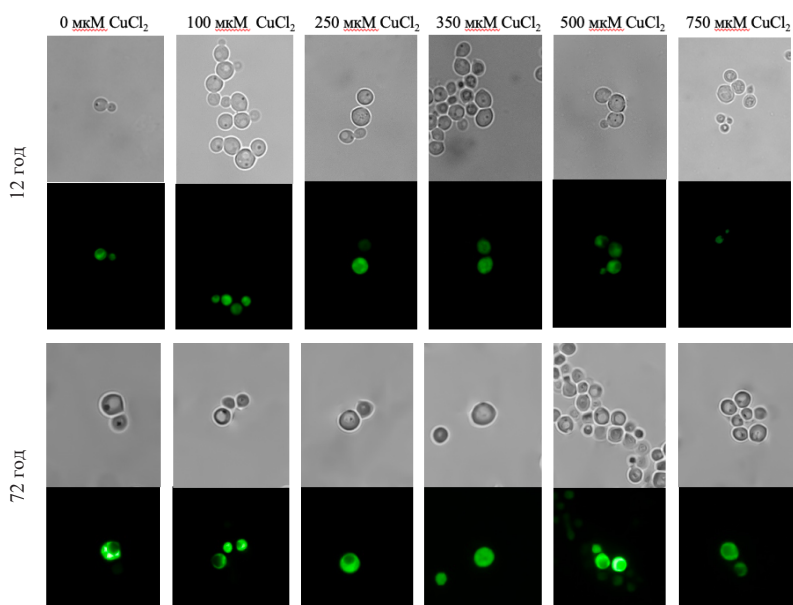


Рис. 5. Флуоресцентні мікрофотографії клітин модельного штаму *O. polymorpha* NCYC 495/*SNCA-GFP*, вирощеного в середовищі з додаванням різних концентрацій Cu^{2+} на 12-ту та 72-гу годину культивування

Однією з можливих причин відсутності візуалізованих агрегатів є те, що іони купруму можуть викликати олігомеризацію альфа-синуклеїну, без утворення фібрил і великих білкових агрегатів. У деяких дослідженнях було з'ясовано, що альфа-синуклеїнові олігомери мають більш виражений цитотоксичний ефект порівняно з великими агрегатами цього білка [14]. Саме тому, за нашим припущенням, модельний штам є більш чутливим до підвищених концентрацій купруму в ростовому середовищі порівняно зі штамом дикого типу, у якого не синтезується людський альфа-синуклеїн.

Прогнозування сайтів зв'язування Cu^{2+} з альфа-синуклеїном людини

У наших попередніх дослідженнях було отримано опосередковане підтвердження здатності надлишку CuCl_2 підсилювати цитотоксичний ефект альфа-синуклеїну на

клітини модельного штаму дріжджів завдяки потенційним хелаторним властивостям цього білка щодо іонів купруму. З огляду на це, було проведено віртуальне моделювання взаємодії альфа-синуклеїну з іонами Cu^{2+} . За допомогою онлайн-платформи MIB: Metal Ion-Binding site prediction server (<http://combio.life.nctu.edu.tw/MIB2/>, рис. 6) було прогнозовано потенційні сайти зв'язування Cu^{2+} в молекулі альфа-синуклеїну.

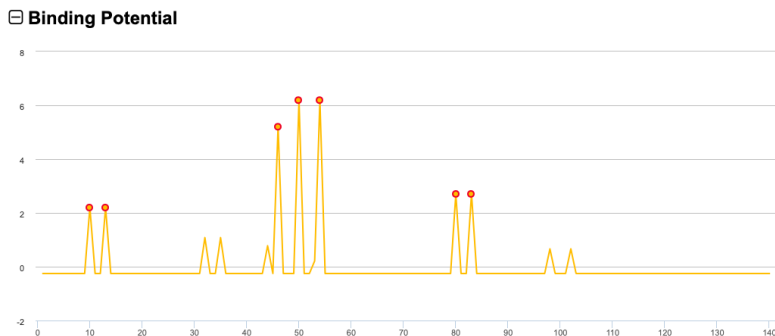


Рис. 6. Потенційні сайти зв'язування Cu^{2+} в молекулі альфа-синуклеїну. Локалізація сайтів зв'язування Cu^{2+} в поліпептидному ланцюзі альфа-синуклеїну

Зокрема, було виявлено 5 сайтів зв'язування Cu^{2+} в С-кінцевій ділянці альфа-синуклеїну та 2 сайти зв'язування в ділянці неамілоїдного компонента (НАС) цього білка. Вважається, що взаємодія між С-кінцевим доменом і НАС-ділянкою альфа-синуклеїну відповідає за інгібування його агрегації [15]. Оскільки в обох цих ділянках виявлено потенційні сайти зв'язування купруму, який нейтралізує заряд амінокислот, що вступають із ним у взаємодію, це може сприяти агрегації альфа-синуклеїну й утворенню олігомерів і більш складних структур цього білка, підвищуючи його токсичний вплив на клітини.

ВИСНОВКИ

Опираючись на отримані дані, було з'ясовано, що збільшення концентрації Cu^{2+} у середовищі культивування чинить помітний токсичний ефект на клітини штаму NCYC 495/*SNCA-GFP* порівняно зі штамом NCYC 495 pr. Найбільш виражений цитотоксичний ефект спостерігався на середовищі з 500 і 750 мкМ CuCl_2 , тоді як за 250 мкМ CuCl_2 такого ефекту не було. У модельного штаму дріжджів кількість клітин, у яких детектувалися АФО, була нижчою за впливу всіх досліджуваних концентрацій іонів купруму порівняно зі штамом дикого типу. Імовірно, це пов'язано з хелаторними властивостями білка альфа-синуклеїну щодо іонів цього металу. У рекомбінантного штаму NCYC 495/*SNCA-GFP*, культивованого на середовищі з CuCl_2 у концентрації 250 мкМ, активність каталази була найвищою. Рівень активності цього ферменту в обох штамів зменшувався за концентрації 500 мкМ, що може бути спричинено інгібуючим впливом іонів купруму, які є в надлишку. Слід зазначити, що надлишок іонів купруму впливав на зростання рівня карбонільних груп у білках штаму NCYC 495/*SNCA-GFP* порівняно зі штамом дикого типу. Іони купруму не впливали на здатність альфа-синуклеїну до агрегації, хоча *in silico* в структурі альфа-синуклеїну було виявлено

потенційні сайти зв'язування з іонами цього металу, із чого можна припустити, що така взаємодія може підвищувати цитотоксичний вплив людського альфа-синуклеїну на клітини модельного штаму дріжджів *O. polymorpha* NCYC 495/*SNCA-GFP*, не призводячи до утворення помітних агрегатів цього білка. Закономірності впливу іонів купруму на цитотоксичність гетерологічного альфа-синуклеїну людини будуть предметом наших подальших досліджень.

ПОДЯКА

Це дослідження було підтримано Фондом Саймонса (Simons Foundation), грант (award) № 1030281.

ЛІТЕРАТУРА

1. Han D., Zheng W., Wang X., Chen Z. Proteostasis of α -Synuclein and Its Role in the Pathogenesis of Parkinson's Disease. *Frontiers in cellular neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 45. URL: <https://doi.org/10.3389/fncel.2020.00045>.
2. Stefanis L. α -Synuclein in Parkinson's disease. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*. 2012. Vol. 2, No. 2. P. a009399. URL: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a009399>.
3. Bisaglia M., Bubacco L. Copper Ions and Parkinson's Disease: Why Is Homeostasis So Relevant? *Biomolecules*. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 195. URL: <https://doi.org/10.3390/biom10020195>.
4. Gaetke L. M., Chow-Johnson H. S., Chow C. K. Copper: toxicological relevance and mechanisms. *Archives of toxicology*. 2014. Vol. 88, No. 11. P. 1929–1938. URL: <https://doi.org/10.1007/s00204-014-1355-y>.
5. Shadrina M., Slominsky P. Modeling Parkinson's Disease: Not Only Rodents? *Frontiers in aging neuroscience*. 2021. Vol. 13. P. 695718. URL: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.695718>.
6. Denega I.O., Klymyshyn N.I., Sybirna N.O., Stasyk O.V., Stasyk O.G. Modeling of molecular processes underlying Parkinson's disease in cells of methylotrophic yeast *Hansenula polymorpha*. *Studia Biologica*. 2014. Vol. 8, No. 2. P. 5–16.
7. Hrushanyk N.V., Fedorko Y.I., Stasyk O.V., Stasyk O.G. Construction of model strain of yeast *Saccharomyces cerevisiae* with regulated expression of recombinant human alpha-synuclein.
8. Lowry O., Rosebrough N., Farr A. L., Randall R. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*. 1951. Vol. 193, No. 1. P. 265–275. DOI: 10.1016/s0021-9258(19)52451-6.
9. Мосійчук Н. М., Семчишин Г. М., Байляк М. М., Кубрак О. І., Гусак В. В., Ровенко Б. М., Абраг О. Б. Дослідження вільнорадикальних процесів у живих організмах. 2014. 32 с.
10. Brown D.R. Metal binding to alpha-synuclein peptides and its contribution to toxicity. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2009. Vol. 380, No. 2. P. 377–381. DOI: 10.1016/j.bbrc.2009.01.103.
11. Dias V., Junn E., Mouradian M.M. The role of oxidative stress in Parkinson's disease. *Journal of Parkinson's disease*. 2013. Vol. 3, No. 4. P. 461–491. URL: <https://doi.org/10.3233/JPD-130230>.
12. Shields H.J., Traa A., Van Raamsdonk J.M. Beneficial and Detrimental Effects of Reactive Oxygen Species on Lifespan: A Comprehensive Review of Comparative and Experimental Studies. *Frontiers in cell and developmental biology*. 2021. Vol. 9. P. 628157. URL: <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.628157>.
13. Gromadzka G., Tarnacka B., Flaga A., Adamczyk A. Copper Dyshomeostasis in Neurodegenerative Diseases—Therapeutic Implications. *International journal of molecular sciences*. 2020. Vol. 21, No. 23. P. 9259. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms21239259>.

14. Wan O.W., Chung K.K. The role of alpha-synuclein oligomerization and aggregation in cellular and animal models of Parkinson's disease. *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7, No. 6. P. e38545. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038545>.
15. Emamzadeh F.N. Alpha-synuclein structure, functions, and interactions. *Journal of Research in Medical Sciences: The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences*. 2016. Vol. 21. P. 29. URL: <https://doi.org/10.4103/1735-1995.181989>.

REFERENCES

1. Han, D., Zheng, W., Wang, X., & Chen, Z. (2020). Proteostasis of альфа-Synuclein and Its Role in the Pathogenesis of Parkinson's Disease. *Frontiers in cellular neuroscience*, 14, 45. <https://doi.org/10.3389/fncel.2020.00045>.
2. Stefanis, L. (2012). α -Synuclein in Parkinson's disease. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 2 (2), a009399. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a009399>.
3. Bisaglia, M., & Bubacco, L. (2020). Copper Ions and Parkinson's Disease: Why Is Homeostasis So Relevant? *Biomolecules*, 10 (2), 195. <https://doi.org/10.3390/biom10020195>.
4. Gaetke, L.M., Chow-Johnson, H.S., & Chow, C.K. (2014). Copper: toxicological relevance and mechanisms. *Archives of toxicology*, 88 (11), 1929–1938. <https://doi.org/10.1007/s00204-014-1355-y>.
5. Shadrina, M., & Slominsky, P. (2021). Modeling Parkinson's Disease: Not Only Rodents? *Frontiers in aging neuroscience*, 13, 695718. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.695718>.
6. Denega, I.O., Klymyshyn, N.I., Sybirna, N.O., Stasyk, O.V., & Stasyk, O.G. (2014). Modeling of molecular processes underlying Parkinson's disease in cells of methylotrophic yeast *Hansenula polymorpha*. *Studia Biologica*, 8 (2), 5–16.
7. Hrushanyk, N.V., Fedorko, Y.I., Stasyk, O.V., & Stasyk, O.G. (n.d.). Construction of model strain of yeast *Saccharomyces cerevisiae* with regulated expression of recombinant human alpha-synuclein.
8. Lowry, O., Rosebrough, N., Farr, A.L., Randall, R. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193 (1), 265–275. DOI: 10.1016/s0021-9258(19)52451-6.
9. Mosiychuk, N.M., Semchyshyn, G.M., Bailiak, M.M., Kubrak, O.I., Gusak, V.V., Rovenko, B.M., Abrat, O.B. (2014). Study of free radical processes in living organisms, 32 p.
10. Brown, D.R. (2009). Metal binding to alpha-synuclein peptides and its contribution to toxicity. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 380 (2), 377–381. DOI: 10.1016/j.bbrc.2009.01.103.
11. Dias, V., Junn, E., & Mouradian, M.M. (2013). The role of oxidative stress in Parkinson's disease. *Journal of Parkinson's disease*, 3 (4), 461–491. <https://doi.org/10.3233/JPD-130230>.
12. Shields, H.J., Traa, A., & Van Raamsdonk, J.M. (2021). Beneficial and Detrimental Effects of Reactive Oxygen Species on Lifespan: A Comprehensive Review of Comparative and Experimental Studies. *Frontiers in cell and developmental biology*, 9, 628157. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.628157>.
13. Gromadzka, G., Tarnacka, B., Flaga, A., & Adamczyk, A. (2020). Copper Dyshomeostasis in Neurodegenerative Diseases-Therapeutic Implications. *International journal of molecular sciences*, 21 (23), 9259. <https://doi.org/10.3390/ijms21239259>.
14. Wan, O.W., & Chung, K.K. (2012). The role of alpha-synuclein oligomerization and aggregation in cellular and animal models of Parkinson's disease. *PLoS ONE*, 7 (6), e38545. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038545>.
15. Emamzadeh, F.N. (2016). Alpha-synuclein structure, functions, and interactions. *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 21, 29. <https://doi.org/10.4103/1735-1995.181989>.

ABSTRACT

COPPER (II) IONS ENHANCE THE CYTOTOXIC EFFECT OF RECOMBINANT HUMAN ALPHA-SYNUCLEIN ON *OGATAEA POLYMORPHA* YEAST CELLS

It is known that protein aggregates in the neurons of individuals suffering from Parkinson's disease (PD) contain elevated levels of certain metal ions, such as zinc, iron, and copper. By interacting with proteins, these metals affect the properties of brain regions and lead to neurodegenerative changes. Currently, a wide range of models is available for studying various aspects of PD pathogenesis *in vivo*, utilizing different model organisms – from unicellular eukaryotes to primates. As an artificial model of PD in our study, we used the yeast *Ogataea polymorpha* with constitutive expression of the recombinant human alpha-synuclein protein, the main toxic factor in PD. The aim of the study was to investigate the impact of excess copper ions in the growth medium on the physiological properties of *O. polymorpha* cells with constitutive expression of alpha-synuclein. Yeast strains were grown on YPS rich medium (1% yeast extract, 1% bactopectone, 1% sucrose), YNB mineral medium (0.67% yeast nitrogen base (Difco), 0.5% ammonium sulfate, and 2% sucrose). For solid media, agar was added at a concentration of 2%. The culture temperature was 37°C and the aeration conditions were shaking (200 rpm). All experiments were replicated at least three times. Statistical analysis was performed using the Student's t-test. Results are presented as means with standard errors. Values with $P \leq 0.05$ were considered.

During the study, it was established that increasing the concentration of Cu^{2+} in the growth medium to 500 and 750 μM CuCl_2 caused a significant toxic effect on the cells of the model strain (NCYC 495/*SNCA-GFP*) compared to the wild-type strain (NCYC 495 pr). It was also found that, under these cultivation conditions, the level of ROS, specifically hydrogen peroxide, was lower in the model yeast strain than in the wild-type strain. This is likely due to the chelating properties of the alpha-synuclein protein towards copper ions, which limited the involvement of this metal in initiating oxidative stress and, consequently, reduced ROS production.

Since hydrogen peroxide is the primary substrate of catalase, an enzyme in the antioxidant defense system, the activity of this enzyme was analyzed under excess copper ion conditions in the growth medium. At a Cu^{2+} concentration of 250 μM , catalase activity in both studied yeast strains was the highest, but it decreased at 500 μM . This effect can be explained by the fact that, at high concentrations, copper acts as a denaturing agent for the catalase protein, leading to its inactivation.

It should be noted that excess Cu^{2+} ions did not cause alpha-synuclein aggregation but did enhance the cytotoxic effect of this protein on the cells of the model strain.

Key words: alpha-synuclein, Parkinson's disease (PD), copper, yeast *Ogataea polymorpha*.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported in part by Simons Foundation, Award No 1030281.

Назар Богданович Жигаль,

аспірант кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0009-0008-8669-9567, e-mail: zhygalnazar@gmail.com

Галина Леонідівна Антоняк,

доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0002-1640-737X, Scopus Author ID: 6603150754,

Researcher ID: I-6308-2015, e-mail: halyna.antonyak@lnu.edu.ua

АКУСТИЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ НА ВУЛИЦЯХ МІСТА ЛЬВОВА ТА ВПЛИВ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ НА РІВЕНЬ ШУМУ, ЗУМОВЛЕНОГО РУХОМ АВТОТРАНСПОРТУ

Анотація. Акустичний шум – поширений вид фізичного забруднення атмосфери, який погіршує якість довкілля в містах. Метою роботи було з'ясувати рівень шумового навантаження на вулицях м. Львова та вплив зелених насаджень на показники акустичного шуму, зумовленого рухом автомобільного транспорту. Для досліджень вибрали 40 ділянок: 30 ділянок (Д1–Д30) – на проспектах і вулицях міста з інтенсивним транспортним рухом і 10 ділянок (А1–А5 і Б1–Б5) – на території Скнилівського парку і парку імені Івана Виговського, прилеглих до вул. Виговського. Ділянки А1 і Б1, А2 і Б2, А3 і Б3, А4 і Б4, А5 і Б5 були розташовані на віддалі, а саме 10 м, 20 м, 50 м, 100 м і 200 м від проїзної частини вулиці. Ділянки Д1–Д30 поділили на дві групи: у групу 1 об'єднали ділянки з рівномірним рухом автотранспорту, а в групу 2 – ділянки, розташовані поблизу перехрестя і місць сполучення двох або трьох вулиць. Серед ділянок групи 1 виділили підгрупу $L_{\text{брук}}$, яка охоплювала ділянки вулиць, вимощених бруківкою, і підгрупу $L_{\text{асф}}$ – ділянки вулиць, вкритих асфальтобетонною сумішшю. Аналізували непостійний шум, який оцінювали за еквівалентним рівнем звуку ($L_{\text{екв}}$, дБА). Вимірювання здійснювали впродовж робочих днів тижня за допомогою шумоміра Flus MT-901A, використовуючи стандартну методику. Результати опрацьовували методами варіаційної статистики.

У процесі досліджень встановлено, що значення $L_{\text{екв}}$ на аналізованих ділянках Д1–Д30 становить у середньому $73,30 \pm 5,21$ дБА і перевищує показник, визначений нормативними документами. Еквівалентний рівень звуку на ділянках групи 2 перевищує значення показника $L_{\text{екв}}$ на ділянках групи 1 на 5,46 дБА ($p < 0,05$). На вулицях, вимощених бруківкою, показник $L_{\text{екв}}$ виявляє динаміку до підвищення порівняно з таким на вулицях з асфальтобетонним покриттям. Еквівалентний рівень звуку в парках зменшується на 23,4–35,9% ($p < 0,05$ – $0,01$) на ділянках, віддалених на 50–200 м від джерела шуму, яким є автомобільний рух. Оскільки зменшення шумового забруднення є однією з екосистемних послуг, які виконують зелені насадження в містах, розширення розмірів зелених зон можна рекомендувати як природно-орієнтоване рішення для поліпшення якості навколишнього середовища й екологічного стану атмосфери на території урбоекосистем.

Ключові слова: акустичний шум, забруднення атмосфери, автомобільний транспорт, екосистемні послуги, зелені насадження, урбоекосистема.

ВСТУП

Посилення процесів урбанізації, підвищення технічної оснащеності міського господарства та розвиток різних видів транспорту супроводжуються збільшенням несприятливого впливу техногенної діяльності на екологічний стан довкілля в урбоекосистемах. Серед екологічних проблем, пов'язаних із техногенезом, значну увагу привертає шумове забруднення атмосфери [1, 2]. Акустичний шум – це сукупність небажаних звуків техногенного та біогенного походження, які заважають сприйняттю потрібних звукових сигналів. Основними джерелами техногенного шуму є автомобільний, повітряний і залізничний види транспорту, будівельні роботи, діяльність промислових підприємств і комунальних об'єктів [3]. Рівень шумового забруднення, зумовленого впливом автотранспорту, залежить від таких чинників, як інтенсивність автотранспортного навантаження, швидкість руху автомобілів, чисельність великовагових транспортних засобів і мотоциклів, тип і текстура дорожнього покриття [1, 4, 5].

