

УДК 574.64:594.38

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2023-4.03>

Ілля ЦИГАНЕНКО-ДЗЮБЕНКО

аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»

ke_tiyu@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-3240-8719

Ганна КІРЕЙЦЕВА

кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»

gef_kgv@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-1055-1784

**ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ МЕХАНІЗМИ СТІЙКОСТІ
PLANORBARIUS CORNEUS L. ДО ВПЛИВУ ХІМІЧНИХ СТРЕСОРІВ ВІЙНИ**

Анотація. Російсько-українська війна, яка почалась у 2014 році, та яка й досі триває, має численні наслідки не лише з гуманітарної, політичної та економічної точок зору, але і з точки зору впливу на різноманітні екосистеми, у тому числі водні. Основні аспекти цього впливу включають забруднення, фізичне пошкодження, втрату біорізноманіття, міграцію видів, зміну якості води. Бойові дії призвели до руйнування інфраструктури, у результаті чого у водойми потрапили нафтопродукти, хімічні речовини та інші забруднювачі. Таке забруднення може шкودити місцевим водним організмам, змінюючи хімічний склад води й призводячи до гибелі риб та інших водних істот. Бомбардування та інші військові дії можуть призвести до фізичного пошкодження річок, озер та інших водойм. Зміна русла річки або знищення прибережних зон може порушити природні процеси та створити перепони для нормальної життєдіяльності водних екосистем. Забруднення та фізичне пошкодження можуть призвести до гибелі різноманітних видів, що знижує біорізноманіття водних екосистем. Неприятливі умови в деяких районах можуть змушувати риб та інші водні організми мігрувати в інші місця, шукаючи кращих умов для життя. До найбільш розповсюджених забруднювачів війни та військових дій можна віднести сполуки важких металів. Коли дані сполуки потрапляють у водойми, вони можуть взаємодіяти з різними компонентами екосистем. Важкі метали можуть бути токсичними для риб, молюсків, ракоподібних та інших водних організмів. Це може призвести до зниження популяцій деяких видів і зміни екологічних балансів. Деякі важкі метали можуть накопичуватися в тканинах організмів. Така біоаккумуляція може призвести до накопичення токсичних рівнів металів у верхівках харчового ланцюга, включаючи риб, які потім споживаються людьми. Якщо забруднена вода використовується для пиття або іригації, важкі метали можуть отруїти людей або потрапити до продуктів харчування. Унаслідок викидів і забруднень якість води може погіршитися, що призведе до проблем із водопостачанням, та зросте ризик здоров'ю людей. Хоча припинення війни дозволить природі почати самовідновлення, деякі наслідки будуть довготривалими. Повне відновлення водних екосистем потребуватиме великих зусиль, включаючи спеціалізовані екологічні проекти та залучення науковців для моніторингу та відновлення екосистем.

Методологія дослідження. Для реалізації дослідження було застосовано стандартні гідрохімічні та гідробіологічні методи та методики. Для постановки еколого-токсикологічного експерименту керувались уже існуючими працями вітчизняних та зарубіжних науковців.

Наукова новизна. Проведені багатоетапні дослідження щодо визначення передових хімічних забруднювачів водних об'єктів, які мають військове походження та подальше встановлення фізіолого-біохімічних механізмів стійкості гідробіонтів до їх впливу, мають системний та інноваційний характер, а також беззаперечне практичне значення для подальшого відновлення постраждалих гідроекосистем.

Висновки. Забруднення гідроекосистем унаслідок військової діяльності призвело до підвищеного вмісту сполук важких металів, особливо міді. Адже мідь використовується в деяких типах військового обладнання та техніки, а також як компонент у виробництві підривних речовин. При впливі міді виявлена тенденція до збільшення каротиноїдних пігментів і загального білка в гемолімфі при концентраціях 1/8CL50 та 1/4CL50. При концентрації міді 1/2CL50 виявлено зниження вмісту обговорюваних показників у молюсків.

Ключові слова: війна, військова діяльність, гідроекосистема, сполуки важких металів, забруднення гідроекосистем.