Акустичний шум виявляє значний вплив на якість життя і здоров'я мешканців територій, розміщених поблизу дорожньо-транспортної інфраструктури та інших джерел шумового забруднення, причому наслідки впливу навколишнього шуму на здоров'я людей можуть бути різними: від емоційних до фізіологічних і психологічних [6–9]. Відомо, що шум – стресогенний чинник, який впливає на гормональний баланс в організмі, спричиняє роздратування, тривогу; тривале акустичне навантаження зумовлює відчуття втоми, порушення сну, підвищення артеріального тиску, депресію та зниження працездатності [10–12].

Зниження рівня шуму, зумовленого автотранспортним рухом, забезпечується різними способами, зокрема встановленням шумозахисних екранів уздовж високошвидкісних транспортних магістралей, які проходять повз житлові райони [13]. Шум від доріг та інших міських факторів можна зменшити шляхом міського планування та кращого проєктування доріг, обмеження швидкості транспортних засобів, зміни текстури поверхні проїжджої частини, обмеження руху вантажних транспортних засобів, використання засобів керування дорожнім рухом, які регулюють потік транспортних засобів для зменшення гальмування та прискорення руху автомобілів [2, 13, 14]. Разом із тим ефективним засобом захисту від шумового забруднення є зелені насадження [15, 16]. Щільна смуга дерев і кущів зменшує сприйняття шуму, формуючи візуальний і фізичний бар'єр між його джерелом і людиною, поглинаючи та розсіюючи звукові хвилі, а також створюючи ефект маскування антропогенного шуму природними звуками.

Львів належить до густонаселених міст України з інтенсивним рухом автомобільного транспорту [17–19]. Однак рівень акустичного забруднення міської атмосфери та здатність рослинності на території міста ослаблювати автотранспортний шум з'ясовано недостатньою мірою.

Метою роботи було з'ясувати рівень шумового навантаження на вулицях м. Львова та вплив зелених насаджень на показники акустичного шуму, зумовленого рухом автомобільного транспорту.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для досліджень вибрали 40 ділянок на території м. Львова. З них 30 ділянок (Д1–Д30) – на проспектах і вулицях міста, які зазнають автотранспортного навантаження, і 10 ділянок на території двох міських парків, прилеглих до вул. Виговського, а саме ділянки А1–А5 – на території Скнилівського парку, а ділянки Б1–Б5 – на території парку імені Івана Виговського (табл. 1). Ділянки А1 і Б1 були розташовані на віддалі

10 м від проїзної частини вул. Виговського, ділянки А2 і Б2 – на віддалі 20 м, ділянки А3 і Б3 – на віддалі 50 м, ділянки А4 і Б4 – на віддалі 100 м, а ділянки А5 і Б5 – на віддалі 200 м від проїзної частини вулиці.

Ділянки Д1–Д30 поділили на дві групи: у групу 1 об'єднали ділянки, які розташовані між перехрестями і характеризуються відносно рівномірним рухом автотранспорту (Д1, Д4, Д5, Д8–Д11, Д20–Д28), а в групу 2 – ділянки, розташовані поблизу перехресть і місць сполучення двох або трьох вулиць та пішохідних переходів із регульованим світлофорами рухом транспорту (Д2, Д3, Д6, Д7, Д12–Д19, Д29, Д30). Ділянки групи 1 поділили на дві підгрупи, а саме на підгрупу 1_{брук.} (ділянки на вулицях, вимощених бруківкою: Д1, Д5, Д20, Д22–Д26) і підгрупу 1_{асф.} (ділянки на вулицях, вкритих асфальтобетонною сумішшю: Д4, Д8–Д10, Д21, Д27, Д28).

Таблиця 1

Координати точок вимірювання шуму

Ділянка	Координати	Розташування
Д1	49°50'31.8"N 24°01'37.0"E	проспект Свободи
Д2	49°50'08.8"N 24°01'55.8"E	проспект Шевченка
Д3	49°50'40.4"N 24°01'35.0"E	вул. Городоцька
Д4	49°49'51.0"N 23°58'12.0"E	вул. Городоцька
Д5	49°50'03.0"N 23°59'18.0"E	вул. Городоцька
Д6	49°50'12.0"N 24°00'05.8"E	вул. Городоцька
Д7	49°49'15.0"N 23°58'10.2"E	вул. Любінська
Д8	49°49'33.5"N 23°58'50.0"E	вул. Любінська
Д9	49°49'30.4"N 23°57'18.7"E	вул. Ряшівська
Д10	49°49'41.0"N 23°58'04.2"E	вул. Виговського
Д11	49°48'56.6"N 23°58'23.5"E	вул. Виговського
Д12	49°48'51.6"N 23°58'32.8"E	вул. Виговського
Д13	49°49'22.9"N 23°57'40.0"E	вул. Патона
Д14	49°50'04.5"N 23°59'26.5"E	вул. Кульпарківська
Д15	49°48'45.5"N 23°59'02.5"E	вул. Кульпарківська
Д16	49°48'17.3"N 23°58'52.3"E	вул. Кульпарківська
Д17	49°48'07.3"N 24°01'05.3"E	вул. Стрийська
Д18	49°49'45.5"N 24°01'55.0"E	вул. Стрийська
Д19	49°49'35.2"N 24°02'01.4"E	вул. Івана Франка
Д20	49°49'28.0"N 24°02'00.3"E	вул. Івана Франка
Д21	49°49'15.7"N 24°01'42.0"E	вул. Івана Франка
Д22	49°49'53.7"N 24°02'00.0"E	вул. Івана Франка
Д23	49°50'10.5"N 24°01'59.3"E	вул. Олександра Фредра
Д24	49°50'17.0"N 24°01'58.7"E	вул. Князя Романа
Д25	49°50'16.2"N 24°02'28.4"E	вул. Пекарська
Д26	49°50'16.0"N 24°01'16.8"E	вул. Соломії Крушельницької
Д27	49°52'04.5"N 24°00'53.0"E	вул. Під Голоском
Д28	49°51'07.5"N 24°01'26.5"E	проспект В'ячеслава Чорновола
Д29	49°51'26.2"N 24°01'19.4"E	проспект В'ячеслава Чорновола
Д30	49°50'09.5"N 24°04'05.6"E	вул. Личаківська
А5	49°48'55.2"N 23°58'13.3"E	Скнилівський парк
Б5	49°48'56.5"N 23°58'39.5"E	парк імені Івана Виговського

Аналізували непостійний шум, який оцінювали за еквівалентним рівнем звуку ($L_{\text{екв.}}$, дБА). Вимірювання здійснювали за допомогою шумоміра Flus MT-901A (Китай), використовуючи стандартну методику [20] за відсутності атмосферних опадів і швидкості вітру менше за 5 м/с, на відстані 0,5 м від особи, яка здійснює заміри, і висоті 1,5 м від земної поверхні. На ділянках Д1–Д30 рівень шуму вимірювали в робочі дні тижня впродовж трьох часових періодів (9.00–10.00, 15.00–16.00 і 17.00–18.00 год.), реєструючи покази шумоміра кожні 30 хв, і результати усереднювали. На ділянках А1–А5 і Б1–Б5 рівень шуму вимірювали впродовж періоду (9.00–10.00 год.); покази шумоміра реєстрували кожні 30 хв.

Отримані результати опрацьовували, використовуючи методи варіаційної статистики [21] за допомогою програми Microsoft Excel. Під час опрацювання даних результати вимірювань рівня шуму на ділянках А1–А5 і Б1–Б5 порівнювали з даними, отриманими на ділянках Д11 і Д12 на вул. Виговського. Результати вимірювання рівня шуму на ділянках групи 2 порівнювали з результатами, отриманими на ділянках групи 1, а результати, отримані під час досліджень на ділянках підгрупи $I_{\text{брук.}}$, порівнювали з результатами, отриманими на ділянках підгрупи $I_{\text{асф.}}$. Крім того, результати дослідження рівня шуму на ділянках Д1–Д30 порівнювали з нормативним значенням, яке становить 55 дБА для житлової зони в денний період [22].

РЕЗУЛЬТАТИ

На рисунку 1 показані середні значення показників еквівалентного рівня звуку ($L_{\text{екв.}}$) на ділянках Д1–Д30, вибраних на проспектах і вулицях м. Львова. Як видно з отриманих результатів, більшість досліджуваних ділянок характеризується високим рівнем акустичного шуму. Зокрема, значення $L_{\text{екв.}}$ на аналізованих ділянках є в межах 62,0–81,3 дБА, а середнє значення цього показника становить $73,30 \pm 5,21$ дБА (табл. 2).

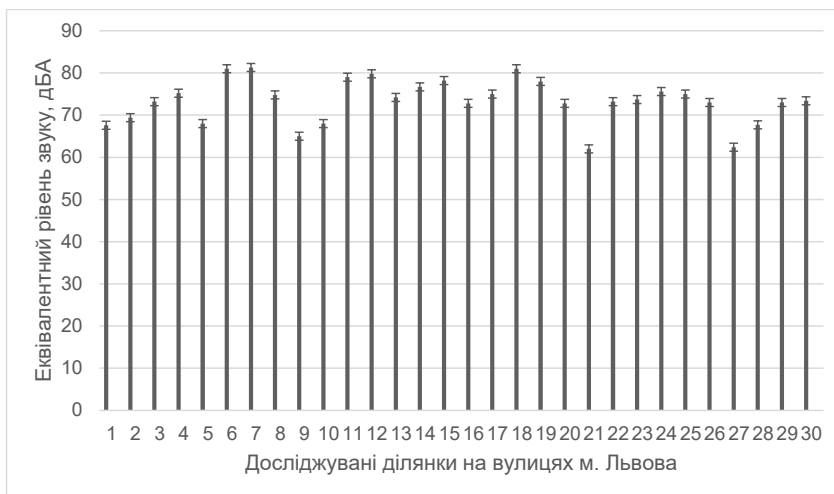


Рис. 1. Показники еквівалентного рівня звуку ($L_{\text{екв.}}$) на досліджуваних ділянках Д1–Д30, вибраних на вулицях м. Львова

Найбільший рівень шуму виявлено поблизу перехресть, місць сполучення вулиць і регульованих пішохідних переходів. Зокрема, з проаналізованих у цьому дослідженні ділянок, у верхньому квартилі щодо значень $L_{\text{екв}}$, розташовані ділянки Д6 (вул. Городоцька, поблизу сполучення з вул. Чернівецькою), Д7 (вул. Любінська, поблизу перехрестя з вул. Виговського), Д12 (вул. Виговського, поблизу сполучення з вул. Скнилівською), Д14 (вул. Кульпарківська, у місці сполучення з вул. Городоцькою), Д15 (поблизу кільця вулиць Кульпарківська – Володимира Великого – Виговського), Д18 (вул. Стрийська, поблизу перехрестя з вул. Івана Франка) і Д19 (вул. Івана Франка, поблизу сполучення з вул. Уласа Самчука). Проте високий рівень шуму виявляється й на окремих ділянках із рівномірним двостороннім транспортним рухом, зокрема на ділянках Д4 (вул. Городоцька), Д11 (вул. Виговського), Д24 (вул. Князя Романа) та інших (рис. 1). У цьому контексті потрібно зазначити, що на рівень акустичного шуму істотно впливає склад транспортного потоку (зокрема, чисельність вантажних автомобілів), а також тип і стан дорожнього покриття [1, 4, 5].

Для детальнішої характеристики рівня акустичного забруднення порівнювали рівень шуму на ділянках, згрупованих за характером автотранспортного руху. Виявлено, що на ділянках групи 1 еквівалентний рівень звуку становить 62,0–79,0 дБА, а середнє значення $L_{\text{екв}}$ становить $70,75 \pm 5,03$ дБА (табл. 2). На ділянках групи 2 показник $L_{\text{екв}}$ є в межах 69,40–81,30 дБА, а середнє значення $L_{\text{екв}}$ досягає $76,19 \pm 3,75$ дБА (табл. 2).

Згідно з результатами досліджень, еквівалентний рівень звуку на ділянках групи 2 вірогідно перевищує значення показника $L_{\text{екв}}$ на ділянках групи 1 на 5,46 дБА ($p < 0,05$). Такі результати узгоджуються з даними щодо підвищення рівня акустичного шуму під час гальмування та прискорення руху автотранспортних засобів [10, 12].

З наукових джерел відомо, що тип дорожнього покриття істотно впливає на рівень акустичного забруднення довкілля [2, 14]. У нашій роботі проведено дослідження рівня акустичного шуму на ділянках вулиць з асфальтовим покриттям і тих, що вимощені бруківкою. Виявлено, що показник $L_{\text{екв}}$ на вулицях, вкритих бруківкою (ділянки підгрупи 1_{брук.}), у середньому на 4,37 дБА більший, ніж на вулицях з асфальтовим покриттям (ділянки підгрупи 1_{асф.}) (табл. 3). Отримані результати свідчать, що шумове забруднення загалом виявляє динаміку до збільшення на вулицях з бруківковим покриттям, яке характерне для центральної частини м. Львова.

Таблиця 2

**Статистичні параметри показників еквівалентного рівня звуку ($L_{\text{екв}}$)
на досліджуваних ділянках м. Львова**

Досліджувані параметри	Усі ділянки, n = 30	Ділянки групи 1, n = 16	Ділянки групи 2, n = 14
Середнє арифметичне, дБА	73,30	70,75	76,21*
Стандартне відхилення	5,21	5,03	3,75
Мінімальне значення, дБА	62,0	62,0	69,40
Максимальне значення, дБА	81,30	79,0	81,30
Коефіцієнт варіації, %	7,10	7,11	4,92
Медіана, дБА	73,55	72,40	75,85
Квартилі, дБА	Q1 --> 69,40 Q2 --> 73,55 Q3 --> 76,70		
Середнє геометричне, дБА	73,12	70,58	76,13

* – вірогідність різниці у значеннях показника $L_{\text{екв}}$ між ділянками групи 1 і групи 2 ($p < 0,05$).

Показники еквівалентного рівня звуку ($L_{Аекв.}$) на ділянках вулиць з різним типом дорожнього покриття ($M \pm m, n = 7$)

$L_{Аекв.}$ на ділянках вулиць з асфальтобетонним покриттям, дБА	$L_{Аекв.}$ на ділянках вулиць, вимощених бруківкою, дБА
67,87±5,39	72,24±2,97

Порівняння отриманих результатів із нормативним значенням рівня шуму в навколишньому середовищі (55 дБА) [22] свідчить, що фактично на всіх досліджуваних ділянках рівень шуму перевищує допустиме значення. Зокрема, рівень шуму на ділянках групи 1 перевищує рекомендований показник на 12,7–43,6%, а на ділянках групи 2 – на 26,2–47,8%. Варто зауважити, що в багатьох випадках поблизу досліджуваних ділянок на території міста розташовані житлові й громадські будівлі та споруди. Перевищення рекомендованих показників рівня шуму погіршує умови середовища проживання населення, спричиняє дискомфорт і роздратування, погіршення стану здоров'я [8, 10–12]. Також потрібно враховувати, що адаптація людей до акустичного шуму неможлива. Тому актуальним є здійснення заходів, скерованих на зниження шумового забруднення атмосфери, зокрема, в густонаселених містах, до яких належить м. Львів.

У низці праць встановлено здатність рослинності зменшувати рівень акустичного шуму завдяки формуванню фізичного бар'єра на шляху поширення звукових хвиль від джерела шуму [15, 16]. Однак рівень ослаблення шуму за наявності зелених насаджень детально не з'ясований. У нашій роботі проведено дослідження залежності між шириною смуги зелених насаджень і показником $L_{Аекв.}$ на ділянках, вибраних у міських парках на територіях, суміжних із вул. Виговського, яка, як зазначено вище, характеризується значним рівнем шуму внаслідок транспортного навантаження. Отримані результати показані на рисунках 2 і 3.

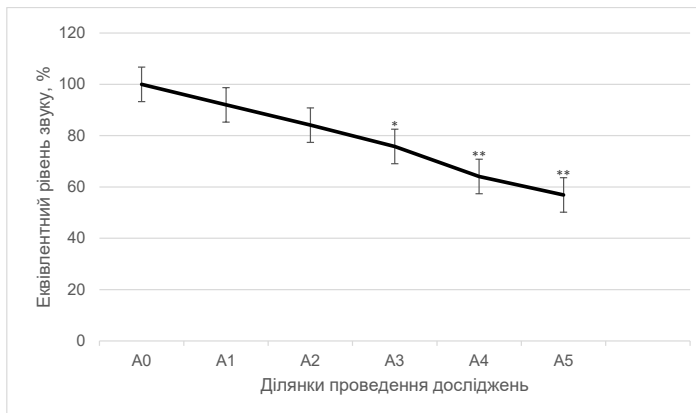


Рис. 2. Відносні значення еквівалентного рівня звуку ($L_{Аекв.}$) на ділянках Скнилівського парку залежно від віддалі від джерела шуму

Примітки: 1) позначення A0 відповідає значенню $L_{Аекв.}$ на ділянці Д11, яке вважали 100%; 2) *, ** – вірогідність різниці у значеннях показника $L_{Аекв.}$ між ділянками A3–A5 порівняно з ділянкою A0 (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$).

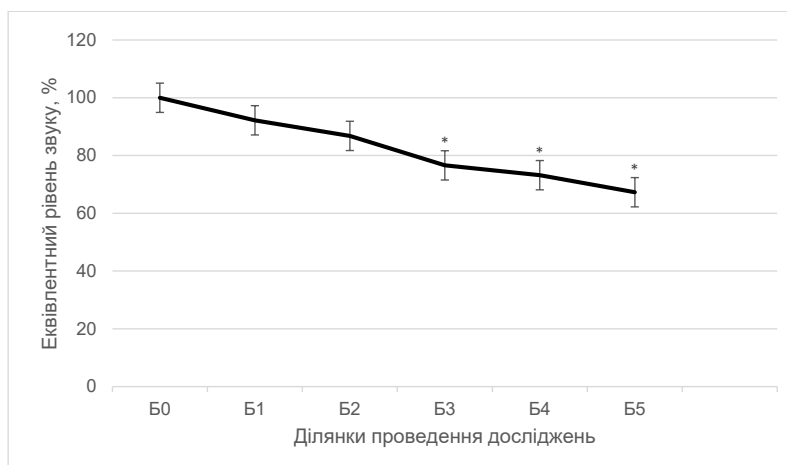


Рис. 3. Відносні значення еквівалентного рівня звуку (L_{Aeq}) на ділянках парку імені Івана Виговського залежно від віддалі від джерела шуму

Примітки: 1) позначення Б0 відповідає значенню L_{Aeq} на ділянці Д12, яке вважали 100%; 2) * – вірогідність різниці у значеннях показника L_{Aeq} між ділянками Б3–Б5 порівняно з ділянкою Б0 ($p < 0,05$).

Результати досліджень свідчать, що значення показника L_{Aeq} в обох парках поступово зменшується зі збільшенням віддалі від проїзної частини вул. Виговського (рис. 2, 3). На віддалі 50 м від джерела шуму показник L_{Aeq} у Скнилівському парку та в парку імені Івана Виговського зменшується на 24,2% і 23,4% відповідно ($p < 0,05$) порівняно з ділянками, вибраними поблизу проїзної частини вул. Виговського, а на віддалі 100 м цей показник зменшується на 35,9% ($p < 0,01$) і 27,8% ($p < 0,05$) відповідно. Найбільший рівень приглушення транспортного шуму в обох парках виявляється на віддалі 200 м від проїзної частини вулиці, а саме: на 43,15% і 32,7% ($p < 0,05–0,01$) на ділянках А5 і Б5 відповідно. На ділянці А5 показник L_{Aeq} становить $47,3 \pm 3,25$ дБА і майже досягає значення, рекомендованого Державними санітарними нормами для місць відпочинку населення (45 дБА) [23]. На ділянці Б5 показник L_{Aeq} становить $53,5 \pm 5,37$ дБА. Більший рівень ослаблення шуму на ділянках Скнилівського парку можна пояснити тим, що, на відміну від парку імені Івана Виговського, цей парк містить значну кількість чагарникових рослин [24]. Чагарникові рослини поглинають, розсіюють та відбивають звукові хвилі на низькій віддалі від земної поверхні, доповнюючи ефект деревних рослин щодо зменшення акустичного шуму.

З отриманих результатів випливає, що влаштування парків і скверів, висаджування дерев і кущів вздовж міських вулиць і проспектів сприяє зменшенню акустичного навантаження, створюваного рухом автомобільного транспорту. Зменшення шумового забруднення є однією з екосистемних послуг, які виконують зелені насадження в містах. Отже, розширення розмірів зелених зон можна розглядати як природно-орієнтоване рішення для поліпшення якості навколишнього середовища й екологічного стану атмосфери на території урбоекосистем.

ВИСНОВКИ

У процесі досліджень встановлено високий рівень акустичного навантаження, зумовленого рухом автотранспорту, на вулицях м. Львова. Зокрема, підвищений рівень шуму виявлено на ділянках поблизу перехресть та місць сполучення двох і трьох вулиць, де еквівалентний рівень звуку перевищує показники, характерні для ділянок із рівномірним рухом транспорту ($p < 0,05$), і є більшим за нормативне значення на 26,2–47,8%. На вулицях, вимощених бруківкою, показник $L_{Аекв}$ виявляє динаміку до підвищення порівняно з таким на вулицях, вкритих асфальтовим покриттям. Еквівалентний рівень звуку зменшується на 23,4–35,9% ($p < 0,05$ – $0,01$) на ділянках міських парків, віддалених на 50–200 м від джерела шуму, яким є автомобільний рух. Оскільки зменшення шумового забруднення є однією з екосистемних послуг, які виконують зелені насадження, розширення розмірів зелених зон можна рекомендувати як природно-орієнтоване рішення для поліпшення якості навколишнього середовища й екологічного стану атмосфери в урбоекосистемах.

У перспективі заплановані дослідження, скеровані на детальне з'ясування впливу типу дорожнього полотна на рівень акустичного шуму та підбір видів рослин, які найефективніше зменшують рівень шумового забруднення атмосфери.

ЛІТЕРАТУРА

1. Решетченко А. І. Дослідження впливу автотранспортних потоків на акустичне середовище урболандшафтів. *Комунальне господарство міст*. 2018. Вип. 7. С. 180–183.
2. Day A., Bryant D. Brake noise, vibration, and harshness. In: *Braking of Road Vehicles*. Second Edition. Elsevier Inc., 2022. P. 323–389.
3. Pascale A., Guarnaccia C., Macedo E., Fernandes P., Miranda A.I., Sargento S., Coelho M.C. Road traffic noise monitoring in a smart city: sensor and model-based approach. *Transportation Research Part D*. 2023. Vol. 125. 103979. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103979.
4. Masino J., Pinay J., Reischl M., Gauterin F. Road surface prediction from acoustical measurements in the tire cavity using support vector machine. *Applied Acoustics*. 2017. Vol. 125. P. 41–48. DOI: 10.1016/j.apacoust.2017.03.018.
5. Sandberg U. Road traffic noise—The influence of the road surface and its characterization. *Applied Acoustics*. 1987. Vol. 21. No. 2. P. 97–118. DOI: 10.1016/0003-682X(87)90004-1.
6. Li X., Li Y., Guo W., Zhang Y. Effects of ambient noise isolation on illness severity and mental health among hospitalized children with asthma: retrospective study. *Noise and Health*. 2024. Vol. 26. No. 121. P. 128–135. DOI: 10.4103/nah.nah_22_24.
7. Liu Y., Gu D., Zhao H., Yu R. Influence of different noise types on hearing function in patients treated for mild otitis media. *Noise and Health*. 2024. Vol. 26. No. 121. P. 231–234. DOI: 10.4103/nah.nah_6_24.
8. Zhang X., Zhou S. Building a city with low noise pollution: exploring the mental health effect thresholds of spatiotemporal environmental noise exposure and urban planning solution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2024. Vol. 20. No. 5. 4222. DOI: 10.3390/ijerph20054222.
9. Zou N., Wang H., Huang Z., Wang Q. Assessment of noise exposure and risk of hearing loss for young people in amusement arcades. *Noise and Health*. 2024. Vol. 26. No. 122. P. 338–345. DOI: 10.4103/nah.nah_59_23.
10. Beutel M.E., Jünger C., Klein E.M., Wild P., Lackner K., Blettner M., Binder H., Michal M., Wiltink J., Brähler E., Münzel T. Noise annoyance is associated with depression and anxiety in the general population—the contribution of aircraft noise. *PLoS One*. 2016. Vol. 11. No. 5. e0155357. DOI: 10.1371/journal.pone.0155357.

11. Daiber A., Krölller-Schön S., Frenis K., Oelze M., Kalinovic S., Vujacic-Mirski K., Kuntic M., Bayo Jimenez M.T., Helmstädter J., Steven S., Korac B., Münzel T. Environmental noise induces the release of stress hormones and inflammatory signaling molecules leading to oxidative stress and vascular dysfunction—Signatures of the internal exposome. *Biofactors*. 2019. Vol. 45. No. 4. P. 495–506. DOI: 10.1002/biof.1506.
12. Hammer M.S., Swinburn T.K., Neitzel R.L. EHP – environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response. *Environmental Health Perspectives*. 2014. Vol. 122 No. 2. P. 115–119. DOI: 10.1289/ehp.1307272.
13. Szopińska K., Balawejder M., Warchoł A. National legal regulations and location of noise barriers along the Polish highway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2022. Vol. 109. 103359. DOI: 10.1016/j.trd.2022.103359.
14. Kalel N., Bhatt B., Darpe A., Bijwe J. Suppression of brake noise and vibration using aramid and zylon fibers: experimental and numerical study. *ACS Omega*. 2022. Vol. 7. No. 25. P. 21946–21960. DOI: 10.1021/acsomega.2c02313.
15. Ayaz M., Arshad-Nauman M. Traffic noise abatement through tree and shrub vegetation. *Pakistan Journal of Forestry*. 1998. Vol. 48. No. 1–4. P. 1–11.
16. Samara T., Tsitsoni T. The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. *Noise Control Engineering Journal*. 2011. Vol. 59. No. 1. P. 68–74. DOI: 10.3397/1.3528970.
17. Поліщук О., Лесів М., Антоняк Г. Вплив транспортного навантаження на акумуляцію металів у рослинах на території м. Львова. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2020. Вип. 82. С. 101–109. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.08.
18. Polishchuk A.I., Antonyak H.L. Dynamics of foliar concentrations of photosynthetic pigments in woody and herbaceous plant species in the territory of an industrial city. *Biologichni Studii / Studia Biologica*. 2022. Vol. 16. No. 2. P. 29–40. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/sbi.1602.684>.
19. Поліщук О. І., Жигаль Н. Б., Антоняк Г. Л. Динаміка концентрації хлорофілу в листках деревних рослин на території міста Львова. *Acta Carpathica*. 2023. Вип. 1. С. 34–44. DOI: 10.32782/2450-8640.2023.1.4.
20. ДСТУ-Н Б В.1.1.-35:2013. Настанова з розрахунку рівнів шуму в приміщеннях і на територіях. Київ : Мінрегіон України, 2014. 58 с.
21. Welham S.J., Gezan S.A., Clark S.J., Mead A. *Statistical Methods in Biology. Design and Analysis of Experiments and Regression*. Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 568 p. DOI: 10.1201/b17336.
22. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014.
23. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 22.02.2019 № 463 «Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови». Київ, 2019.
24. Шукель І. В., Карпін Н. І., Гордійчук А. В. Особливості формування підліскового ярусу у Скнилівському парку Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.5. С. 67–71.

REFERENCES

1. Reshetchenko, A.I. (2018). Doslidzhennya vplyvu avtotransportnykh potokiv na akustychne seredovyshche urbolandshaftiv [Study of the impact of traffic flows on the acoustic environment of urban landscapes]. *Komunal'ne hospodarstvo mist*. 7. P. 180–183 [in Ukrainian].
2. Day, A., & Bryant, D. Brake noise, vibration, and harshness. In: *Braking of Road Vehicles*. Second Edition. Elsevier Inc., 2022. P. 323–389.

3. Pascale, A., Guarnaccia, C., Macedo, E., Fernandes, P., Miranda, A.I., Sargento, S., & Coelho, M.C. (2023). Road traffic noise monitoring in a smart city: sensor and model-based approach. *Transportation Research Part D*. 125. 103979. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103979.
4. Masino, J., Pinay, J., Reischl, M., & Gauterin, F. (2017). Road surface prediction from acoustical measurements in the tire cavity using support vector machine. *Applied Acoustics*. 125. P. 41–48. DOI: 10.1016/j.apacoust.2017.03.018.
5. Sandberg, U. (1987). Road traffic noise – The influence of the road surface and its characterization. *Applied Acoustics*. 21 (2). P. 97–118. DOI: 10.1016/0003-682X(87)90004-1.
6. Li, X., Li, Y., Guo, W., & Zhang, Y. (2024). Effects of ambient noise isolation on illness severity and mental health among hospitalized children with asthma: retrospective study. *Noise and Health*. 26 (121). P. 128–135. DOI: 10.4103/nah.nah_22_24.
7. Liu, Y., Gu, D., Zhao, H., & Yu, R. (2024). Influence of different noise types on hearing function in patients treated for mild otitis media. *Noise and Health*. 26 (121). P. 231–234. DOI: 10.4103/nah.nah_6_24.
8. Zhang, X., & Zhou, S. (2024). Building a city with low noise pollution: exploring the mental health effect thresholds of spatiotemporal environmental noise exposure and urban planning solution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20 (5). 4222. DOI: 10.3390/ijerph20054222
9. Zou, N., Wang, H., Huang, Z., & Wang, Q. (2024). Assessment of noise exposure and risk of hearing loss for young people in amusement arcades. *Noise and Health*. 26 (122). P. 338–345. DOI: 10.4103/nah.nah_59_23.
10. Beutel, M.E., Jünger, C., Klein, E.M., Wild, P., Lackner, K., Blettner, M., Binder, H., Michal, M., Wiltink, J., Brähler, E., & Münzel, T. (2016). Noise annoyance is associated with depression and anxiety in the general population– the contribution of aircraft noise. *PLoS One*. 11 (5). e0155357. DOI: 10.1371/journal.pone.0155357.
11. Daiber, A., Kröller-Schön, S., Frenis, K., Oelze, M., Kalinovic, S., Vujacic-Mirski, K., Kuntic, M., Bayo Jimenez, M.T., Helmstädter, J., Steven, S., Korac, B., & Münzel, T. (2019). Environmental noise induces the release of stress hormones and inflammatory signaling molecules leading to oxidative stress and vascular dysfunction—Signatures of the internal exposome. *Biofactors*. 45 (4). P. 495–506. DOI: 10.1002/biof.1506.
12. Hammer, M.S., Swinburn, T.K., & Neitzel, R.L. (2014). EHP—environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response. *Environmental Health Perspectives*. 122 (2). P. 115–119. DOI: 10.1289/ehp.1307272.
13. Szopińska, K., Balawejder, M., & Warchoł, A. (2022). National legal regulations and location of noise barriers along the Polish highway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 109. 103359. DOI: 10.1016/j.trd.2022.103359
14. Kalel, N., Bhatt, B., Darpe, A., & Bijwe, J. (2022). Suppression of brake noise and vibration using aramid and zylon fibers: experimental and numerical study. *ACS Omega*. 7 (25). 21946–21960. DOI: 10.1021/acsomega.2c02313.
15. Ayaz, M., & Arshad-Nauman, M. (1998). Traffic noise abatement through tree and shrub vegetation. *Pakistan Journal of Forestry*. 48 (1–4). P. 1–11.
16. Samara, T., & Tsitsoni, T. (2011). The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. *Noise Control Engineering Journal*. 59 (1). P. 68–74. DOI: 10.3397/1.3528970.
17. Polishchuk, O., Lesiv, M., & Antonyak, H. (2020). Vplyv transportnoho navantazhennya na akumulyatsiyu metaliv u rosllynakh na terytoriyi m. L'vova [Impact of vehicular traffic on the accumulation of metals by plants in the territory of Lviv]. *Visnyk L'vivskoho Universytetu. Seriya biolohichna.* 82. P. 101–109. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.08. [in Ukrainian].
18. Polishchuk, A.I., & Antonyak, H.L. (2022). Dynamics of foliar concentrations of photosynthetic pigments in woody and herbaceous plant species in the territory of an industrial city. *Biologichni Studii / Studia Biologica*. 16 (2). P. 29–40. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/sbi.1602.684>
19. Polishchuk O.I., Zhyhal' N.B., Antonyak H.L. (2023). Dynamika kontsentratsiyi khlorofilu v lystkakh derevnykh rosllyn na terytoriyi mista L'vova [Dynamics of chlorophyll concentration

- in the leaves of woody plants in the territory of the city of Lviv]. *Acta Carpathica*. 1. P. 34–44. DOI: 10.32782/2450-8640.2023.1.4 [in Ukrainian].
20. DSTU-N B V.1.1.-35:2013. Nastanova z rozrakhunku rivniv shumu v prymishchennyakh i na terytoriyakh [Guidelines for calculating noise levels in premises and territories]. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2014. 58 p.
 21. Welham S.J., Gezan S.A., Clark S.J., Mead A. (2015). *Statistical Methods in Biology. Design and Analysis of Experiments and Regression*. Taylor & Francis Group, LLC, 568 p. DOI: 10.1201/b17336.
 22. DBN V.1.1-31:2013. Zakhyst terytoriy, budynkiv i sporud vid shumu [Protection of territories, buildings and structures from noise]. Kyiv: Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrainy, 2014.
 23. Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy vid 22.02.2019 N 463 "Pro zatverdzhennya Derzhavnykh sanitarnykh norm dopustymykh rivniv shumu v prymishchennyakh zhytlovykh ta hromads'kykh budynkiv i na terytoriyi zhytlovoyi zabudovy" [On approval of State sanitary standards for permissible noise levels in the premises of residential and public buildings and in residential areas]. Kyiv, 2019.
 24. Shukel' I.V., Karpyn N.I., Hordiychuk A.V. (2012). Osoblyvosti formuvannya pidliskovoho yarusu u Sknylivs'komu parku L'vova [Peculiarities of the formation of the undergrowth layer in Sknylivskyi Park of Lviv]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy*. 22.5. P. 67–71 [in Ukrainian].

ABSTRACT

ACOUSTIC POLLUTION OF THE ATMOSPHERE ON THE STREETS OF THE CITY OF LVIV AND THE INFLUENCE OF GREEN SPACES ON THE LEVEL OF NOISE CAUSED BY VEHICULAR TRAFFIC

Acoustic noise is a common type of physical air pollution that worsens the quality of the environment in cities. The aim of this study was to determine the level of noise load on the streets of the city of Lviv and the influence of green spaces on the indices of acoustic noise caused by motor transport. Forty sites were selected for the study: 30 sites (S1–S30) were chosen on avenues and streets of the city with intensive traffic and 10 sites (A1–A5 and B1–B5) were on the territory of Sknylivsky Park and Ivan Vyhovsky Park, respectively, neighboring Vyhovsky Street. Sites A1 and B1, A2 and B2, A3 and B3, A4 and B4, A5 and B5 were located at a distance of 10 m, 20 m, 50 m, 100 m and 200 m from the roadway, respectively. Sites S1–S30 were divided into two groups: group-1 included sites with uniform traffic, and group-2 included sites located near intersections and junctions of streets. Among the sites of group-1, two subgroups were chosen, namely subgroup-1c covering sites on streets paved with cobblestones, and subgroup-1a, which included sites on streets covered with asphalt concrete mix. Non-constant noise was analyzed, assessed by the equivalent sound level (L_{Aeq} , dBA). Measurements were made during working days of the week using a Flus MT-901A noise-meter, according to the standard technique. The results were processed using variation statistics methods.

The research has established that the L_{Aeq} value on the analyzed sites S1–S30 was 73.30 ± 5.21 dBA and exceeded the value specified by regulatory documents. The equivalent sound level on sites of group-2 exceeded the L_{Aeq} value on sites of group-1 by 5.46 dBA ($p < 0.05$). On streets paved with cobblestones, the L_{Aeq} value showed an upward trend compared to that on streets with asphalt concrete pavement. The equivalent sound level in parks decreased by 23.4–35.9 % ($p < 0.05–0.01$) on sites located 50–200 m from the noise source (vehicle traffic). Since the reduction of noise pollution is one of the ecosystem services provided by green spaces in cities, the expansion of the size of green zones can be recommended as a nature-oriented solution for improving the quality of the environment and the ecological state of the atmosphere in the territory of urban ecosystems.

Key words: acoustic noise, air pollution, motor transport, ecosystem services, green spaces, urban ecosystem.

UDC 581.55:58.02

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2024.2.6>

Svitlana Voloshanska,

PhD (Biological), Associate Professor at the Department of Biology and Chemistry
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine
orcid.org/0000-0003-4589-6376, Scopus Author ID: 56257714000,
e-mail: s.voloshanska@dspu.edu.ua

Viktor Senkiv,

PhD (Technical), Associate Professor at the Department of Medical and Biological Disciplines,
Geography and Ecology
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine
orcid.org/0000-0003-2873-2599, e-mail: v_senkiv@ukr.net

Inesa Drozd,

PhD (Agricultural), Head of Laboratories of the Department of Biology and Chemistry
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine
orcid.org/0000-0003-0994-2777, e-mail: inessadr@ukr.net

Iryna Parashchak,

Student
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine,
e-mail: iryna.parashchak@dspu.edu.ua

MEADOW PHYTOCOENOSES OF THE BYSTRYTSIA TYSMENYTSKA FLOODPLAIN UNDER THE CONDITIONS OF SECONDARY SUCCESSION

Abstract. The article analyzes the state of meadow phytocenoses of the Bystrytsia Tysmenytska floodplain after pyrogenic load. Among the anthropogenic impacts in this area, pyrogenic changes resulted from burning hayfields and pastures, and the need to destroy ruderal and adventitious species. Such anthropogenic influence led to the formation of a secondary succession.

Biodiversity studies of the Bystrytsia Tysmenytska floodplain started in 2021 and continued in 2022–2024. The route method was used to collect field data. The ecological and landscape differentiation of the vegetation cover was studied using the environmental series method, based on the establishment of ecological profiles. In the floodplain valley of the river, 3 ecological profiles have been established. Higher plant determinants have been used to determine the names of vascular species. Five plots were established in the zone of anthropogenic (pyrogenic) influence to determine the species composition of the vegetation. The generally accepted methodology was used for the geobotanical descriptions. The Brown-Blanke method was used for syntaxonomic analysis. Plant abundance was determined using the Drude method.

Bystrytsia Tysmenytska belongs to the group of small rivers of the Dniester basin and is characterized by large areas of floodplain meadows, originates in the eastern part of the Upper Dniester Beskydy and has a length of 73 km. In the floodplain areas of the river, the most common are meadow soils on alluvial deposits and sod-middle podzolic sandy and sandy loam, which affect the development of phytobiota.

In the studied areas, representatives of the families Asteraceae and Rosaceae were most often encountered, plants of the families Lamiaceae, Poaceae, Fabaceae were less numerous,

representatives of the families Caprifoliaceae, Apiaceae, Ranunculaceae, Equisetaceae, Euphorbiaceae, Plantaginaceae rarely grew. Among the identified species, the following were common and numerous in the study area: *Achillea millefolium*, *Elymus repens*, *Cirsium arvense*, *Equisetum arvense*, *Ranunculus acris*, *Vicia cracca*, *Daucus carota*, *Carduus nutans*, *Mentha longifolia*, which usually did not have a dominant role in phytocenoses, were much less common. Separate fragments of *Agrimonia eupatoria*, *Tanacetum vulgare* L., *Rubus caesius*, *Potentilla anserina* occurred.

The secondary succession of the meadow biocenosis in the floodplain of the Bystrytsia-Tysmenytsia river, which was formed as a result of the pyrogenic load, is characterized by rapid processes of phytobiota restoration, primarily by groups of medicinal plants.

Key words: floodplain, biodiversity, phytocenosis, secondary succession, anthropogenic load.

INTRODUCTION

Among the environmental factors actively affecting biogeocenoses, anthropogenic pressure plays a leading role in modern conditions, transforming natural ecosystems and reducing flora and fauna species richness. In recent decades, more and more attention has been paid to the study of the problems of anthropogenic load on the small river floodplains. This is due not only to the need to implement an overall environmental strategy for the use of water resources, but also to the awareness of the role of small water bodies in the functioning of medium and large rivers. Because of climate change, the problem of preserving small rivers and their coastal areas has become a major issue worldwide [6].

Unique natural conditions and the type of phytobiota formation characterize river floodplains. Floodplains indirectly determine the nature of the population's livelihoods in riverside villages and cities, and their vegetation cover has ecosystem and habitat-forming significance for the urbanized environment. However, at the same time, economic activity has a reciprocal impact on the floodplain phytobiota and riverbed processes. Significant anthropogenic impact on floodplain ecosystems leads to various disturbances in their functioning. As a result, the typical floristic composition of the phytobiota is changing, the transformation of the natural ecological and cenotic structure of vegetation is observed, and its habitat-forming role is decreasing [2, 3].

It is well known that floodplains are formed in the process of erosion-accumulative activity of rivers. It is one of the factors regulating the flow of high waters. They are covered with a specific soil and vegetation cover, have their own biological resources, are an important element of nature sensitive to natural hydroclimatic changes and to anthropogenic actions [4].

The floodplains are characterized by a rich phytocenotic diversity. Floodplain vegetation performs a specific function, especially in areas of rivers within human settlements. First and foremost, it secures river banks, which prevents (to a certain extent) erosion during floods, improves air quality, reduces the destructive power of wind, and ensures the preservation of the natural environment and biological diversity. It is also of great economic importance: as a fodder base for livestock, as a source of medicinal and flowering plant species, as a habitat for birds and animals, and in recent years it has been increasingly used for recreational purposes. Thus, the functions of floodplain vegetation are very diverse, ranging from economic to aesthetic, recreational, and resource conservation [1].

The main component of floodplain ecosystems is meadow vegetation, which includes a significant species diversity. The meadow type of vegetation is the second most represented

in the natural vegetation cover of Ukraine and occupies about 9 million hectares. In recent years, the area under grass ecosystems has been increasing due to a decrease in arable land. Therefore, it is likely that the area of floodplain meadows will also increase, primarily due to the conversion of arable land in floodplains to natural areas [7].