Illia TSYHANENKO-DZIUBENKO

Ph.D. Student (Ecology), Assistant at the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University

ke_miyu@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-3240-8719

Hanna KIREITSEVA

Ph.D. (Economic Sciences), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University

gef_kgv@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-1055-1784

**PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL MECHANISMS OF RESISTANCE
OF *PLANORBARIUS CORNEUS* L. TO THE IMPACT
OF CHEMICAL STRESSORS OF WAR**

Abstract. The Russian-Ukrainian war, which began in 2014 and is still ongoing, has numerous consequences not only from a humanitarian, political and economic point of view, but also in terms of its impact on various ecosystems, including aquatic ones. The main aspects of this impact include: pollution, physical damage, loss of biodiversity, species migration, and changes in water quality. The hostilities have led to the destruction of infrastructure, resulting in the release of oil products, chemicals and other pollutants into water bodies. Such pollution can harm local aquatic organisms by changing the chemical composition of water and leading to the death of fish and other aquatic life. Bombing and other military activities can cause physical damage to rivers, lakes and other water bodies. Changing the course of a river or destroying coastal zones can disrupt natural processes and create obstacles to the normal functioning of aquatic ecosystems. Pollution and physical damage can lead to the death of various species, which reduces the biodiversity of aquatic ecosystems. Unfavourable conditions in some areas can force fish and other aquatic organisms to migrate to other places in search of better living conditions. Among the most common pollutants from war and military operations are heavy metal compounds. When these compounds enter water bodies, they can interact with various components of ecosystems. Heavy metals can be toxic to fish, shellfish, crustaceans and other aquatic organisms. This can lead to a decline in the populations of some species and changes in ecological balances. Some heavy metals can accumulate in the tissues of organisms. This bioaccumulation can lead to toxic levels of metals accumulating at the top of the food chain, including fish, which are then consumed by humans. If the contaminated water is used for drinking or irrigation, heavy metals can poison people or leach into food. As a result of emissions and pollution, water quality can deteriorate, leading to problems with water supplies and increased health risks. While the end of the war will allow nature to begin to repair itself, some of the impacts will be long-lasting. The full restoration of aquatic ecosystems will require a major effort, including specialised environmental projects and the involvement of scientists to monitor and restore ecosystems.

Methodology. Standard hydrochemical and hydrobiological methods and techniques were used for the study. The ecological and toxicological experiment was based on the existing works of domestic and foreign scientists.

Scientific novelty. The conducted multi-stage studies on the identification of advanced chemical pollutants of water bodies of military origin and the subsequent establishment of physiological and biochemical mechanisms of resistance of aquatic organisms to their impact are systemic and innovative in nature, as well as of undeniable practical importance for the further restoration of the affected hydroecosystems.

Conclusions. Copper itself is not an explosive, but it is used in some types of military equipment or as a component in the production of explosives. Under the influence of copper, a tendency to increase carotenoid pigments (β -carotene and xanthophylls) and total protein in the haemolymph at concentrations of 1/8CL50 and 1/4CL50 was found. At a copper concentration of 1/2CL50, a decrease in the content of the discussed indicators in molluscs was found.

Key words: war, military activity, aquatic ecosystem, heavy metal compounds, pollution of aquatic ecosystems.

Постановка проблеми. Усім відомо, що 24 лютого 2022 року воєнний конфлікт на Сході України переріс у російсько-українську війну. Із перших днів війни було очевидно, що з часом буде накопичуватися величезна кількість відходів руйнування, а численні різнотипні екосистеми будуть забруднені високотоксичними забруднювачами військового походження [11].

Для того, щоб упоратися з цією проблемою за допомогою досліджень впливу військових дій на довкілля на Сході України [3], було проведено розробку правил поводження з відходами: що з ними робити, як їх тимчасово розмістити, щоб згодом можна було переробити та використати для відновлення країни.

Сьогодні через те, що ведуться активні бойові дії на Сході країни, якісно провести від-

бори проб складно. Там, де державна екологічна інспекція має доступ, експерти виконують свою роботу.