Most small river floodplains are characterized by synanthropic influence. This leads to qualitative and quantitative changes in the composition of vegetation, and loss of flora's distinctive features. Among anthropogenic influences, pyrogenic changes are most often detected. They are the result of burning hayfields and pastures, the need to destroy ruderal and adventitious species.

Literature sources indicate that fires occur in the floodplains of many rivers. However, in different regions, this is carried out starting with the winter and ending with the summer season and every 1–4 years [3]. Regulated burning prevents the penetration and further growth of ruderal species of *Artemisietea vulgaris* and *Stellarietea media* in meadow phytocoenoses. In particular, such weeds as *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Onopordum acanthium* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Consolida regalis* S. F. Gray, *Solidago virgaurea* L., *Phalacrologium annuum* (L.) Dumort., *Artemisia absintium* L., *A. vulgaris* L., seedlings of trees and shrubs, etc. cannot withstand fire. Frequent or late scorching leads to the replacement of groups of true and wet meadows of the orders *Arrhenethalia elatioris*, *Molinietalia* with the stepped-beam cenoses *Galietales veri* (*Molinio-Arrhenatheretea*) and the grouping of the classes *Artemisietea vulgaris*, *Koelerio-Corynephoretea* [5].

Another example of pyrogenic succession is the succession in agricultural fields after they are no longer cultivated. Studies show that the succession dynamics and the emergence of certain species are determined by the type of land use: meadow, pasture, fields of cultivated plants. A study of the naturalness of species in abandoned meadows in Hungary showed that the dominance of competitors in the vegetation cover of abandoned pastures and meadows increased, while the dominance of ruderal species in meadows increased and decreased in pastures. The presence of stress-resistant species in the vegetation cover decreased in meadows and doubled in pastures. As for changes in the species diversity of abandoned cropland, several studies have shown that overall species diversity increased during the succession period and at the site scale studied, and then stabilized. In contrast to previous observations, early studies of succession showed that species diversity was highest in the first year after cessation of use, and then significantly decreased over the next 3 years of the study or had an overall downward trend, nonlinear change, and did not have a clear trend as the succession progressed. The succession of abandoned land was initially strongly influenced by the date of abandonment, the type of the last crop grown before abandonment and its weediness, the previous history of the landscape, groundwater availability, and organic carbon content [8–15].

Examples of combining the effects of agricultural use and fires were also investigated. In the foothills of North Carolina, abandoned fields underwent secondary succession. Studies have shown that in the first year after the land was abandoned, grasses and horsetails dominated the land. In the second year, aster became the main plant in the fields. In the third year, bentgrass became the dominant plant until it was replaced by young pines. Then the main trees in this area were large trees, hardwoods. Periodic disturbances, fires every 5–7 years, helped to preserve young pines and stop the complete dominance of deciduous trees [9–10].

Secondary succession plays an important role in preserving biodiversity and maintaining the stability of ecosystems. Restoring natural communities after a disturbance helps provide ecosystem services such as air and water purification, soil fertility support, and providing

habitat for a variety of species. Biodiversity is a key element of ecosystem stability, as it provides resilience to changes and stressors. Secondary succession helps restore lost biodiversity and ensure the long-term sustainability of natural communities.

MATERIALS AND METHODS

Biodiversity studies of the Bystrytsia Tysmenytska river floodplain were initiated in 2021 and took place during 2022–2024. Field data was collected by the route method. Ecological and landscape differentiation of the vegetation cover was studied by the method of ecological series, which is based on the laying of ecological profiles. 3 ecological profiles were laid in the floodplain valley of the river.

The names of vascular species were established according to the determinants of higher plants. Geobotanical descriptions were performed according to the generally accepted methodology. To determine the species composition of vegetation, 5 sites were laid in the zone of anthropogenic (pyrogenic) influence. Syntaxonomic analysis was performed using the Brown-Blanke method. The abundance of plants was determined by the Drude method.

RESULTS

Among the natural phytosystems of the southwestern part of the Lviv region, the floodplains of small rivers are the least studied and practically not protected. They are marked by peculiar natural-historical and ecological-landscape conditions, play a leading role in the migration of organisms and the maintenance of biological and coenotic diversity, have an important phyto-resource value. Over the past century, the floodplain vegetation of the region has been significantly affected by drainage reclamation, groundwater abstraction, inefficient use of natural resources, etc.

Bystrytsia Tysmenytska belongs to the group of small rivers of the Dniester basin and is characterized by large areas of floodplain meadows. Bystrytsia Tysmenytska flows within the Sambir and Drohobych districts of the Lviv region and is the right tributary of the Dniester (the Black Sea basin). The river originates in the eastern part of the Upper Dniester Beskydy and has a length of 73 km. The area of the water intake basin is 1160 km², the floodplain is 100–300 m wide. The depth of the river is from 0.5 to 2.5 m, the river is winding 10–50 m wide. It is mainly rain-fed, the water regime is unstable, and spring floods and rain floods are common. Novoshitska HPP, 4 dams and several ponds were built on the river. The Bystrytsia Tysmenytska river is used for technical needs, fishing, recreation.

In the floodplain areas of the study, the most common are meadow soils on alluvial deposits, sod-middle podzolic sandy and sandy soils on water-glacial deposits. Meadow soils are formed under grassy vegetation in conditions of constant flooding with groundwater, so their profile is accumulative. These soils are dark gray, light loamy, powdery coarse, humous to a depth of 50 cm. They occupy significant areas in the study zone. Sod-middle podzolic sandy, sandy loam soils on water-glacial deposits are common in a large area of research. They have a humus-eluvial horizon (20–25 cm), below which lies a structureless, yellowish-gray sand (up to 25 cm). The illuvial horizon is composed of gray, grayish-yellow sand with a thickness of up to 30–35 cm.

As a result of the research, it was found that the plant groups of the Bystrytsia Tysmenytska floodplain are dominated by species characterized by meso-hygrophytic plasticity.

Heliophytes are present in equal proportions in all cenoflora in the range of 40–60%. In the biomorphological structure, the predominance of hemicryptophytes is observed. Analysis of cenoflora by type of life forms showed that herbaceous polycarpic plants are dominant. The ratio of woody plants to herbaceous plants is 1:15. In the phytobiota of the floodplains, meadow-bog, meadow-shrub, ruderal groups are common.

As a result of our observations, we investigated the secondary meadow floodplain succession on the banks of the Bystrytsia Tysmenytska River.

In modern conditions, an invasive species – *Heracleum sosnowskyi* – has settled among the widespread vegetation on the banks of the river and in its floodplains. In order to neutralize this species and for safety reasons, residents of the village of Dolishnii Luzhok burned dead wood in this area (autumn 2021). As a result, conditions were created on the river banks for the formation of secondary succession. Over the past two or three years, meadow vegetation has restored in the riverbank area, as well as shrubs and trees, and new species have appeared. Among the species diversity, a significant number of herbaceous plants are observed. The most common species are:

Family Rosaceae: *Malus sylvestris*, *Pyrus pyraster*, *Prunus spinosa*, *Rubus caesius*, *Rosa canina*, *Agrimonia eupatoria*, *Potentilla anserina*.

Family Lamiaceae: *Origanum vulgare*, *Mentha longifolia*, *Urtica dioica*, *Leonurus cardiaca*, *Prunella vulgaris*.

Family Asteraceae: *Eupatorium cannabinum*, *Tanacetum vulgare*, *Cirsium arvense*, *Cichorium intybus*, *Gnaphalium uliginosum*, *Achillea millefolium*, *Carduus nutans*, *Senecio ovatus*, *Leontodon autumnalis*.

Family Apiaceae: *Heracleum sosnowskyi*, *Daucus carota*, *Aegopodium podagraria*.

Family Poaceae: *Avena fatua*, *Elymus repens*, *Agrostis capillaris*.

Family Fabaceae: *Trifolium pratense*, *Vicia cracca*, *Lathyrus pratensis*.

Family Euphorbiaceae: *Euphorbia cyparissias*.

Family Equisetaceae: *Equisetum arvense*.

Family Plantaginaceae: *Plantago major*.

Family Ranunculaceae: *Ranunculus acris*.

Family Caprifoliaceae: *Dipsacus fullonum*.

In general, representatives of the families Asteraceae and Rosaceae are most often represented in the study areas, among which there are both wooden and herbaceous forms. Plants of the family Lamiaceae, Poaceae, Fabaceae are less numerous. Representatives of the families Caprifoliaceae, Apiaceae, Ranunculaceae, Equisetaceae, Euphorbiaceae, Plantaginaceae are rare.

76 species of plants belonging to 18 families were found in the study area.

Thus, the study area is characterized by a significant variety of floral forms and species, which are represented in the vast majority of herbaceous plants, as well as shrub and tree species.

The species identified by us are characterized by different abundance of growth. Common and numerous in the research area are: *Achillea millefolium*, *Elymus repens*, *Cirsium arvense*, *Equisetum arvense*, *Ranunculus acris*, *Vicia cracca*, *Daucus carota*, *Carduus nutans*, *Mentha longifolia*, which usually do not have a dominant role in phytocenoses, were much less common. Separate fragments of *Agrimonia eupatoria*, *Tanacetum vulgare* L., *Rubus caesius*, *Potentilla anserina* occur. Species grow sporadically on trial plots. In general, the resource potential of these plants is low.

As a result of studies, a significant uneven distribution of these species was recorded (see Table 1).

Table 1

**The abundance of the most common species of floodplain meadows
of Bystrytsia-Tysmenytska**

Species	Abundance				
	Area No. 1	Area No.2	Area No. 3	Area No. 4	Area No. 5
<i>Origanum vulgare</i>	Cop ³	Cop ²	Cop ¹	Cop ²	Cop ³
<i>Achillea millefolium</i>	Sol	Sol	Sp	Sp	Sp
<i>Elymus repens</i>	Cop ³	Cop ³	Sol	Sol	Sol
<i>Cirsium arvense</i>	Sol	Cop ¹	Cop ¹	Sp	Sp
<i>Agrimonia eupatoria</i>	Sp	–	–	–	–
<i>Potentilla anserina</i>	Sp	–	–	–	Cop ¹
<i>Gnaphalium uliginosum</i>	Sp	Sp	Sp	Sp	–
<i>Ranunculus acris</i>	Sol	–	–	–	–
<i>Rubus caesius</i>	–	Sp	–	–	–
<i>Equisetum arvense</i>	–	Cop ¹	Cop ¹	Cop ¹	Sp
<i>Vicia cracca</i>	–	–	Sp	–	–
<i>Carduus nutans</i>	–	–	Sol	–	–
<i>Daucus carota</i>	–	–	Sol	–	–
<i>Mentha longifolia</i>	–	–	–	Cop ¹	Cop ¹
<i>Trifolium pratense</i>	–	–	–	Cop ¹	Cop ¹
<i>Tanacetum vulgare L.</i>	–	–	Sol	–	Sol

It was found that the dominant species in the selected areas due to pyrogenic impact is *Origanum vulgare* L. It easily colonizes open areas, attracts bees and other pollinating insects, which contributes to the restoration of vegetation cover, providing conditions for the development of other plant species.

Thus, the secondary succession of meadow biocenosis in the floodplain of the Bystrytsia-Tysmenytska River showed signs of rapid recovery after the devastating impact.

CONCLUSIONS

Human economic activity significantly affects nature and landscape, destroying and changing them, which leads to an increased anthropogenic load.

Anthropogenic successions play an important role in the dynamics of the meadow vegetation of the Bystrytsia Tysmenytska river floodplain. The river floodplain of Bystrytsia Tysmenytska after pyrogenic loading is characterized by the ability to recover quickly and the peculiarity of the phytobiota formation. The study of the biocenotic features within the floodplain areas will make it possible to monitor the meadows and establish the degree of their conservation, species richness and diversity in the future.

BIBLIOGRAPHY

1. Балашов Л. С., Соломаха С. А. Класифікація екосистем заплавних лук України. *Український фітоценологічний збірник*. Київ, 2005. Вип. 1. (23) С. 108–114.
2. Козир М. С. Динаміка рослинного покриву заплавних луків р. Сейм. *Актуальні проблеми ботаніки та екології* : Міжнар. конф. мол. учених. Кам'янець-Подільський, 13–18 серпня 2008 р. Київ, 2008. С. 157–158.

3. Козир М. С. Антропогенні зміни рослинності заплави річки Сейм. *Екосистеми, їх оптимізація і охорона*. 2014. Вип. 10. С. 46–51.
4. Козак Ю. В. Еколого-ценотична диференціація заплавної рослинності м. Луцька. Біологічні системи. 2017. Т. 9. Вип. 1. С. 108–114.
5. Кузярін О. Т. Прируслова деревно-чагарникова рослинність в басейні Західного Бугу. *Наук. зап. Держ. природозн. музею*. Львів, 2011. Вип. 27. С. 109–118.
6. Малиновський А. К. Сукцесії рослинності в річкових долинах Українських Карпат. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. біол.* 2002. 29. С. 77–85.
7. Antoniadou C., Voultsiadou E., Chintiroglou C. C. Succession and Colonization. *Encyclopedia of Ecology*. 2019. 369–378. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10594-9>.
8. Hubbell S.P. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. 2001. Princeton, NJ: Princeton University Press.
9. Jutila H.M. Vascular plant species richness in grazed and ungrazed coastal meadows, SW Finland. *Ann. Bot. Fennici*. 1997. 34. 245–263.
10. Kull K., Zobel M. High species richness in an Estonian wooded meadow. *J. Veg. Sci.* 1991. 2. 711–714.
11. Luoto M., Pykala J., Kuussaari M. Decline of landscape-scale habitat and species diversity after the end of cattle grazing. *J. Nat. Conserv.* 2003. 11. 171–178.
12. Proulx M., Mazumder A. Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs. nutrient-rich ecosystems. *Ecology*. 1998. 79. 2581–2592.
13. Szirmai O., Czóbel S. Long term scale changes of land use in peasant farming of the Tardona Hills. *Cereal Res. Commun.* 2006. 34. 837–840.
14. Yassir I., van der Kamp J., Buurman P. Secondary succession after fire in Imperata grasslands of East Kalimantan, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2010. 137 (1–2). 172–182.
15. Young T. P., Petersen D. A. *et al.* The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters*. 2005. 8. 662–673.

REFERENCES

1. Balashov, L.S., & Solomakha, S.A. (2005). Klyasyfikatsiia ekosystem zaplavnyykh luk Ukrainy [Classification of floodplain meadows ecosystems of Ukraine]. *Ukrainskyi fitotsenolohichnyi zbirnyk – Ukrainian Phytocenological Collection*, Kyiv, Issue 1 (23). P. 108–114 [in Ukrainian].
2. Kozyr, M.S. (2008). Dynamika roslynnoho pokryvu zaplavnyykh lukiv r. Seim [Dynamics of vegetation cover of the Seim River floodplain meadows]. *Aktualni problemy botaniky ta ekolohii: Mizhnar. konf. mol. uchenykh [Current problems of botany and ecology: International conference of young scientists]*. Kamianets-Podilskyi, August 13–18, Kyiv, 2008. P. 157–158 [in Ukrainian].
3. Kozyr, M.S. (2014). Antropohenni zminy roslynnosti zaplavy richky Seim [Anthropogenic changes in the floodplain vegetation of the Seim River]. *Ekosystemy, yikh optymizatsiia i okhorona – Ecosystems, their optimization and protection*, Issue 10. P. 46–51.
4. Kozak, Yu.V. (2017). Ekoloho-tsenotychna dyferentsiatsiia zaplavnoi roslynnosti m. Lutska [Ecological and coenotic differentiation of the floodplain vegetation within the city of Lutsk]. *Biolohichni systemy – Biological systems*, Vol. 9, Issue 1. P. 108–114 [in Ukrainian].
5. Kuziarin, O.T. (2011). Pryruslova derevno-chaharnykova roslynnist v baseini Zakhidnoho Buhu [Riparian tree and shrub vegetation in the Western Bug basin]. *Наук. зап. Держ. природозн. музею – Proceedings of the State Natural History Museum*. Lviv, Issue 27. P. 109–118 [in Ukrainian].
6. Malynovskyi, A.K. (2002). Suktsesii roslynnosti v richkovykh dolynakh Ukrainykh Karpat [Vegetation successions in the river valleys of the Ukrainian Carpathians] *Visnyk Lviv. un-tu. Ser. biol. – Visnyk of Lviv un-ty, Biological series*. 29. P. 77–85 [in Ukrainian].
7. Antoniadou, C., Voultsiadou, E., & Chintiroglou, C.C. (2019). Succession and Colonization. *Encyclopedia of Ecology*, 369–378. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10594-9>.

8. Hubbell, S.P. (2001). The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton, NJ: Princeton University Press.
9. Jutila, H.M. (1997). Vascular plant species richness in grazed and ungrazed coastal meadows, SW Finland. *Ann. Bot. Fennici*, 34, 245–263.
10. Kull, K., & Zobel, M. (1991). High species richness in an Estonian wooded meadow. *J. Veg. Sci.* 2, 711–714.
11. Luoto, M., Pykala, J., & Kuussaari, M. (2003). Decline of landscape-scale habitat and species diversity after the end of cattle grazing. *J. Nat. Conserv.* 11, 171–178.
12. Proulx, M., & Mazumder, A. (1998). Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs. nutrient-rich ecosystems. *Ecology*, 79, 2581–2592.
13. Szirmai, O., & Czóbel, S. (2006). Long term scale changes of land use in peasant farming of the Tardona Hills. *Cereal Res. Commun.* 34, 837–840.
14. Yassir, I., van der Kamp, J., & Buurman, P. (2010). Secondary succession after fire in Imperata grasslands of East Kalimantan, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137 (1–2), 172–182.
15. Young, T.P., & Petersen, D.A. *et al.* (2005). The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters*, 8, 662–673.

АНОТАЦІЯ

ЛУЧНІ ФІТОЦЕНОЗИ ЗАПЛАВИ БИСТРИЦІ ТИСМЕНИЦЬКОЇ В УМОВАХ ВТОРИННОЇ СУКЦЕСІЇ

У статті проаналізовано стан лучних фітоценозів заплави Бистриці Тисменицької після пірогенного навантаження. Серед антропогенних впливів на даній території пірогенні зміни були результатом випалювання сінокосів і пасовищ, потребою знищення рудеральних та адвентивних видів. Такий антропогенний вплив зумовив формування вторинної сукцесії.

Дослідження біорізноманіття заплави річки Бистриці Тисменицької були започатковані у 2021 році й проводились упродовж 2022–2024 рр. Збір польових даних здійснювали маршрутним методом. Еколого-ландшафтну диференціацію рослинного покриву досліджували методом екологічних рядів, що ґрунтується на закладці екологічних профілів. Було закладено 3 екологічні профілі в заплавної долині річки. Назви судинних видів встановлювали за визначниками вищих рослин. Для визначення видового складу рослинності, рясності видів було закладено 5 ділянок у зоні антропогенного (пірогенного) впливу. Геоботанічні описи виконували за загальноприйнятою методикою. Синтаксономічний аналіз здійснювали за методом Браун-Бланке. Рясність рослин визначали за методикою Друде.

Бистриця Тисменицька належить до групи малих річок Дністровського басейну й характеризується значними площами заплавних лук, бере свій початок у східній частині Верхньодністровських Бескидів і має протяжність 73 км. На заплавних територіях річки найбільш поширеними є ґрунти лучні на алювіальних відкладах і дерново-середньопідзолисті піщані та супіщані, які впливають на розвиток фітобіоти.

На досліджуваних площах найчастіше траплялися представники родин *Asteraceae* та *Rosaceae*, менш чисельно представлені рослини родини *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, рідко зростали представники родин *Caprifoliaceae*, *Apiaceae*, *Ranunculaceae*, *Equisetaceae*, *Euphorbiaceae*, *Plantaginaceae*. Серед визначених видів поширеними й чисельними на території досліджень були: *Achillea millefolium*, *Elymus repens*, *Cirsium arvense*, *Equisetum arvense*. Значно рідше зустрічались *Ranunculus acris*, *Vicia cracca*, *Daucus carota*, *Carduus nutans*, *Mentha longifolia*, які зазвичай у фітоценозах не мали домінуючої ролі. Окремими фрагментами траплялися *Agrimonia eupatoria*, *Tanacetum vulgare* L., *Rubus caesius*, *Potentilla anserina*.

Отже, вторинна сукцесія лучного біоценозу в заплаві річки Бистриця Тисменицька, що сформувалася внаслідок пірогенного навантаження, характеризується швидкими процесами відновлення фітобіоти, зокрема угрупованнями лікарських рослин.

Ключові слова: заплава, біорізноманіття, фітоценоз, вторинна сукцесія, антропогенне навантаження.

УДК (574.5+592) (477.8)

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2024.2.7>

Анжеліка Алімівна Силаєва,

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
Інститут гідробіології Національної академії наук України, Україна
orcid.org/0000-0002-0204-2007, e-mail: asylaieva-ihb@ukr.net

Олександр Іванович Цибульський,

кандидат біологічних наук, провідний біолог
Ботанічний сад імені академіка О. В. Фоміна
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Україна
orcid.org/0000-0001-9881-3824, e-mail: acybula@ukr.net

Олександр Євгенович Усов,

кандидат біологічних наук, провідний інженер
Інститут гідробіології Національної академії наук України, Україна
orcid.org/0000-0003-1437-3230, e-mail: alex_lake2007@ukr.net

Ярослав Олександрович Ковган,

аспірант
Державний заклад «Державна екологічна академія
післядипломної освіти та управління», Україна
orcid.org/0009-0000-7691-7833, e-mail: kovhan.ya@gmail.com

Микола Васильович Герасименко,

аспірант
Державний заклад «Державна екологічна академія
післядипломної освіти та управління», Україна
orcid.org/0009-0009-9991-1106, e-mail: n.herasimenko@gmail.com

ПОПЕРЕДНІ ДАНІ ПРО ТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД БЕЗХРЕБЕТНИХ СТРУМКІВ ПОЛОНИНИ РУНА (УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)

Анотація. Наведено попередні результати обстеження безхребетних декількох струмків Полонини Руна (Українські Карпати). Дослідження даних струмків проведено вперше в червні 2024 р. В аналізі не вирізняли окремо біотопічні угруповання бентосу й перифітону / епіфітону. Для визначення й аналізу видового багатства та різноманітності в обрахунок включали всі таксони на найнижчому рівні визначення (НІТ – найнижчий ідентифікований таксон). Для попередньої оцінки якості середовища використали індекси ЕРТ (кількість НІТ Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) і PhFI (Phytophilous Fauna Index).

Визначено 95 таксонів різного систематичного рангу із 17 таксогруп. Найбільшою кількістю НІТ характеризувалися Chironomidae (27). Безхребетні мають перевагу до мешкання на водних рослинах, до біотопів із течією, струмків, відмічені також політопічні види. Багато представлених представників род. Orthocladiinae (Chironomidae). Ідентифікація знаходження в досліджених струмках червононогого моллюска р. *Marstoniopsis* (Gastropoda, Pectinibranchia, Vithuniidae) також потребує додаткового уточнення. Широко представлені личинки Diptera (Limoniidae, Pediciidae, Psychodidae, Empididae, Athericidae, Thaumaleidae тощо).

Таксономічна різноманітність була досить високою, на більшості станцій індекс Шеннона був вищим за три, вона визначалась обома факторами: великою кількістю таксогруп і відносно рівномірним розподілом кількості НІТ у таксогрупах. Розподіл НІТ у струмках був досить специфічним. Кластерний аналіз показав низьку подібність таксономічного складу безхребетних обстежених станцій.

Якість середовища більшості станцій за індексами ЕРТ і PhFI можна оцінити категорією «чиста» (II клас «чисті» води).

За результатами обстеження видів, які перебувають під загрозою зникнення й потребують охорони, зареєстровано не було. Проте водні безхребетні Полонини Руна до цього дослідження практично не вивчались і ця робота ґрунтується лише на разовому відборі проб у червні 2024 р., робити висновки про стан біорізноманітності та наявність видів, які потребують охорони, зарано, потрібно проведення додаткових досліджень.

Ключові слова: фауна водних безхребетних, струмки, гірський масив Полонина Руна, Українські Карпати.

ВСТУП

Водні об'єкти Українських Карпат, незважаючи на значне багатство й різноманітність тваринного світу, є слабо вивченими, особливо це стосується водотоків гірських ділянок. Струмки на полонині Руна не є винятком, аналіз наукової літератури показав, що лише в одній статті наведено дослідження групового складу водних безхребетних макробентосу джерел поблизу Полонини Рівної [1]. Щодо досліджень окремих груп безхребетних водотоків і водойм полонин, слід відмітити вивчення плавунців (Coleoptera, Dytiscidae) Українських Карпат і Закарпатської низовини [2]. Дослідження макробезхребетних р. Шипот (яка приймає води струмків Воєводин, Прелучний і Звор) показали, що у верхній течії Шипоту основна біомаса макрзообентосу визначалась личинками комах і гамаридами [3]. Кількість видів у кожній з родин Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera коливалася в межах 6–8 видів, причому основу роль в біомасі відігравали личинки веснянок або волохокрильців (за даними 2012 р.).

Натепер на території Карпатських гір посилюється антропогенний вплив, зокрема пов'язаний із розвитком об'єктів альтернативної енергетики (вітро-, сонячна, малі гідроелектростанції). За цих умов населення струмків опиняється під загрозою і потребує ретельного вивчення для запобігання можливим втратам біорізноманітності.

У цьому повідомленні викладено результати проведеного вперше фауністичного дослідження безхребетних водотоків гірського масиву Полонина Руна. На полонині, до зони лісу, протікає біля десятка дрібних струмків, згодом більшість з яких впадає до водотоку Воєводин (притока р. Шипот), менша кількість – до р. Звор і Прелучний (також є притоками р. Шипот). Певна частина струмків на полонині влітку пересихають, мають застій води, лише в лісі вони набувають характеристики постійних водотоків.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження безхребетних деяких ділянок струмків гірського масиву Полонина Руна проводили в червні 2024 р. Обстежено ділянки струмка без назви в межах с. Липовець, струмків, що впадають у р. Звор, струмків, що впадають у струмок Воєводин і Прелучний (табл. 1, у таблиці h – глибина, t – температура). Струмок Воєводин, який починається на висотах майже 1400 м н.р.м. і має довжину на полонині до 2 км, струмки, які є притоками р. Звор і Прелучний менші, починаються недалеко від

зони лісу. Схему розташування станцій наведено на рис. 1. Ширина водотоків становила від 0,2 до 3,0 м, глибина на перекатах – 10–15 см, на плесових ділянках – 35–40 см. Переважаючий тип субстрату – каміння різного розміру, в незначній кількості – валуни, пісок, глина, детрит.

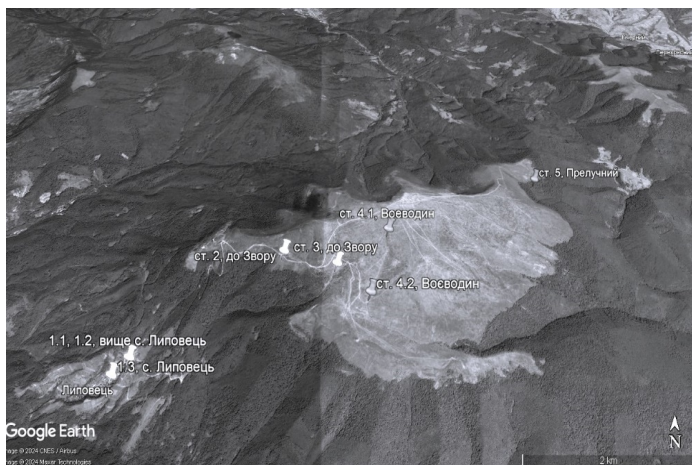


Рис. 1. Схema розташування станцій дослідження безхребетних, червень 2024 р.

Таблиця 1

Характеристика станції відбору проб та умови мешкання безхребетних

№	Стало	Водний об'єкт	Координати	Висота, м нрм	h, м	t, °C	Домінуючий субстрат
1.2	1.1	Струмок, вище с. Липовець	48°46'39.0"N 22°45'28.0"E	680	0,15	15,0	щебінь
1.3	1.2				0,10		мул
1.4	1.3	Струмок, в межах с. Липовець	48°46'31.0"N 22°45'20.0"E	640	0,3	13,0	каміння
1.1	2	Струмок-притока р. Звор	48°47'23.0"N 22°47'04.0"E	1240	0,15	5,0	каміння
3	3		48°47'15.0"N 22°47'42.0"E	1254	0,15	5,0	каміння
2	4.1	Струмок-притока р. Воеводин	48°47'33.0"N 22°48'18.0"E	1375	0,15	5,0	каміння
4	4.2	Струмок, що впадає у р. Воеводин	48°46'59.0"N 22°48'05.0"E	1241	0,15	5,0	галька
5	5	Струмок-притока р. Прелучний	48°48'22.0"N 22°50'21.0"E	1150	0,1	11,0	каміння

Дослідження водних безхребетних проводили за загальноприйнятими гідробіологічними методиками [4], також застосовували відбір за модифікованою європейською схемою відбору проб AQEM [5]. Проби відбирали із занурених твердих субстратів (занурена деревина й каміння), рихлих донних відкладів, водних рослин. Безхребетних із твердих субстратів і водних рослин відбирали за допомогою змиву та шкребка, безхребетних рихлих донних відкладів відбирали за допомогою коробчатого пробовідбірника, застосовували також метод kick and sweep [6]. В аналізі не вирізняли окремо біотопічні угруповання бентосу й перифітону / епіфітону. Проби фіксували спирто-формаліновою сумішшю. У розрахунку не враховували наземних або навколводних безхребетних – тлі, мурахи, лялечки Simuliidae, личинки наземних клопів Gerridae, імаго мух, які випадково потрапили в проби.

Таксономічну різноманітність розраховували за індексом Шеннона (як кількість НІТ у групах [7]), кластерний аналіз проводили з використанням індексу Жаккара. Для визначення й аналізу видового багатства та різноманітності в обрахунок включали всі таксони на найнижчому рівні визначення (НІТ – найнижчий ідентифікований таксон). За допомогою індексів EPT (кількість НІТ Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) і PhFI (Phytophilous Fauna Index) проведено попередню оцінку якості середовища існування безхребетних у досліджених водотоках [8].

РЕЗУЛЬТАТИ

Загальний список безхребетних нараховував 95 НІТ, з них до виду ідентифіковано 36. Визначено 17 таксономічних груп: Chironomidae (27 НІТ), Trichoptera (13), Oligochaeta (12), Diptera (12), Ephemeroptera (9), Plecoptera (6), Coleoptera (5), Gastropoda (2 НІТ), одним таксоном були представлені Amphipoda (*Gammarus balcanicus* Schaferna), Hirudinea (*Helobdella stagnalis* (L.)), Bivalvia (дрібні представники род. Cycladidae), а також до виду не визначали Turbellaria, Nematoda, Ostracoda, Collembola, Lepidoptera, Hydracarinae.

Певна кількість безхребетних має преференції до водної рослинності (наприклад, *Beraea pullata* (Curtis, 1834)). Представники Trichoptera переважно тяжіють до біотопів із течією, струмків (*Plectrocnemia conspersa* Curt. (Polycentropidae), *Ecclisopteryx guttulata* Pictet (Drusinae), *Rhyacophyla philopotodes* McL. (Rhyacophilidae). Відмічені політопічні види, зокрема *Nemurella pictetti* (Klapalek).

Багато представлених представників род. Orthoclaudiinae (Chironomidae), вони характеризувалися дуже різними життєвими преференціями. Так, знайдені представники *Epoicocladus ephemerae* Kieffer (= *flavens*), що мешкають під криловими чохлами *Ephemera vulgata* L., *Metriocnemus fuscipes* (Mg.) мешкає переважно в прибережжі, у вологому моху, *Syndiamesa branickii* Nowicki віддають перевагу саме струмкам. Проте певна кількість екземплярів личинок цього сімейства потребує більш докладної ідентифікації.

Ідентифікація знаходження в досліджених струмках червононогих молюсків р. *Marstoniopsis* (Gastropoda, Pectinibranchia, Vithyniidae) також потребує додаткового уточнення.

Личинки Diptera (без Chironomidae) були представлені декількома родинами, зокрема Limoniidae, Pediciidae, Psychodidae, Empididae, Athericidae, Thaumaleidae, найбільш багато були представлені на ст. 1.3 (у межах селища).

Загальна кількість НІТ на станціях була від 10 (ст. 1.2, замулена ділянка) до 49 НІТ (ст. 1.3), а кількість таксогруп становила 6–15. Таксономічна різноманітність була досить високою, на більшості станцій індекс Шеннона був вищим за три (рис. 2). При цьому вирівненість була досить високою і становила 0,8–0,9, тобто таксономічна різноманітність визначалась обома факторами: великою кількістю таксогруп і відносно рівномірним розподілом кількості НІТ у таксогрупах.

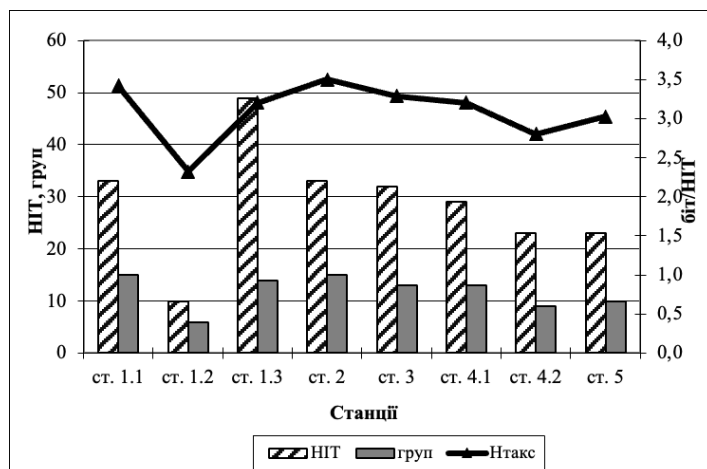


Рис. 2. Таксономічне багатство (кількість НІТ і таксогруп) і різноманітність (індекс Шеннона, біт/НІТ) безхребетних на досліджених станціях

Частотою трапляння понад 50% характеризувалося 21 НІТ, найбільш часто зустрічались *Nematoda* sp., *G. balcanicus*, *Plescoptera* jw. (88%), а 45 НІТ зустрічались лише на одній станції, тобто можна вважати розподіл НІТ досить специфічним. Кластерний аналіз показав низьку подібність таксономічного складу безхребетних обстежених станцій. З найнижчою подібністю (13%) логічно виокремилася ст. 1.2 (відмінний від інших станцій субстрат), найбільша подібність (44%) поєднала ст. 2 і 5, які, проте, локалізовані на певній відстані одна від одної.

Визначити якість водного середовища з використанням компаративного підходу Водної рамкової директиви неможливо, адже референтні характеристики угруповань водних безхребетних для струмків полонин не визначені. Тому зроблено спробу використати наявний матеріал для оцінки якості середовища з використанням індексів ЕРТ і PhFI. Інтерпретувати обчислені біотичні індекси складно, їх аналіз лише дає орієнтовне відносне уявлення про якість водного середовища. Значення біотичного індексу ЕРТ на досліджених станціях коливались у досить значних межах – від 1 до 14. Значення індексу PhFI практично на всіх станціях було константним і дорівнювало 8, що визначалося подібною кількістю таксогруп і наявністю декількох НІТ личинок *Plescoptera*. Виняток становили ст. 1.2 і 1.3, де в першому випадку за значної кількості таксогруп відмічено лише один НІТ *Plescoptera*, у другому – невисока кількість таксогруп і відсутність *Plescoptera* (рис. 3).

Таким чином, на більшості станцій за показником PhFI якість води можна оцінити категорією «чиста» (II клас «чисті» води). До цього ж класу за якістю віднесена ст. 1.2 (категорія «достатньо чисті води»). Найгірші значення (ст. 1.3) відмічені в нетиповому

для струмків біотопі – з переважанням мулових відкладів, якість води оцінена категорією «слабко забруднена», клас III, «забруднені» води. Проте слід зазначити, що невисокі значення індексів пов'язані не стільки з якістю води, а насамперед із характером водотоків на полонині, біотопами. Здебільшого ці струмки мають низькі витрати води, трапляються періодичні застої води, іноді вони пересихають, що не дає змоги підтримувати високу біорізноманітність. Струмок (ст. 1.4) протікає нижче за висотою (640 н.р.м.), є постійним та зі значно вищими витратами води, високим різноманіттям субстратів і тому характеризується найвищими значеннями таксономічного багатства і біотичних індексів.

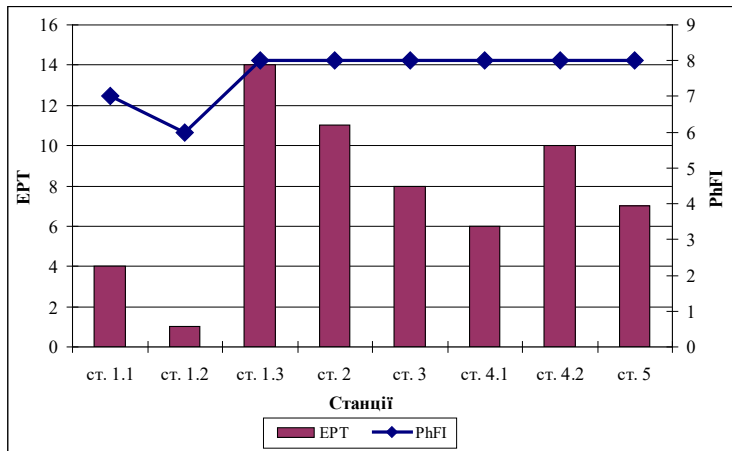


Рис. 3. Значення біотичних індексів EPT та PhFI

Щодо наявності видів, які перебувають під загрозою зникнення й потребують охорони, то за результатами аналізу публікацій і баз даних (Національна мережа інформації з біорізноманіття – <https://ukrbin.com/>, Центр даних біорізноманіття України – <http://dc.smnh.org/>, Червоний список видів, що перебувають під загрозою зникнення, Міжнародного союзу охорони природи – International Union for Conservation of Nature’s Red List of Threatened Species, <https://www.iucnredlist.org/>, Інтегрований інструмент оцінки біорізноманіття – IBAT, <https://www.ibat-alliance.org/>, Ключові райони біорізноманіття – <https://wdkba.keybiodiversityareas.org/>, платформа iNaturalist – <https://www.inaturalist.org/>) відсутня інформація про їх присутність у водотоках полонини Руна. За результатами наших досліджень також їх не було зареєстровано, проте повністю виключати їх присутність не можна, відсутність може бути пов’язана з недостатньою вивченістю водотоків цієї території.

ВИСНОВКИ

Безхребетні обстежених струмків характеризувалися досить високим багатством (95 НІТ, 17 груп). Найбільшою кількістю НІТ характеризувались Chironomidae (27). Кількість НІТ для різних струмків на полонині коливалася в межах від 23 до 33, як найменші, так і найбільші показники багатства відмічені для нижче розташованих водотоків.

Постійний струмок без назви, який перетинає с. Липовець, характеризувався найвищими показниками таксономічного багатства: 14 таксогруп і 49 видів, незважаючи на антропогенний прес (наявність побутового сміття, випас худоби на берегах тощо). Вірогідно, визначальним був вплив висоти (струмок розташований в зоні лісу) і набуття характеристик постійного водотоку, також збільшенню видового багатства сприяє зростання різноманітності субстратів, які забезпечують збільшення кількості екологічних ніш.

Якість середовища більшості станцій за індексами ЕРТ і PhFI можна оцінити категорією «чиста» (II клас «чисті» води).

З огляду на те що водні безхребетні Полонини Руна до цього дослідження практично не вивчалися і ця робота ґрунтується лише на разовому відборі проб у червні 2024 р., робити висновок про стан біорізноманітності та наявність видів, які потребують охорони, зарано, потрібно проведення додаткових досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пляшечник В. І., Ковальчук Н. Є., Ковальчук А. А. Попередні дані по видовому складу бентосу джерел поблизу Полонини Рівної (басейн річки Уж). *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. Біологія*. 2006. Вип. 19. С. 199–201.
2. Метелешко О. Ю. Нові для Українських Карпат і Закарпатської низовини види плавунців (Coleoptera, Dytiscidae). *Наук. зап. Держ. Природ. музею*. Львів, 2002. № 17. С. 121–128.
3. Кружиліна С. В., Діденко О. В., Великопольський І. Й. Кормова база та особливості живлення струмкової, райдужної форелей та харіуса на різних біотопах річки Шипіт закарпатського регіону. *Рибогосп. наука України*. 2016. № 4. С. 76–94. DOI: <https://doi.org/10.15407/fsu2016.04.076>.
4. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка*. Київ : Логос, 2006. 408 с.
5. AQEM consortium. Manual for the application of the AQEM method. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0. 2002.
6. Hering D., Moog O., Sandin L., Verdonschot P. Overview and application of the AQEM assessment system. *Hydrobiologia*. 2004. Vol. 516. P. 1–20.
7. Lyashenko A.V., Protasov A.A. Use of the Indices of Macrozoobenthos Diversity as Indicators of the State of Aquatic Ecosystems. *Hydrobiol. J.* 2003. Vol. 39, No. 2. P. 17–27. DOI: 10.1615/HydrobJ.v39.i4.20/
8. Афанасьєв С. О., Юришинець В. І., Воліков Ю. М., Усов О. Є., Ляшенко А. В. Прикладні програми для обробки гідробіологічних даних. Методичний посібник. Київ, 2019. 28 с.

REFERENCES

1. Plyashechnyk, V.I., Koval'chuk, N.Ye., & Koval'chuk, A.A. (2006). Poperedni dani po vydovomu skladu bentosu dzherel poblyzu Polonyyny Rivnoyi (baseyn richky Uzh) [Preliminary data on the species composition of benthos of springs near Polonyna Rivna (Uzh River basin)]. *Nauk. visn. Uzhhorod. un-tu. Ser. Biolohiya*. Issue 19. P. 199–201 [in Ukrainian].
2. Meteleshko, O.Yu. (2002). Novi dlya Ukrayins'kykh Karpat i Zakarpat's'koyi nyzovynny vydy plavuntsiv (Coleoptera, Dytiscidae) [New species of dipterans (Coleoptera, Dytiscidae) for the Ukrainian Carpathians and Transcarpathian lowland]. *Nauk. zap. Derzh. Pryrod. muzeyu. L'viv*. No. 17. P. 121–128 [in Ukrainian].