ОБСЄ дуже занепокоєна цим питанням [11], бо зараз в Україні вода також може використовуватися як засіб зброї, що траплялося в низці інших сучасних воєнних конфліктів. Платформа рішень природоохоронної діяльності наголошує, що накопичення великих об'ємів води в штучних водосховищах під час бойових дій є доволі небезпечним фактором. Знищені греблі українських водосховищ можуть затопити землі, міста та села далеко вниз за течією. Така небезпека для України існує для значної кількості територій, яка охоплює сотні населених пунктів, де мешкають сотні тисяч громадян.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. М. Хилько в праці «Екологічна безпека України» [2, с. 128] попереджає, що спійману рибу в акваторії Чорного та Азовського морів вживати небезпечно через можливі отруєння з летальним фіналом. Незаконний вилов риби в Азовському морі провокує інтенсивне зрошення, змивання пестицидів у моря рисосіяння, зростання отруйних викидів хімічної та металургійної промисловості. Так, до війни лише Маріуполь викидав 800 тис. т токсикантів на рік. У Чорному морі ситуація не сильно відрізняється. Значну небезпеку несуть припортові великі заводи, де виробляються значні обсяги аміаку, нафтопереробні комбінати та розробки нафтогазових родовищ. У випадку аварій на подібних підприємствах у Чорному морі може статися екологічна катастрофа. Викликає стурбованість стану екосистеми Чорного моря, де відбувається підняття рівня сірководню, а також забруднення моря промисловими та міськими стоками, засобами хімізації сільського господарства. Рятують Чорне море тільки його розміри та глибина.

У сумісній роботі А. Гарасим, Н. Кельм [1, с. 7] звертається увага на захоплення Росією об'єктів водопостачання, що призводить до обміління річок і зменшення флори та фауни у водних екосистемах. Також і тимчасова подача води до Криму може стати наслідком загострення дефіциту води як на материковій частині, так і на півострові, бо південні регіони України більше забезпечені водними ресур-

сами, ніж Крим. Ще однією проблемою є значний вплив зміни клімату на більш посушливий Криму. Науковці стверджують, що з 2041 року можливе припинення місцевого поверхневого стоку в маловодні роки в Херсонській, Одеській, Миколаївській, Дніпропетровській та Запорізькій областях. Наприклад, у Запорізькій області «кліматичний стік» може зменшитися в 10 разів, у Дніпропетровській – у 6 разів, у Миколаївській – у 3,6 раза, а в Криму – вдвічі.

М. Хилько у своїй праці наголошує: внаслідок виникнення аварійних ситуацій в експлуатаційних об'єктах водопостачання та водовідведення при веденні бойових дій та через припинення функціонування підприємств на окупованих територіях відбувається забруднення поверхневих та підземних вод регіону [8, с. 47]. Зокрема, інтенсивне забруднення відбувається через вихід із ладу промислових та комунальних очисних споруд, аварійні скиди забруднених вод через перебої з електропостачанням, забруднення продуктами згоряння боєприпасів та внаслідок розливу паливно-мастильних матеріалів.

Важкі метали впливають на молюсків. На відміну від органічних забруднювачів, які з часом утилізуються у водоймах у процесі біологічного кругообігу, з'єднання металів здатні зберігати токсичність практично нескінченно, тому що навіть при їх перетворенні основний компонент з'єднання – метал – залишається без змін. Великий масштаб забруднення в останні роки зумовив підвищений інтерес токсикологів до цієї категорії забруднювачів.

Інтенсивність надходження металів в організм залежить від форми з'єднання металів та присутності комплексоутворювачів. Найбільше металів накопичується в нирках, печінці, кістковій тканині, селезінці, деяких залозах тварин. Зазвичай вони зв'язані з ліпопротеїдними утвореннями мембран. Найчастіше відбувається незворотне зв'язування сульфгідрильних груп ферментів. Зміни ферментативної активності призводять до порушення транспорту, дихання, синтезу білка [4].

Здатність гідробіонтів акумулювати метали використовувалася для індикації забруднення водойм. Індикаторним організмом можуть служити гідробіонти, які тривалий час перебувають у досліджуваній зоні.

Метали надходять в організм гідробіонтів в основному з їжею. Це було виявлено при поглинанні цинку, кобальту, заліза моллюском *Mytilus edulis*. Екскреція надлишку металів гідробіонтами відбувається безпосередньо через поверхню тіла, зябра, луску, із сечею [19].

Катіони Hg, Cu, Pb, Zn, Cd інгібують активність аденілатциклази гладком'язових тканин і гепатопанкреасу прісноводних двостулкових (*Anodonta cygnea*) і червононогих (*Corsetus corneus*, *Viviparus contectus*) моллюсків у наступному порядку: Hg > Cu > Pb > Zn > Cd [7].

На токсичність речовин для гідробіонтів впливає присутність інших з'єднань, форми досліджуваної речовини, жорсткість води, світловий і температурний режими, концентрація кисню, рН, швидкість течії, освітлення, наявність комплексуютьовачів, синергізм та стан біологічних об'єктів. Токсичність може визначатися здатністю металів до концентрування [3; 5; 10].