3. Kruzhylina, S.V., Didenko, O.V., & Velykopol's'kyy, I.Y. (2016). Kormova baza ta osoblyvosti zhyvlennya strumkovoyi, rayduzhnoyi foreley ta khariusu na riznykh biotopakh richky Shypit zakarpat-s'koho rehionu [Food base and peculiarities of feeding of brook and rainbow trout and grayling in different biotopes of the Shipit River in the Transcarpathian region]. *Rybohosp. nauka Ukrayiny*. No. 4. P. 76–94. DOI: <https://doi.org/10.15407/fsu2016.04.076> [in Ukrainian].
4. Metody hidroekologichnykh doslidzhen' poverkhnevyykh vod (2006) / zared. V.D. Romanenka [Methods of hydroecological studies of surface waters / edited by V.D. Romanenko]. Kyiv: Lohos. 408 p. [in Ukrainian].
5. AQEM consortium. Manual for the application of the AQEM method. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0. (2002).
6. Hering, D., Moog, O., Sandin, L., & Verdonshot P. (2004). Overview and application of the AQEM assessment system. *Hydrobiologia*. Vol. 516. P. 1–20.
7. Lyashenko, A.V., & Protasov, A.A. (2003). Use of the Indices of Macrozoobenthos Diversity as Indicators of the State of Aquatic Ecosystems. *Hydrobiol. J.* Vol. 39, No. 2. P. 17–27. DOI: 10.1615/HydrobJ.v39.i4.20.
8. Afanas'yev, S.O., Yuryshynets', V.I., Volikov, YU.M., Usov, O.Ye., & Lyashenko, A.V. (2019). Prykladni prohramy dlya obrobky hidrobiologichnykh danykh [Application programmes for hydrobiological data processing]. *Metodychnyy posibnyk*. Kyiv. 28 p. [in Ukrainian].

ABSTRACT

PRELIMINARY DATA OF THE INVERTEBRATES TAXONOMICAL COMPOSITION MOUNTAIN VALLEY OF RUNA STREAMS (UKRAINIAN CARPATHIANS)

The preliminary results of the survey of several invertebrate streams of Polonyna Runa (Ukrainian Carpathians) are presented. The study of these streams was conducted for the first time in June 2024. The biotope groups of benthos and periphyton/epiphyton were not distinguished separately in the analysis. When determining and analyzing species richness and diversity, all taxa at the lowest level of definition were included in the calculation (LIT – the lowest identified taxon). EPT (the number of LIT Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) and PhFI (Phytophilous Fauna Index) indices were used for preliminary assessment of the environment quality.

95 LIT of different systematic ranks from 17 taxogroups were identified. The Chironomidae was characterized largest number of LITs (27). Invertebrates have preferences for living on aquatic plants, biotopes with currents, streams, polytopic species are also noted. There are many LITs of Orthocladiinae (Chironomidae) in the streams. The identification of *Marstoniopsis* gastropods (Gastropoda, Pectinibranchia, Bithyniidae) in the studied streams also needs additional clarification. Diptera larvae (Limoniidae, Pediciidae, Psychodidae, Empididae, Athericidae, Thaumaleidae, etc.) are widely represented.

Taxonomic diversity was quite high, at most stations the Shannon index was higher than three, it was determined by both factors: a large number of taxogroups and a relatively even distribution of the number of LITs in taxogroups.

The distribution of LITs in streams was quite specific. Cluster analysis showed low similarity of the taxonomic composition of the examined invertebrate at the studied sampling stations. The quality of the environment of most stations according to the EPT and PhFI indices can be assessed as “clean” category (class II “clean” waters).

According to the survey results, there were no registered species that are in danger of disappearing and need protection. However, the aquatic invertebrates of Polonyna Runa were practically not studied before this study, and this work is based only on a one-time sampling in June 2024, it is too early to draw conclusions about the state of biodiversity and the presence of species that need protection, additional studies are needed.

Key words: invertebrate aquatic fauna, streams, Polonyna Runa mountain massif, Ukrainian Carpathians.

Оксана Миколаївна Лупак,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін, географії та екології

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/ 0000-0002-1969-8643, e-mail: oksana_lupak@dspu.edu.ua

Галина Миколаївна Клепач,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/ 0000-0003-0784-8373, e-mail: h.klepach@ddpu.edu.ua

Галина Ярославівна Ковальчук,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін, географії та екології

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/ 0000-0002-5261-8422, e-mail: h.kovalchuk@dspu.edu.ua

Ірина Євгенівна Копко,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін, географії та екології

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/ 0000-0002-8607-7900, e-mail: kopkoiryna@dspu.edu.ua

ВПЛИВ МІКРОДОБРИВА «АВАТАР-2 ОРГАНІК» НА МОРФОБІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИН *CALENDULA OFFICINALIS* В УМОВАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ УКРАЇНИ

Анотація. Квітки нагідок лікарських (*Calendula officinalis* L.) є цінною лікарською сировиною, дефіцитність якої на світовому та вітчизняному ринку невпинно зростає завдяки збільшеним потребам фармацевтичної промисловості для виробництва лікувальних препаратів натурального походження. Культивування рослин новосинтезованих сортів *C. officinalis* у сприятливих кліматичних зонах країни та поєднанні з покращеними технологіями уможливить отримати збільшені обсяги якісної сировини цієї лікарської рослини.

Досліджено особливості зростання рослин *C. officinalis* сорту Березотіцька сонячна вітчизняної селекції у ґрунтово-кліматичних умовах Передкарпаття за застосування різних норм мікроелементного препарату (МП) «Аватар 2 Органік» і способів обробки насіння та вегетуючих рослин.

Встановлено, що застосування МП для передпосівної обробки насіння *C. officinalis* у нормі 50 і 100 мл/т та дворазового підживлення рослин у фенологічних фазах сходів та бутонізації у нормі 50 та 100 мл/га сприяє збільшенню тривалості вегетаційного періоду, покращує польову схожість насіння та виживаність рослин, а також сприяє збільшенню їхніх морфометричних показників, продуктивності й урожайності суцвіть. З'ясовано, вирощування культури *C. officinalis* в умовах Передкарпаття із застосуванням мікродобрива за норм передпосівної обробки 50, 100 і 150 мл/т насіння й обробки вегетуючих рослин

за норм 50, 100 і 150 мл/га є економічно вигідним. Найвищий чистий прибуток лікарської рослинної сировини *C. officinalis* та рівень рентабельності спостерігається у способі із внесенням мікродобрива у три строки: на стадії передпосівної обробки насіння (за норми витрат препарату 100 мл/т) і дворазового позакореневого підживлення у фазах сходів та бутонізації (за норми витрат 100 мл/га). Обґрунтовано, що застосування МП «Аватар-2 Органік» є одним із резервів збільшення чистого прибутку та рівня рентабельності у виробництві сухої лікарської сировини *C. officinalis*.

Ключові слова: *Calendula officinalis* L., мікроелементний препарат, продуктивність, урожайність, рентабельність, економічна ефективність.

ВСТУП

Квітки нагідок лікарських (*Calendula officinalis* L.) є цінною лікарською сировиною завдяки значному вмісту біологічно активних речовин із широким спектром лікувальних властивостей, що застосовуються в терапії та профілактиці багатьох захворювань [1–3]. В Україні *C. officinalis* вирощують у культурі, здебільшого в південних регіонах. Зважаючи на значну потребу в сировині цієї рослини, актуальною проблемою є розробка заходів, що забезпечать збільшення заготівлі суцвіть календули. Тому важливо вибрати високоврожайний сорт рослини та підібрати найбільш ефективні агротехнології, спрямовані на зниження собівартості вирощування, підвищення урожайності та якості сировини [4]. Насіння сорту *C. officinalis* Березотіцька сонячна, виведеного селекціонерами Дослідної станції лікарських рослин ІАП НААН, доцільно висівати на великих площах.

До числа ефективних агротехнічних заходів можна віднести застосування біологічних препаратів (регуляторів росту рослин), мікродобрив і наночастинок [5–9].

Для сприятливого впливу на ріст, розвиток і урожайність рослин рекомендовані малі концентрації мікродобрив. За внесення мікродобрив в організмі рослин активуються процеси, що сприяють підвищенню імунного захисту, стресостійкості до різних екофакторів, посилюється фотосинтез, енергетичний обмін, дихання та ін. [10–13]. Для вирощування сільськогосподарських культур досить ефективним є екологічно безпечний мікроелементний препарат (МП) «Аватар-2 Органік», до складу якого входять 20 мікро– та ультрамікроелементів у біологічно доступній формі сполук, синтезованих унікальним методом нанотехнологій [14]. Аналіз впливу МП на ріст і розвиток рослин, морфобіологічні показники та продуктивність рослин *Calendula officinalis*, культивованих у ґрунтово-кліматичних умовах Передкарпаття, є актуальним.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Нагідки лікарські сорту Березотіцька сонячна вирощували за внесення МП «Аватар-2 Органік» у 2023 р. на дерново-підзолистих середньо суглинкових ґрунтах зони Передкарпаття України (навчально-дослідна ділянка Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка).

Польовий дослід закладали за такою схемою (табл. 1):

Схема закладання польового досліджу

Варіанти досліджу			
Назва варіанта	Передпосівна обробка насіння, мл/т	Норми і строки позакореневого підживлення рослин	
		у фазі сходів, мл/га	у фазі бутонізації, мл/га
К – контроль (без застосування мікродобрива)	–	–	–
V1	50	–	–
V2	100	–	–
V3	200	–	–
V4	50	50	–
V5	100	100	–
V6	200	200	–
V7	–	50	50
V8	–	100	100
V9	–	200	200
V10	50	50	50
V11	100	100	100
V12	200	200	200

Передпосівну обробку насіння здійснювали шляхом замочування на 8 годин перед сівбою насіння календули.

Програма досліджень передбачала вивчення впливу норм і строків застосування МП на ріст і розвиток рослин, польову схожість і виживаність рослин, морфометричні показники та формування урожайності суцвіть рослин *C. officinalis* сорту Березотіцька сонячна, а також на показники економічної ефективності. Повтореність триразова.

Облікова площа ділянки становила 10 м². Дослідження виконували відповідно до методики проведення польових дослідів із вивчення основних прийомів вирощування сільськогосподарських культур.

Статистичний аналіз результатів зроблено за допомогою комп'ютерної програми HP_{05} (найменша істотна різниця) та Microsoft Statistica 6.0, розбіжності між вибірками вважали значущими за $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

Важливими показниками, що визначають продукційний процес як культурних, так і лікарських рослин є ріст, розвиток і формування показників продуктивності.

Під час проведення досліджень з'ясовано, що повні сходи *C. officinalis* з'являються на 14–16-ту добу після сівби, при цьому за особливо сприятливих умов – на 10–12-ту добу, а за менш сприятливих – на 12–16-ту добу. До того ж норми та способи застосування МП зумовлюють вплив на тривалість фенологічних фаз рослин нагідок, а також їх ріст і розвиток.

Вегетаційний період рослин *C. officinalis* тривав у межах 93–111 діб. При цьому найменша тривалість вегетаційного періоду (93 доби) спостерігалась у рослин, які зростали на контрольній ділянці. Рослини, вирощені за внесення МП, вирізнялися довшою тривалістю вегетаційного періоду (на 3–18 діб), що зумовило позитивний вплив на ріст і розвиток рослин, їх морфометричні показники й урожайність. Варто зауважити, що найтривалішим вегетаційним періодом (111 діб) загалом і періодом тривалості цвітіння (61 доба) відповідно відзначалися рослини, вирощені за передпосівної обробки насіння з розрахунку 100 мл/т та позакореневого підживлення у фазах сходів та бутонізації за норми витрат МП по 100 мл/га.

Процеси росту й розвитку культивованих рослин, безумовно, залежать від формування густоти стояння рослин. У польових умовах не завжди можна отримати повноцінні сходи від сівби насіння з високою схожістю [15]. Низька польова схожість рослин може свідчити про зрідження й ослаблення сходів. Унаслідок цього знижується продуктивність культури.

Результати проведених досліджень свідчать, що польова схожість насіння рослин *C. officinalis* сорту Березотіцька сонячна становила в середньому від 73 до 80%, а погодні умови й обробка насіння МП вплинули на неї. Виявлено, що вищу польову схожість мали рослини, насіння яких зазнало передпосівної обробки МП «Аватар-2 Органік» за норми витрат 50 мл/т та 100 мл/т (варіанти досліду V1, V2, V4, V5, V10, V11). За результатами проведення передпосівної обробки насіння МП за норми витрат 100 мл/т отримано найвищу польову схожість (79–80%), що на 8,2–9,6% більше порівняно з контрольним варіантом.

Під час вегетації частка рослин гине внаслідок впливу різних чинників, у тому числі від ураження хворобами й шкідниками, дії механічних ушкоджень тощо. Тому важливим показником, який доцільно визначити, є виживаність рослин, тобто кількісне відношення рослин, що збереглися в період їх збору на одиниці площі до рослин, отриманих у фазі повних сходів.

Проаналізовано, що під час вегетаційного періоду виживаність рослин *C. officinalis* становила 81–92% і залежала від норм та способів застосування мікродобрива (табл. 2). Зокрема, за передпосівної обробки насіння за норми витрат мікродобрива 100 мл/т та позакореневого підживлення у фазах сходів та бутонізації за норми витрат 100 мл/га (V11) виживаність була найвищою та на 13,6% більшою порівняно з контрольною ділянкою (81% виживаності рослин). Варто відзначити, що за вегетаційний період у цьому варіанті досліду загинуло лише 4 од./м² рослин, тоді як у контролі – 9 од./м².

Високу виживаність мали рослини також і в інших варіантах досліду, зокрема V2, V5, V10. Незначне покращення виживаності рослин порівняно з контролем спостерігали за норми застосування мікродобрива 200 мл (у варіантах V3, V6, V9, V12), що свідчить про недоцільність застосування такої норми МП «Аватар-2 Органік» під час культивування *C. officinalis* сорту Березотіцька сонячна в умовах Передкарпаття.

Під час вегетації на рослини впливають різні стрес-фактори, що певним чином відображається на їх рості, розвитку, а також продуктивності. За даними досліджень [7; 10–13], завдяки внесенню нанопрепаратів і мікродобрив під час вирощування рослин можна досягти покращення їх стресостійкості до несприятливих умов та підвищення урожайності [15].

Аналіз вивчення впливу різних норм і строків застосування МП дав змогу встановити позитивний вплив на морфометричні показники й урожайність лікарської сировини – суцвіть *C. officinalis* (табл. 3). Зокрема, у рослин різних варіантів досліду спостерігали зростання висоти на 5,4–29,7% порівняно з контролем.

Польова схожість насіння та виживаність рослин *Calendula officinalis* залежно від норм і способів застосування мікродобрива «Аватар-2 Органік»

Варіанти дослідів	Кількість висіяного насіння, од./м ²	Густина сходів (повні сходи), од./м ²	Польова схожість, %	+ до кон-тролю, %	Кількість рослин на 1 м ²		Вжива-ність рослин, %	+ до кон-тролю, %
					Повні сходи, од./м ²	Кінцева густина рослин, од./м ²		
К	66	48	73	–	48	39	81	–
V1	66	50	76	4,1	50	44	88	8,7
V2	66	52	79	8,2	52	46	89	10,0
V3	66	49	74	1,4	49	41	84	3,7
V4	66	51	77	5,5	51	45	88	8,7
V5	66	53	80	9,6	53	48	91	12,4
V6	66	49	74	1,4	49	41	84	3,7
V7	66	48	73	–	48	42	88	8,7
V8	66	48	74	1,4	48	42	88	8,7
V9	66	47	71	–	47	39	83	2,5
V10	66	51	77	5,5	51	46	90	11,1
V11	66	53	80	9,6	53	49	92	13,6
V12	66	48	73	–	48	40	83	2,5

Оскільки лікарською сировиною рослин *C. officinalis* є суцвіття, то їхня кількість на рослині та діаметр є важливим показником, що безпосередньо визначає урожайність сухої сировини нагідок. Визначено, що застосування МП за всіх норм (50 мл, 100 мл і 200 мл) і строків внесення сприяє отриманню більшої кількості суцвіть та їх діаметру. Зокрема, найбільшу кількість суцвіть на одній рослині (20 од.) з діаметром 6,4 см (приріст до контролю становить 33,3% та 30,6% відповідно) фіксували в рослин, культивованих за умов передпосівної обробки насіння з нормою витрат МП 100 мл/т та позакореневого підживлення рослин у фазах сходів і бутонізації за норми витрат по 100 мл/га. Варто відзначити, що найбільшу кількість суцвіть на одній рослині (19 од., приріст до контролю 26,7%) та їх діаметр (6,1 см, приріст до контролю 24,5%) мали рослини, вирощені у варіанті (V10) за обробки насіння МП з нормою витрат 50 мл/т та позакореневого підживлення рослин у фазах сходів і бутонізації за норми витрат 50 мл/га.

З метою отримання високоурожайної якісної продукції сільськогосподарських культур дедалі частіше застосовують нанопрепарати із вмістом мінеральних елементів, мізерні концентрації яких позитивно впливають на процеси росту й розвитку багатьох культур, підвищуючи їх стійкість до несприятливих чинників і урожайність [14]. Застосування наносполук для передпосівної обробки насіння й обробки рослин під час вегетації сприяє покращенню якості посівного матеріалу, підвищенню його захисту до ураження хворобами, що є профілактичним заходом щодо фізіологічної депресії, а також зумовлює зростання урожайності й отримання екологічно безпечної продукції [11–13].

Морфометричні показники рослин *Calendula officinalis* залежно від норм і способів застосування мікродобрива «Аватар-2 Органік»

Варіанти досліджу	Висота рослин, см	+ до конт-ролю, %	Кількість кошиків на одній рослині, од.	+ до конт-ролю, %	Діаметр суцвіть (кошиків) рослин, см	+ до конт-ролю, %
К	37	–	15	–	4,9	–
V1	40	+8,1	16	+6,7	5,2	+6,1
V2	41	+10,8	17	+13,3	5,4	+10,2
V3	39	+5,4	15	–	5,1	+4,1
V4	44	+18,9	18	+20,0	5,8	+18,4
V5	46	+24,3	20	+33,3	6,2	+26,5
V6	41	+10,8	16	+6,7	5,3	+8,2
V7	42	+13,5	17	+13,3	5,9	+20,4
V8	43	+16,2	19	+26,7	6,1	+24,5
V9	42	+13,5	16	+6,7	5,5	+12,3
V10	45	+21,6	19	+26,7	6,1	+24,5
V11	48	+29,7	20	+33,3	6,4	+30,6
V12	42	+8,1	17	+13,3	5,4	+10,2
НІР05	1,3		0,9		0,2	

Проаналізовано вплив застосування МП на урожайність рослин нагідок лікарських (рис. 1). Виявлено, що застосування МП у три строки: за передпосівної обробки насіння в нормі 100 мл/т та дворазового позакореневого підживлення у фазах сходів і бутонізації за норми його витрат по 100 мл/га (дослідний варіант V11) сприяло формуванню найвищої урожайності (11,0 ц/га), що на 29,4% більше порівняно з контролем (8,5 ц/га). Високу урожайність суцвіть отримано і в інших варіантах досліджу, а саме у варіанті (V10) із застосуванням МП для передпосівної обробки насіння за норми витрат 50 мл/т та позакореневого підживлення у фазі сходів і бутонізації за норми витрат по 50 мл/га на 20% більше порівняно з контролем (К) та варіанті (V5) із застосуванням МП у два строки: для передпосівної обробки насіння в нормі 100 мл/т і позакореневого підживлення рослин у фазі сходів за норми витрат 100 мл/га на 23,5% більше порівняно з контролем.

Застосування МП за норми внесення 200 мл/т та 200 мл/га є найменш продуктивним серед інших досліджуваних варіантів, при цьому прибавка урожаю суцвіть знижувалася на 7,1–11,8% порівняно з контролем (рис. 1).

Під час планування вирощування будь-яких культур, особливо у виробничих умовах, важливим питанням є оцінка економічної ефективності й окупності урожаєм застосованих технологічних заходів. Саме завдяки цьому можна повноцінно оцінити рівень прибутковості вибраних технологій загалом і в подальшому давати рекомендації щодо їх впровадження у виробництво.