Метали в організмі тварин впливають на багато життєво важливих органів, тканин, структур, у тому числі і зябра. Ці токсиканти змінюють функцію крові, серця водних тварин, пошкоджують вплив на зябра, порушують біохімічні процеси. Усе це відображається на загальному функціональному стані гідробіонтів та їхньому диханні [6].

До дії металів, особливо важких, чутливі хімічно активні групи клітин, які пов'язані з оболонкою, у результаті проникності оболонки порушується. Прикладом цього є дія свинцю, при отруєнні яким еритроцити більш проникні для калію [11].

Висока чутливість функції дихання до дії токсичних речовин зумовлена тим, що респіраторна поверхня зябер гідробіонтів безпосередньо контактує із забруднюючими агентами та першою піддається їхній негативній дії. При збільшенні вентиляції зябер у відповідь на механічний вплив зростає кількість зважених часток, що входять у контакт із зябрами. Усе це викликає ушкодження епітелію та всієї газообмінної поверхні [14; 17].

У процесі досліджень встановлено, що при інтоксикації багатьма хімічними речовинами у тварин порушується прямий зв'язок між активністю апарату вентиляції зябер і діяльністю серця (риби, дафнії, моллюски), а також – між інтенсивністю загального газообміну та активністю

цитохромоксидази в зябрах риб. Такі ж порушення спостерігаються у тварин, що піддаються дії температури, гіпоксії та гіперкапнії [18].

За результатами власних польових досліджень пост-мілітарних водних об'єктів у селі Мошун Бучанського району Київської області у водному середовищі рибогосподарської та рекреаційної водойм були виявлені есенціальні важкі метали Fe²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, Al³⁺. За усіма позиціями є значні перевищення ГДК риб./госп. [9].

Мідь сама по собі не є вибуховою речовиною, але вона використовується в деяких типах військового обладнання або як компонент у виробництві вибухових речовин:

1. ЕФР (експансивно-формовані рідини). У деяких вибухових пристроях, таких як протитанкові міни, використовують експансивно-формовані рідини, які містять мідь. Під час детонації такого пристрою мідь «формується» у високошвидкісний струмінь, який може проникнути через важкі броньовані об'єкти.

2. Додавання міді до порохів і підричних речовин. Мідь може використовуватися як добавка до порохів для покращення їхніх властивостей або для збільшення температури горіння.

3. Мідні оболонки для куль. Хоча це не є безпосереднім використанням міді як підричного матеріалу, багато куль обгортаються міддю, щоб зменшити знос ствола та поліпшити аеродинамічні характеристики куль.

4. Ініціюючі сполуки. Деякі сполуки міді можуть використовуватися як ініціатори для інших підричних речовин.

Сполуки міді використовуються в ракетних двигунах і артилерійських снарядах головним чином як стабілізатори або добавки до порохів та пального. Ось декілька способів, якими сполуки міді можуть бути застосовані в цих контекстах:

1. Стабілізатори для пороху. Мідні сполуки можуть додаватися до порохів, як стабілізатори, які знижують швидкість розкладу пороху та подовжують його термін служби. Зокрема, центрально-броньовані дипікрінати міді є стабілізаторами, які зменшують чутливість пороху до удару та тертя.

2. Мідь у твердому ракетному пальному. Деяке тверде ракетне пальне містять металеві добавки для підвищення їхньої енергетичної

щільності й тягового споживання. Мідь може бути використана, як така добавка, хоча частіше використовуються інші метали, такі як алюміній.

3. Мідь у підричних сумішах. Хоча мідь не є основним компонентом у більшості підричних сумішей, її сполуки можуть бути використані, як каталізатори або добавки в певних типах вибухових речовин.

4. Оболонки для снарядів. Мідь часто використовується в якості оболонки для артилерійських снарядів, особливо в кумулятивних зарядах, де мідь може бути «вибита» високошвидкісним струменем при детонації.

У високих концентраціях солі міді мають в'язучу, подразнювальну дію, а в низьких – інактивують дихальні ферменти. Токсичність міді зростає при зниженні жорсткості води, температури та вмісту кисню. У присутності хелатів, гумінових кислот і при підвищенні жорсткості вона знижується на 1–1,5 порядку. Відзначено синергізм у комбінації міді з цинком і кадмієм. Для гідробіонтів більш токсичні добре розчинні у воді хлориди, нітрати та сульфати міді.