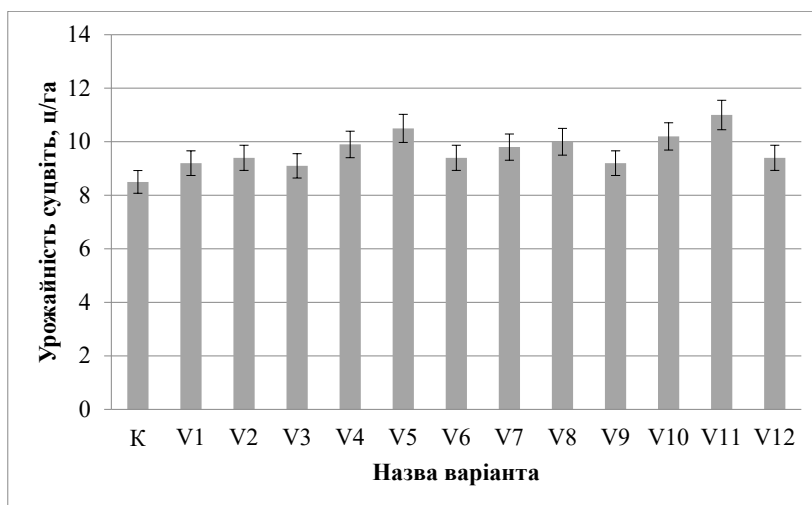


Рис. 1. Урожайність суцвіть *Calendula officinalis* залежно від норм і способів застосування мікродобрива «Аватар-2 Органік»

Таблиця 4

Економічна ефективність вирощування *Calendula officinalis* залежно від норм і способів застосування мікродобрива «Аватар-2 Органік»

Варіанти дослідів	Урожайність, ц/га	Вартість продукції, грн	Виробничі витрати (собівартість) грн	Чистий прибуток, грн	Рівень рентабельності %
K	8,5	85 000,0	63 160,0	21 840,0	34,6
V1	9,2	92 000,0	63 200,0	28 800,0	45,5
V2	9,4	94 000,0	63 240,0	30 760,0	48,6
V3	9,1	91 000,0	63 320,0	27 680,0	43,7
V4	9,9	99 000,0	67 490,0	31 510,0	46,7
V5	10,5	105 000,0	71 730,0	33 270,0	46,9
V6	9,4	94 000,0	68 050,0	25 950,0	38,1
V7	9,8	98 000,0	67 820,0	30 180,0	44,5
V8	10,0	100 000,0	67 980,0	32 020,0	47,1
V9	9,2	92 000,0	64 300,0	27 700,0	43,1
V10	10,2	102 000,0	71 900,0	30 100,0	41,9
V11	11,0	110 000,0	72 140,0	37 860,0	52,5
V12	9,4	94 000,0	64 140,0	29 860,0	46,6

Економічну ефективність застосованих способів під час вирощування рослин *C. officinalis* оцінювали за такими показниками: урожайність продукції, приріст урожаю, вартість продукції, виробничі витрати, чистий прибуток і рівень рентабельності. Виробничі витрати обчислювали, підібравши технологічні заходи вирощування культури *C. officinalis* у досліді з урахуванням елементів застосування МП. Вартість сухої лікарської сировини *C. officinalis* і його прибавку на прибуток обчислювали, виходячи з ринкових цін 2023 р.

Проведені обчислення засвідчили, що внесення МП «Аватар-2 Органік» вплинуло на показники економічної ефективності культивування рослин *C. officinalis* (табл. 4). Зокрема, у контрольному варіанті досліді виробничі витрати становили 63 160,0 грн/га, а за використання МП вони зростали на 820,0–8740,0 грн/га через у зв'язку з вартістю мікродобрива та додатковими витратами на його внесення і збір урожаю суцвіть.

Застосування МП у три строки: за передпосівної обробки насіння в нормі 100 мл/т та дворазового позакореневого підживлення у фазах сходів і бутонізації за норми витрат препарату по 100 мл/га (варіант V11) дало змогу отримати найвищий чистий прибуток, що становив 37 860,0 грн/га. Цей показник був на 16 020 грн/га більшим щодо контролю.

Показники рівня рентабельності свідчать, що вирощування культури *C. officinalis* із застосуванням мікродобрива «Аватар-2 Органік» у всіх варіантах досліді є економічно вигідним (табл. 4).

Аналіз економічної ефективності вирощування лікарської культури *C. officinalis* в умовах Передкарпаття показав, що застосування МП «Аватар-2 Органік» є одним із резервів збільшення чистого прибутку та рівня рентабельності у виробництві сухої лікарської сировини *C. officinalis*.

ВИСНОВКИ

Отже, використання МП «Аватар-2 Органік» у технологіях вирощування *C. officinalis* за передпосівної обробки насіння в нормі 50–100 мл/т та дворазового підживлення рослин у фенологічних фазах сходів і бутонізації у нормі 50–100 мл/га сприяє збільшенню тривалості вегетаційного періоду, покращує польову схожість насіння і виживаність рослин, підвищує морфометричні показники, а отже, підвищує урожайність суцвіть. Найвищий чистий прибуток лікарської рослинної сировини *C. officinalis* та рівень рентабельності отримано із застосуванням мікродобрива в три строки: для передпосівної обробки насіння за норми витрат препарату 100 мл/т та дворазового позакореневого підживлення у фазах сходів і бутонізації за норми витрат по 100 мл/га.

У перспективі плануються дослідження антиоксидантної активності екстрактів суцвіть *C. officinalis* залежно від застосування різних норм і способів внесення мікропрепарату «Аватар-2 Органік» під час культивування рослин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Barut M., Tansi L.S. Elucidating the flower, seed yield and phytochemical variability of marigold (*Calendula officinalis* L.) in response to winter sowing at different harvest inter-vals and dates. *South African Journal of Botany*. 2024. Vol. 166. P. 191–207. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.01.043>.

2. Abdelwahab S.I., Taha M.M.E., Taha S.M.E., Alsayegh A.A. Fifty-year of global research in *Calendula officinalis* L. (1971–2021): a bibliometric study. *Clinical Complementary Medicine and Pharmacology*. 2022. № 2. 100059. <https://doi.org/10.1016/j.ccmp.2022.100059>.
3. Shahane K., Kshirsagar M., Tambe S., Jain D., Rout S., Ferreira M.K.M., Mali S., Amin P., Srivastav P.P., Cruz J. et al. An Updated review on the multifaceted therapeutic potential of *Calendula officinalis* L. *Pharmaceuticals*. 2023. Vol. 16. 611. <https://doi.org/10.3390/ph16040611>.
4. Мельничук Р. В., Богуславський Р. Л. Генетичне різноманіття ознакової колекції роду *Calendula* L. як джерело вихідного матеріалу для селекції. *Генетичні ресурси рослин*. 2013. № 12. С. 41–52.
5. Лупак О., Антоняк Г., Шпек М. Формування продуктивності *Calendula officinalis* L. залежно від внесення стимуляторів росту та ґрунтово-кліматичних умов культивування. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. Львів : Львів. нац. аграр. ун-т. 2016. № 20. С. 60–65. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vlnau_act_2016_20_14.pdf.
6. Batsmanova L., Taran N., Konotop Y., Kalenska S., Novytska N. Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*. 2020. Vol. 21. № 2. P. 311–319. URL: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.2.2414>.
7. Faraz A., Hayat S. Nanoparticles: biosynthesis, translocation and role in plant metabolism. *IET Nanobiotechnol.* 2019. Vol. 13 (4). P. 345–352. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2018.5251>.
8. Хоміна В. Я., Недільська У. І. Урожайність нагідок лікарських залежно від застосування біологічно активних препаратів. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2010. Вип. 18. С. 59–62. URL: <http://188.190.33.56:7980/jspui/handle/123456789/2325>.
9. Клепач Г. М., Лупак О. М., Шпек М. П., Дякунчак М., Ковальчук Г. Я. Вплив передпосівної обробки мікродобривом «Аватар-2 Органік» на лабораторну та польову схожість насіння *Calendula officinalis* L. *Acta Carpathica*. 2022. № 1 (37). С. 27–39. <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.1.2>.
10. Дерев'янко С. В., Васильченко А. В., Каплуненко В. Г., Голоко А., Співак М., Харчук М. Перспективи розробки препаратів для сільського господарства на основі наночастинок. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 10. Вип. 799. С. 44–54. <https://doi.org/20.31073/agrovisnyk201910-07>.
11. Тищенко М. В., Мороз О. В., Смірних В. М., Новоселецький І. Г., Кусков О. Г., Філоненко С. В., Ляшенко В. В. Використання мікроелементного препарату «Аватар» за вирощування ячменю ярого в польовій сівозміні. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 3. С. 32–38. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.03.05>.
12. Капітанська О. С., Прядкіна Г. О., Стасик О. О. Вплив обробки рослин комплексом карбоксилатів мікроелементів на фотосинтетичні показники і урожай озимої пшениці. *Фізіологія рослин і Генетика*. 2017. Т. 49. № 3. С. 248–255. <https://doi.org/10.15407/frg2017.03.248>.
13. Zhao L., Xing B. Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance. *J Agric Food Chem*. 2020. Vol. 68. Iss. 7. P. 1935–1947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615>.
14. Засіб для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур: пат. 91892 Україна: a200810241; заявл. 11.08.2008; опубл.: 10.09.2010, Бюл. № 17. 4 с. URL: <https://uapatents.com/4-91892-zasib-dlya-peredposivno-obrobki-nasinnya-silskogospodarskikh-kultur.html>.
15. Стефанюк В. Й., Балан В. М., Фурса А. В. Продуктивність стеви залежно від застосування мікродобрива «Аватар-2». *Біоенергетика*. 2020. Вип. 2 (16). С. 27–29. URL: <https://doi.org/10.47414/be.2.2020.224998>.

REFERENCES

1. Barut, M., & Tansi, L.S. (2024). Elucidating the flower, seed yield and phytochemical variability of marigold (*Calendula officinalis* L.) in response to winter sowing at different harvest inter-vals and dates. *South African Journal of Botany*. 2024. Vol. 166. P. 191–207. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.01.043>.
2. Abdelwahab, S.I., Taha, M.M.E., Taha, S.M.E., & Alsayegh, A.A. (2022). Fifty-year of global research in *Calendula officinalis* L. (1971–2021): a bibliometric study. *Clinical Complementary Medicine and Pharmacology*. № 2. 100059. <https://doi.org/10.1016/j.ccmp.2022.100059>.
3. Shahane, K., Kshirsagar, M., Tambe, S., Jain, D., Rout, S., Ferreira, M.K.M., Mali, S., Amin, P., Srivastav, P.P., Cruz, J. et al. (2023). An Updated review on the multifaceted therapeutic potential of *Calendula officinalis* L. *Pharmaceuticals*. Vol. 16. 611. <https://doi.org/10.3390/ph16040611>.
4. Melnychuk, R.V., & Bogouslavskyi, R.L. (2013). Henetychne riznomanittia oznakovo kolektsii rodu *Calendula* L. yak dzhherelo vykhidnoho materialu dlia selektsii [Genetic diversity of trait collection of the genus *Calendula* L. as a source of a stock material for breeding]. *Henetychni resursy roslyn – Plant Genetic Resources*. № 12. P. 41–52 [in Ukrainian].
5. Lupak, O., Antonyak, H., & Shpek, M. (2016). Formuvannia produktyvnosti *Calendula officinalis* L. zalezho vid vnesennia stymulatoriv rostu ta gruntovo-klimatychnykh umov kultyvuvannia [Formation of *Calendula officinalis* L. productivity depending on applying growth stimulants and soil and climatic conditions of cultivation]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahronomiia. Bulletin of Lviv National Agrarian University: Agronomy*. Lviv: Lviv National Agrarian University. №. 20. P. 60–65. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vlnau_act_2016_20_14.pdf [in Ukrainian].
6. Batsmanova, L., Taran, N., Konotop, Y., Kalenska, S., & Novytska, N. (2020). Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*. Vol. 21. № 2. P. 311–319. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.2.2414>.
7. Faraz, A., & Hayat, S. (2019). Nanoparticles: biosynthesis, translocation and role in plant metabolism. *IET Nanobiotechnol.* Vol. 13 (4). P. 345–352. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2018.5251>.
8. Khomina, V.Ya., & Nedilska, U.I. (2010). Urozhainist nahidok likarskykh zalezho vid zastosuvannia biolohichno aktyvnykh preparativ [The yield of *Calendula officinalis* L. depends on the use of biologically active drugs]. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnogo ahrarno-tekhnicnoho universytetu – Collection of scientific works of the Podilsk State Agrarian and Technical University*. Vol. 18. P. 59–62. Retrieved from <http://188.190.33.56:7980/jspui/handle/123456789/2325> [in Ukrainian].
9. Klepach, H.M., Lupak, O.M., Shpek, M.P., Diakunchak, M., & Kovalchuk, H.Ya. (2022). Vplyv peredposivnoi obrobky mikrodozvymom “Avatar-2 Orhanik” na laboratornu ta polovu skhozhist nasinnia *Calendula officinalis* L. [Influence of presown cultivation with microfertilizer “Avatar-2 Organic” on laboratory and field seed germination of *Calendula officinalis* L.]. *Acta Carpathica*. № 1 (37). P. 27–39. <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.1.2> [in Ukrainian].
10. Derevianko, S.V., Vasylenko, A.V., Kaplunenko, V.H., Holovko, A., Spivak, M., & Kharchuk, M. (2019). Perspektyvy rozrobky preparativ dlia silskoho hospodarstva na osnovi nanochastynok [Perspectives of development of preparations for agriculture on the basis of nano-particles]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*. № 10. Vol. 799. P. 44–54. <https://doi.org/20.31073/agrovisnyk201910-07> [in Ukrainian].
11. Tyshchenko, M.V., Moroz, O.V., Smirnykh, V.M., Novoseletskyi, I.H., Kuskov, O.H., Filonenko, S.V., & Liashenko, V.V. (2018). Vykorystannia mikroelementnoho preparatu “Avatar” za vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v polovii sivozmini [The use of the micronutrient drug “Avatar” for growing barley in the field of crop rotation]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. № 3. P. 32–38. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.03.05> [in Ukrainian].

12. Kapitanska, O.S., Priadkina, H.O., & Stasyk, O.O. (2017). Vplyv obrobky roslyn kompleksom karboksylativ mikroelementiv na fotosyntetychni pokaznyky i urozhai ozymoi pshenytsi [Influence of plants treatment by complex of microelements carboxylates on photosynthetic parameters and yield of winter wheat]. *Fiziolohiia roslyn i Henetyka – Plant Physiology and Genetics*. T. 49. № 3. P. 248–255. <https://doi.org/10.15407/frg2017.03.248> [in Ukrainian].
13. Zhao, L., & Xing, B. (2020). Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance. *J Agric Food Chem*. Vol. 68. Iss. 7. P. 1935–1947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615> [in English].
14. Zasib dlia peredposivnoi obrobky nasinnia silskohospodarskykh kultur: patent 91892 Ukraina: a200810241; zaiavl. 11.08.2008; opubl.: 10.09.2010, Biul. № 17. 4 s. [Means for the preplant treatment of seeds of agricultural crops: pat. 91892 UA: a200810241; stat. 11.08.2008; publ. 10.09.2010, Biul. № 17. 4 p.]. Retrieved from: <https://uapatents.com/4-91892-zasib-dlya-peredposivno-obrobki-nasinnya-silskogospodarskikh-kultur.html> [in Ukrainian].
15. Stefaniuk, V.Y., Balan, V.M., & Fursa, A.V. (2020). Produktyvnist stevii zalezno vid zastosuvannya mikrodobryva “Avatar-2” [Stevia productivity depending on the application of Avatar-2 microfertilizer]. *Bioenerhetyka – Bioenergy*. Vol. 2 (16). P. 27–29. <https://doi.org/10.47414/be.2.2020.224998> [in Ukrainian].

ABSTRACT

INFLUENCE OF MICROFERTILIZER “AVATAR-2 ORGANIC” ON MORPHOBIOLOGY INDICATORS AND PRODUCTIVITY OF CALENDULA OFFICINALIS PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE PRECARPATHIAN AREA OF UKRAINE

The flowers of medicinal marigold (*Calendula officinalis* L.) are a valuable medicinal raw material, the scarcity of which in both global and domestic markets is steadily increasing due to the increased demands of the pharmaceutical industry for the production of natural medicinal products. Cultivating newly synthesized varieties of *C. officinalis* in favorable climatic zones of the country, combined with improved technologies, will enable the production of increased volumes of qualitative raw materials from this medicinal plant.

The research has shown the growth characteristics of the domestic selection variety *C. officinalis* Berezotitska Soniachna under the soil and climatic conditions of the Precarpathian area using various norms of the micronutrient preparation (MP) “Avatar 2 Organic” and methods of seed and vegetative plant treatment.

We have found that the application of MP for pre-sowing seed treatment of *C. officinalis* at rates of 50 and 100 ml/ton and double feeding plants during the phenological phases of germination and budding at rates of 50 and 100 ml/ha contributes to the increase in the duration of the growing season, improves the field germination of seeds and the survival rate of plants, as well as contributes to the increase in their morphometric characteristics, productivity, and yield of inflorescences.

The exploration has established that the cultivation of *C. officinalis* in the conditions of the Precarpathian area with the use of micronutrients at pre-sowing treatment rates of 50, 100, and 150 ml/ton of seeds and the treatment of vegetative plants at rates of 50, 100, and 150 ml/ha is economically advantageous. The highest net profit from medicinal plant raw materials of *C. officinalis* and the level of profitability are observed with the method involving the application of micronutrients in three terms: at the stage of pre-sowing seed treatment (at a preparation rate of 100 ml/ton) and with double foliar feeding during the phases of germination and budding (at a rate of 100 ml/ha).

The study has substantiated that the application of MP “Avatar-2 Organic” is one of the reserves for increasing net profit and the level of profitability in the production of dry medicinal raw materials of *C. officinalis*.

Key words: *Calendula officinalis* L., microelement preparation, productivity, yield, profitability, economic efficiency.

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: natahoivan@gmail.com

Людмила Романівна Білокур,

еколог КП «Снятинський Господар» Дрогобицької міської ради Львівської області, Україна
e-mail: yurchaklyudmila1@gmail.com

ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ САМБІРСЬКОЇ ТГ

Анотація. Якість питних вод в Україні, особливо з децентралізованих джерел, викликає серйозну занепокоєність. Недостатній контроль за якістю води з індивідуальних криниць і свердловин, які є основним джерелом водопостачання для населення гірських та передгірських територій, призводить до підвищення ризику захворювань. Ситуація ускладнюється антропогенним навантаженням на водні екосистеми, особливо в регіонах із нафтовидобутком і нафтопереробкою, інтенсивним сільським господарством та нестабільними гідрологічними умовами.

Самбірський район, як і багато інших регіонів України, зазнає впливу як природних, так і антропогенних факторів, які впливають на якість водних ресурсів. Серед основних проблем можна виділити сільськогосподарські, комунальні та промислові стоки, а також змив забруднювальних речовин з доріг, промислових майданчиків та інших територій під час опадів. Вимивання добрив і пестицидів з полів під час дощів призводить до підвищення вмісту нітратів, фосфатів та інших шкідливих речовин у річках і озерах.

Деградація екосистем і забруднення всіх джерел води роблять захист якості питної води нагальною проблемою, що потребує вирішення на всіх рівнях влади. Нами було проведено аналіз якості зразків питної води, взятих із колодязів, що зосереджені в населених пунктах Самбірської ТГ. Це с. Чернихів, с. Ралівка, с. Кружики та м. Новий Калинів. Результати дослідження показали, що всі зразки перебували в межах норми за органічними параметрами (прозорість, запах і смак). Рівень рН досліджуваної води варіювався від 6,0 до 7,3. Мінералізація у питній воді навесні становила від 323 до 980 мг/дм³. Вміст хлорид-іонів варіював від 28,4 до 63,9 мг/дм³. Вміст фосфатів у пробах води коливався від 0,035 до 0,073 мг/дм³. Концентрація NH₄⁺ у пробах води варіювала від 0,9 до 4,1 мг/дм³, у деяких місцях перевищуючи ГДК. Вміст нітритів у зразках води коливався в межах 0,0056–0,082 мг/дм³. Концентрація нітратів у пробах води становила від 11,3 до 18 мг/дм³. Твердість води коливалася в межах 5,9–8,2 ммоль/екв. дм³. Дослідження показало, що вміст аналізованих показників у всіх зразках питної води був вищим восени порівняно з осінніми значеннями.

Ключові слова: Самбірська територіальна громада, колодязі, питна вода, хлориди, фосфати, амоній, нітрити, нітрати, мінералізація, твердість.

ВСТУП

Якість питної води з кожним роком знижується через зростаюче антропогенне навантаження на навколишнє середовище. Значна кількість водних об'єктів, що забезпечують потреби населення в питній воді, зазнала деградації, екологічна ситуація погіршується з року в рік [4]. В окремих районах і містах ситуація критична, відхилення якості води від загально прийнятих стандартів сягають 70–80%. Населення Самбірської територіальної громади здебільшого споживає колодязну воду. Більшість джерел децентралізованого водопостачання характеризуються незадовільним санітарним станом [2, 3]. Нині в Україні відсутня комплексна система моніторингу якості води з різних джерел водопостачання. Тому аналіз якості колодязної води в межах населених пунктів Самбірського ТГ є пріоритетним завданням.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Об'єктами дослідження слугували колодязі, які зосереджені на території населених пунктів с. Чернихів, с. Ралівка, м. Новий Калинів, с. Кружички. Зразки води відбиралися в осінній та весняний періоди. Місця відбору проб відображено на рисунку 1.