Отже, у результаті проведеного аналізу одним з основних хімічних стресорів війни, що порушує енантіостаз та гомеостаз гідроєкосистем є мідь та її сполуки.

Метою дослідження є встановлення фізіолого-біохімічних механізмів стійкості *Planorbarius corneus* L. до впливу хімічних стресорів війни (у нашому випадку сполук міді).

Матеріали та методика дослідження. Перед початком досліджень тварини протягом 14 діб проходили аклімацію до лабораторних умов за температури 18–20 °С, рН=7,2–7,4. У лабораторії молюсків поміщали у скляні 6-літрові ємності по 10 екземплярів. Щоб запобігти впливу власних екзаметаболітів на піддослідних молюсків, в акваріумах щодня змінювали воду на свіжу тієї ж якості. Для дослідження обрано лише неінвазованих особин, щоб уникнути впливу біотичного чинника на досліджувані показники. Тварин поміщали в розчини Cu^{2+} у концентраціях $1/2\text{CL}_{50}$, $1/4\text{CL}_{50}$, $1/8\text{CL}_{50}$. В якості контролю використовувалася відстояна (24 години) водопровідна вода. Токсикологічний експеримент складався з орієнтаційного (скерований на визначення величини CL_{50} для особин, підданих дії різних

концентрацій обраних пестицидів та важких металів) та основного дослідів (було обрано по 3 концентрації ($1/8\text{CL}_{50}$, $1/4\text{CL}_{50}$, $1/2\text{CL}_{50}$), які застосовувалися в основному досліді). Розчини готували на дехлорованій відстоюванням (1 доба) воді. Відпрацьовані розчини через 24 години заміняли свіжими. У токсикологічному експерименті експозиція становила 7 діб. Отримані експериментальні дані оброблені з використанням пакету програм "Excel".

Вміст сумарних каротиноїдів визначали за методикою В.М. Карнаухова (та сучасних модифікацій методики) [15].

Хроматографічний метод поділу каротиноїдів. Метод тонкошарової хроматографії (ТШХ) передбачає нанесення екстрактів тканин на пластину з силікагелем із подальшим поділом у тій чи іншій системі розчинників.

Спектри видимої області. Цей метод є одним із критеріїв у ідентифікації каротиноїдів і використовується також для кількісного визначення ідентифікованих каротиноїдів. У дослідженні для зняття спектрів видимої області використовувався спектрофотометр СФ-2000. Отримані спектри порівнювали з описаними в роботах інших авторів [4]. Після ідентифікації визначали вміст каротиноїдів у пробі. Для цього за даними спектрів поглинання відзначали оптичну щільність пігменту при 450 нм. Після визначення вмісту кожного каротиноїду розраховували їхнє процентне співвідношення. Вміст каротиноїдних пігментів визначали в гемолімфі, гепатопанкреалі, мантиї та нозі. Визначали вміст загального білка за методом Лоурі. Калібрувальний графік будували в межах концентрацій від 0,025 до 0,250 мг стандартного зразка білка, вимірюючи оптичну щільність розчинів при 750 нм.

Результати дослідження та їх обговорення. Було досліджено створення організмом молюска компенсаторної реакції на основі варіабельності кількості каротиноїдних пігментів та рівня білка в гемолімфі.

Вміст сумарних каротиноїдів при стандартних умовах ($t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 7,2\text{--}7,4$) у *Planorbarius corneus* становить $0,3202 \pm 0,0217$ мг/100 г тканини.

Вміст каротиноїдних пігментів (β -каротин, ксантофіли) визначали в гемолімфі, гепатопанкреасі, мантиї та нозі (рис. 1, 2).