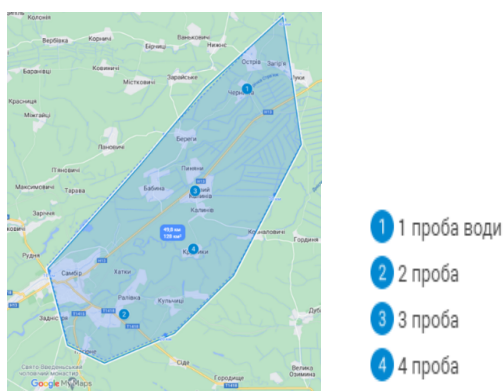


Рис. 1. Місця відбору проб води

Таблиця 1

Органолептичні показники досліджуваної води

Показник	Весна			
	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4
Прозорість, см	37	30	39	50
Присмак	болотний	болотний	металічний	кислуватий
Запах, бали	3	3	2	1
Осінь				
Показник	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4
Прозорість, см	32	28	37	40
Присмак	болотний	болотний	металічний	відсутній
Запах, бали	2	4	1	1

Під час дослідження були використані й застосовані такі матеріали та методи [12]. Прозорість визначали за допомогою шрифту Снелла. Присмак і запах визначали за температур 20 °С та 60 °С. рН досліджуваної води визначали за допомогою рН-метра. Мінералізацію визначали кондуктометром МР-513 Уlab. Вміст хлоридів і загальну твердість криничної води визначали титрувальним методом. Концентрацію іонів амонію, нітритів, нітратів та фосфатів визначали фотометричним методом на спектрофотометрі СФ-2000 за певних довжин хвиль відповідно до визначених методик.

РЕЗУЛЬТАТИ

З метою оцінки якості води джерел децентралізованого водопостачання визначали органолептичні та гідрохімічні показники. Одним із нормативних значення, який є визначальним в оцінці якості питної води, є органолептичні показники. Результати дослідження відображені в таблиці 1.

За результатами дослідження органолептичних показників зразки питної води відповідають нормативних значенням. У фоновому відношенні найкращі якості простежуються у воді, відібраної з криниць села Кружики та м. Новий Калинів. Децю гірші органолептичні параметри простежувалися у воді з криниць сіл Чернихів та Ралівка.

Важливим показником, який наявний у воді та безпосередньо впливає на здоров'я людей, є рН [11]. Цей показний може коливатися в межах 6,5–8,5. Відхилення від норми впливає на якість води та робить її непридатною до використання [4].

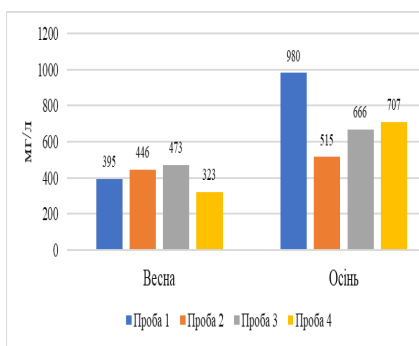
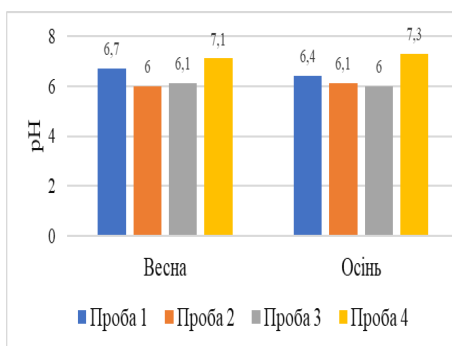


Рис. 2. рН досліджуваних проб води Рис. 3. Мінералізація води, мг/л

Показник рН усіх досліджуваних зразків води перебував у межах нормативних значень. Оптимальне значення показника для природної води коливається в межах 6,5–8,5. Коли спостерігається підвищення кислотно-лужного показника, це означає, що вода несе небезпеку для здоров'я людини та самопочуття, а знижений рівень показника свідчить про її високі корозійні властивості [6]. Значення показника коливалися в межах 6,0–7,3. Найнижчі значення цього показника простежувалися у воді криниці, що зосереджена в с. Ралівка, а найвищі – у воді в с. Кружики.

Мінералізація досліджуваних зразків води перебувала в межах від 323 мг/дм³ до 473 мг/дм³ навесні та від 515 мг/дм³ до 980 мг/дм³ восени. Зростання досліджуваного показника восени може бути пов'язане з надміру посушливим періодом [2].

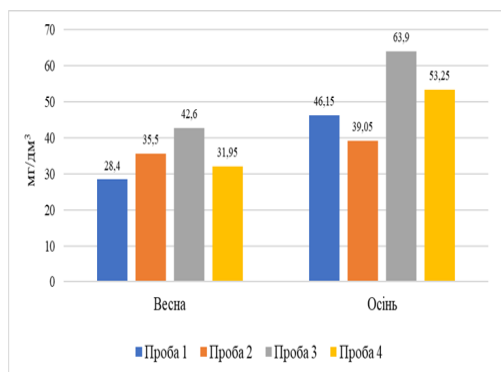


Рис. 4. Вміст хлоридів у воді, мг/дм³

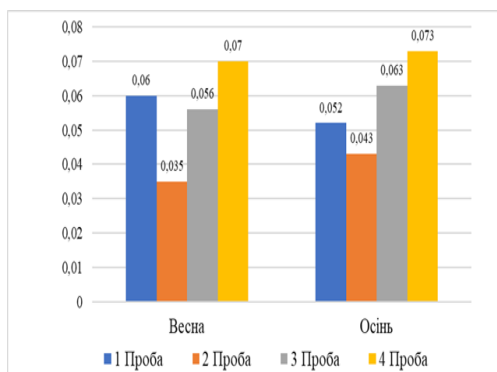


Рис. 5. Вміст фосфатів у воді, мг/дм³

Результати дослідження засвідчили, що вміст хлоридів у зразках води коливався в межах 28,4–42,6 мг/дм³ навесні та в межах 39,05–63,9 мг/дм³ восени. Найменшою концентрація хлоридів була в питній воді колодязя, що розташований у с. Чернихів, навесні. Максимальні значення були наявні у воді з колодязя, що розташований у м. Калинів. Вміст хлоридів у всіх зразках води перебував у межах нормативних значень.

Вміст фосфатів у досліджуваних зразках води коливався в межах 0,035–0,07 мг/дм³ навесні. Восени досліджуваний показник був дещо вищим та коливався в межах 0,043–0,073 мг/дм³. Усі досліджувані зразки води перебували в межах нормативних значень.

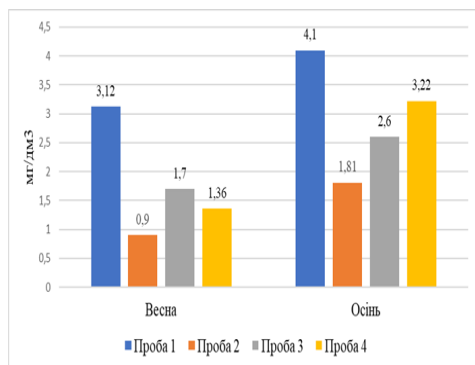


Рис. 6. Вміст іонів амонію, мг/дм³

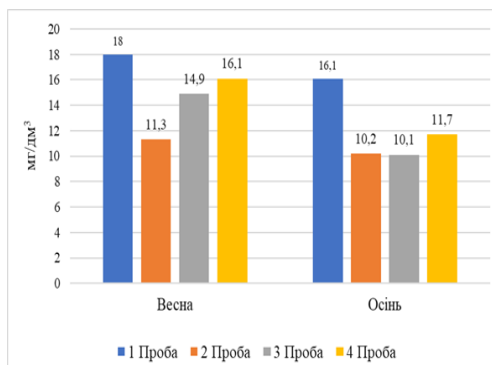


Рис. 7. Вміст нітратів, мг/дм³

На екологічний стан водних об'єктів впливає наявність біогенних елементів. Наявність цих речовин визначає санітарний стан води та впливає на інтенсивність біохімічних процесів, що протікають у водному об'єкті [10, 13]. На підвищення концентрації біогенних елементів, зокрема сполук нітрогену, впливають комунальні та побутові стоки, що скидаються, а також вимивання з водозбірних площ і змиви із сільськогосподарських угідь, потрапляння стічних вод тваринницьких комплексів [7]. Нами досліджено вміст сполук амонію та нітратів у зразках питної води. Результати дослідження засвідчили, що концентрація сполука амонію коливалася в межах 0,9–4,1 мг/дм³

Найвищі концентрації цього показника простежувалися у воді з колодязя, що розташований у с. Чернихів, і подекуди перевищувала ГДК. Причиною перевищення нормативних значень може бути самовільне скидання каналізаційних стоків. Найнижчі значення – у воді с. Ралівка. Восени ці значення показника були дещо вищими порівняно з весняним періодом.

Концентрація нітратів у досліджуваних зразках води коливалася в межах 11,3–18 мг/дм³ навесні. Восени значення показника були нижчими та становили 10,1–16,1 мг/дм³.

Проміжним продуктом біохімічних перетворень сполук нітрогену є нітрити [9]. Результати досліджень засвідчили, що вміст нітритів у зразках води коливався в межах 0,0056–0,082 мг/дм³ (рис. 8). Значення показника були нижчими навесні та дещо зростали восени. Найменшими концентрації нітритів були у воді із сіл Чернихів та Ралівка.

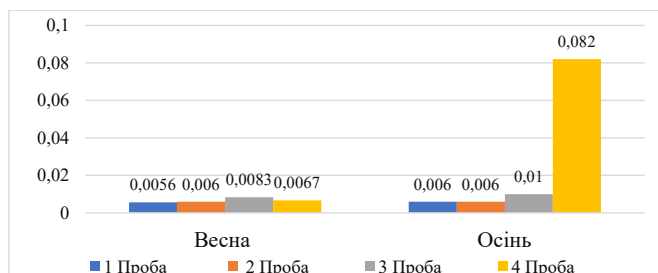


Рис. 8. Концентрація нітритів у досліджуваних зразках, мг/дм³

Наявність у воді гідрокарбонатів, хлоридів, сульфатів, сполук кальцію та магнію визначають загальну твердість води [8]. Дослідження встановили, що твердість води коливалася в межах 5,9–8,2 ммоль/екв. дм³ (рис. 9).

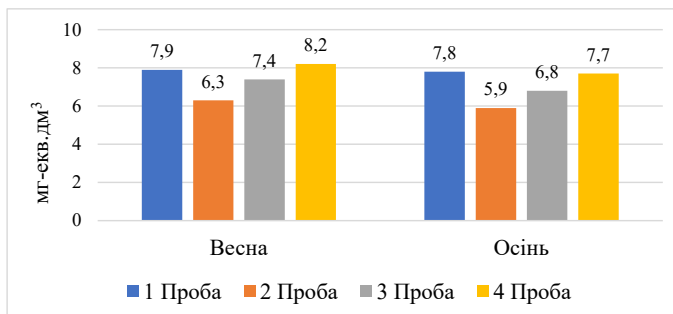


Рис. 9. Твердість досліджуваної криничної води мг-екв. дм³

Отримані результати показника твердості досліджуваних вод у межах Самбірської ТГ вказують на те, що у весняний період в усіх досліджуваних зразках води твердість була дещо вищою порівняно з осіннім періодом. Мінімальні значення зафіксовані у пробах води з колодязів, які зосереджені в с. Ралівка. Максимальні значення досліджуваного показника були в криничній воді с. Кружики. Усі зразки питної води належать до категорії твердих.

ВИСНОВКИ

Отже, дослідження показало, що вміст аналізованих показників у всіх зразках питної води був вищим восени порівняно з осінніми значеннями. Найкраща якість води була виявлена в криницях села Ралівка. Деяко вищі концентрації досліджуваних показників мала вода з криниць сіл Чернихів та Кружики, а також м. Новий Калинів. Загалом концентрації досліджуваних елементів у всіх пробах води були в межах референтних значень, за винятком сполук амонію, які подекуди перевищували ГДК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бриндзя І., Гойванович Н., Білокур Л.. Екологічна характеристика басейну річки Дністер в межах Самбірського району. *Acta Carpathica*. № 1 (37), 2022. С. 26–35. DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.1.3>.
2. Бриндзя І., Гойванович Н., Сеньків В. Екологічний стан децентралізованих джерел водопостачання Дрогобицького району. *Acta Carpathica*. 2024. № 1 (41). С. 48–58. DOI: [10.32782/2450-8640.2024.1.6](https://doi.org/10.32782/2450-8640.2024.1.6).
3. Бриндзя І., Скробач Т. Якість криничної води Дрогобицької територіальної громади. *Наукові записки Державного природничого музею*. Вип. 38. 2022. С. 93–104.
4. Гойванович Н. К., Бриндзя І. В. Моніторинг якості криничних вод Жидачівського району Львівської області. *Наукові записки Державного природничого музею*. Вип. 37. Львів. 2021. С. 105–115.
5. Hoivanovych N., Antoniuk H., Pavlyshak Yu., Bontei N. Quality analysis of water supply sources by hygienic indices using an example of the specialized regions in the Lviv region. *Acta Carpathica*. 2017. No. 28. P. 55–61.
6. Кропивницька Л., Бриндзя І., Мартинюк І., Каршень А., Стаднічук О. Оцінка екологічного ризику стану поверхневих вод річки Опір у межах Національного природного парку «Сколівські Бескиди». *Acta Carpathica*. 2022. № 2 (38). С. 22–30. DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.2.3>.
7. Крупко Г., Суходольська І., Лико С., Логвиненко І. Оцінка нітратного забруднення питної води сільських населених пунктів Рівненської області. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2023. Вип. 3. С. 119–128.
8. Левківський С. С., Падун М.М. Рациональне використання і охорона водних ресурсів : навч. посіб. Київ : Либідь, 2006. 60 с.
9. Петрук В. Г., Гайдей Ю. А., Вовк О. С. Аналіз стану якості питної води у колодязях м. Вінниці та Вінницької області. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2011. № 8 (48). С. 119–123.
10. Степова О. В., Рома В. В. Моніторинг поверхневих вод : навч. посіб. Полтава : ПолтНТУ, 2017. 21 с.
11. Хільчевський В. І., Хільчевський В. К., Осадчий В. І. Основи гідрохімії : підручник. Київ : Ніка-Центр, 2012. 312 с.
12. Цайтлер М., Бриндзя І., Досвідчинська М. Моніторинг довкілля : методичні вказівки для проведення лабораторних робіт. Дрогобич : Вид. відділ ДДПУ імені Івана Франка, 2014. 78 с.
13. Senkiv V., Bryndzia I. Spatial analysis of water quality indicators in Drohobych district. *Acta Carpathica*. 2023. No. 1 (39). P. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.2>.

REFERENCES

1. Bryndzia, I., Hoivanovych, N., & Bilokur, L. (2022). Ekolohichna kharakterystyka baseinu richky Dniester v mezhakh Sambirskoho raionu [Environmental characteristics of the dnister river basin within the Sambir district]. *Acta Carpathica*. 1 (37). P. 26–35. DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.1.3> [in Ukrainian].
2. Bryndzia, I., Hoivanovych, N., & Senkiv, V. (2024). Ekolohichni stan detsentralizovanykh dzherel vodopostachannia Drohobyskoho raionu [Ecological condition of decentralised water supply sources in Drohobych district]. *Acta Carpathica*. 1 (41). P. 48–58. DOI: 10.32782/2450-8640.2024.1.6 [in Ukrainian].
3. Bryndzia, I., & Skrobach, T. (2022). Yakist krynychnoi vody Drohobyskoi terytorialnoi hromady [The quality of well water of the Drohobych community]. *Naukovi zapysky Derzhavnoho pryrodnychoho muzeiu*. Issue 38. P. 93–104 [in Ukrainian].
4. Hoivanovych, N.K., & Bryndzia, I.V. (2021). Monitorynh yakosti krynychnykh vod Zhydachivskoho raionu Lvivskoi oblasti [Quality monitoring of well waters of Zhydachiv district of Lviv region]. *Naukovi zapysky Derzhavnoho pryrodnychoho muzeiu*. Issue 37. Lviv. P. 105–115 [in Ukrainian].
5. Hoivanovych, N., Antoniuk, H., Pavlyshak, Yu., & Bontei, 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, 55–61 [in Ukrainian].
6. Kropyvnytska, L., Bryndzia, I., Martyniuk, I. Karshen, A., & Stadnichuk, O. (2022). Otsinka ekolohichnoho ryzyku stanu poverkhnevnykh vod richky Opir u mezhakh Natsionalnoho pryrodnoho parku “Skolivski Beskydy” [Environmental risk assessment of the surface water condition of the Opir river within the boundaries of the NNP “Scolivsky Beskids”]. *Acta Carpathica*, 2 (38). P. 22–30. DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.2.3> [in Ukrainian].
7. Krupko, H., Sukhodolska, I., Lyko, S., & Lohvynenko, I. (2023). Otsinka nitratnoho zabrudnennia pytnoi vody silskykh naselenykh punktiv Rivnenskoj oblasti [Assessment of nitrate pollution of drinking water in rural settlements of Rivne region]. *Naukovyi visnyk Vinnytskoi akademii bezpererвної osvity. Seriya “Ekolohiia. Publichne upravlinnia ta administruvannia”*. Issue 3. P. 119–128 [in Ukrainian].
8. Levkivskiy, S.S., & Padun, M.M. (2006). Ratsionalne vykorystannia i okhrona vodnykh resursiv: navch. posib [Rational use and protection of water resources: manual]. Kyiv: Lybid, 60 p. [in Ukrainian].
9. Petruk, V.H., Haidei, Yu.A., & Vovk, O.S. (2011). Analiz stanu yakosti pytnoi vody u kolodiazakh m. Vinnytsi ta Vinnytskoi oblasti [Analysis of the quality of drinking water in wells in Vinnytsia and Vinnytsia region]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU*. 8 (48). P. 119–123 [in Ukrainian].
10. Stepova, O.V., & Roma, V.V. (2017). Monitorynh poverkhnevnykh vod: navch. posib. [Surface water monitoring: manual]. Poltava: PoltNTU, 21 p. [in Ukrainian].
11. Khilchevskiy, V.I. Khilchevskiy, V.K., & Osadchyi, V.I. (2012). Osnovy hidrokhimii: pidruchnyk [Fundamentals of Hydrochemistry: Textbook]. Kyiv: Nika-Tsentr, 312 p. [in Ukrainian].
12. Tsaitler, M., Bryndzia, I., & Dosviadchynska, M. (2014). Monitorynh dovkillia. Metodychni vkazivky dlia provedennia laboratornykh robot [Environmental monitoring. Methodological recommendations for laboratory work]. Drohobych: Vyd. viddil DDPU imeni Ivana Franka, 78 p. [in Ukrainian].
13. Senkiv, V., & Bryndzia, I. (2023). Spatial analysis of water quality indicators in Drohobych district. *Acta Carpathica*. No. 1 (39), 16–27. DOI: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.2>.

ABSTRACT

QUALITY OF DRINKING WATER IN POPULATED POINTS OF SAMBIRSKA TERRITORIAL COMMUNITY

The quality of drinking water in Ukraine, especially from decentralized sources, is a serious concern. Insufficient control over the quality of water from individual wells and boreholes, which are the primary source of water supply for the population of mountainous and foothill areas, leads to an increased risk of diseases. The situation is exacerbated by anthropogenic pressure on aquatic ecosystems, particularly in regions with oil extraction and refining, intensive agriculture, and unstable hydrological conditions.

The Sambir district, like many other regions of Ukraine, is influenced by both natural and anthropogenic factors affecting the quality of water resources. The main problems include agricultural, municipal, and industrial wastewater, as well as the wash-off of pollutants from roads, industrial sites, and other areas during precipitation. The leaching of fertilizers and pesticides from fields during rains leads to increased levels of nitrates, phosphates, and other harmful substances in rivers and lakes.

Ecosystem degradation and the pollution of all water sources make the protection of drinking water quality an urgent problem that needs to be addressed at all levels of government. We analyzed the quality of drinking water samples taken from wells located in the settlements of Sambir Territorial Community: Chernykhiv, Ralivka, Kruzhyky, and Novy Kalyniv. The results of the study showed that all samples were within the norm for organic parameters (transparency, odor, and taste). The pH level of the tested water varied from 6.0 to 7.3. Mineralization in drinking water in spring ranged from 323 to 980 mg/dm³. The content of chloride ions varied from 28.4 to 63.9 mg/dm³. The content of phosphates in water samples ranged from 0.035 to 0.073 mg/dm³. The concentration of NH₄⁺ in water samples varied from 0.9 to 4.1 mg/dm³, exceeding the MPC in some places. The content of nitrites in water samples ranged from 0.0056 to 0.082 mg/dm³. The concentration of nitrates in water samples was from 11.3 to 18 mg/dm³. The water hardness ranged from 5.9 to 8.2 mmol/eq.dm³. The study showed that the content of the analyzed indicators in all drinking water samples was higher in autumn compared to spring values.

Key words: Sambir Territorial Community, wells, drinking water, chlorides, phosphates, ammonium, nitrites, nitrates, mineralization, hardness.

НОТАТКИ

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ACTA CARPETHICA

Збірник наукових праць

№ 2 (42), 2024

Здано до набору 16.10.2024 р. Підписано до друку 01.11.2024 р.
Гарнітура Times New Roman. Формат 70×100/16.
Друк офсетний. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 10,46. Зам. № 0125/022. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.