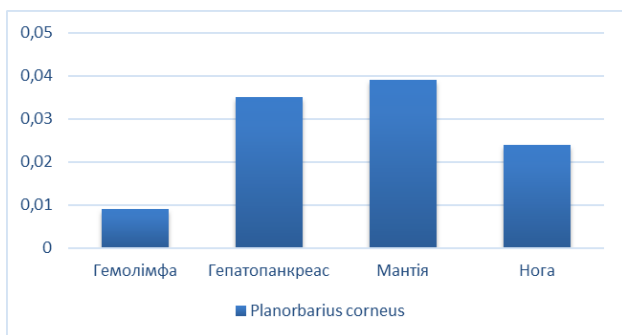


Рис. 1. Вміст β-каротину в організмах *Planorbarius corneus* за стандартних умов

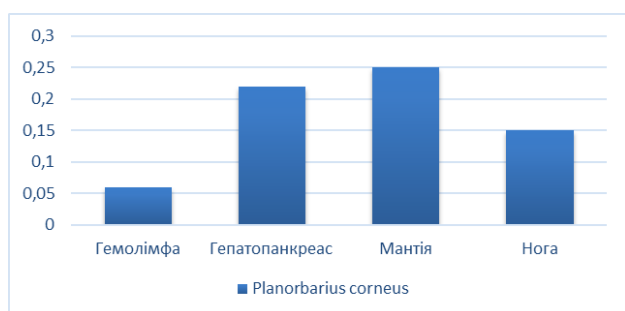


Рис. 2. Вміст ксантофілів в організмах *Planorbarius corneus* за стандартних умов

Вміст загального білка в гемолімфі молюсків представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Вміст загального білка (%) у гемолімфі *Planorbarius corneus* за стандартних умов

Вид молюска	Min-max	M±m
<i>Planorbarius corneus</i>	4,3–8,2	5,96±0,43

Напівлетальні концентрації міді становлять 0,04 мг/дм³.

При дослідженні впливу міді на вміст каротиноїдів у тканинах молюсків були отримані результати, які представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Вміст каротиноїдів у тканинах молюсків, які перебувають під впливом різних концентрацій розчину міді

Характеристика	Концентрація токсиканту			
	Контроль (чиста вода)	1/8 CL50	1/4 CL50	1/2 CL50
Вміст каротиноїдів, мг/100 г	0,3202±0,0217	0,7632±0,0612*	0,5361±0,0513	0,1316±0,0311*

* $p < 0,05$

Таблиця 3

Вміст загального білка в гемолімфі молюсків, які перебувають під впливом різних концентрацій розчину міді

Контрольна		1/8 CL50		1/4 CL50		1/2 CL50	
Min-max	M±m	Min-max	M±m	Min-max	M±m	Min-max	M±m
4,3–7,1	5,21±0,43	5,4–8,9	7,93±0,12	5,2–7,9	6,51±0,18	3,1–4,7	3,32±0,14

Результати впливу міді на вміст β-каротину та ксантофілів представлено на рисунках 3, 4.

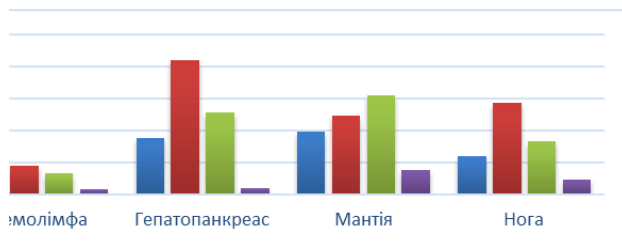


Рис. 3. Вміст β-каротину в організмах молюсків, які перебувають під впливом різних концентрацій розчину міді

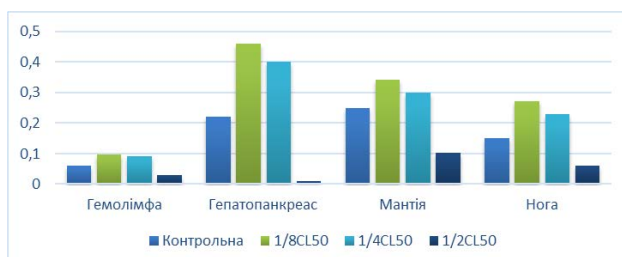


Рис. 4. Вміст ксантофілів у організмах молюсків, які перебувають під впливом різних концентрацій розчину міді

Наслідком перебування молюсків у середовищі за концентрацією міді 1/2CL₅₀ є різке падіння рівня β-каротину та ксантофілів у тканинах та органах (58%), оскільки спрацьовує фізіологічний механізм адаптації – перехід в анабіоз, що дозволяє різко знизити загальне енергоспоживання: знижується швидкість усіх метаболічних процесів у клітинах тварин, а отже, знижується швидкість споживання ними кисню з середовища.

При дослідженні впливу міді на вміст загального білка гемолімфи молюсків були отримані результати, представлені в таблиці 3.

Значне зниження вмісту загального білка з концентрацією міді $1/2 CL_{50}$ обумовлено, перш за все, руйнуванням гепатопанкреасу і внаслідок цього зменшенням його білковоутворювальної функції.

Висновки. У результаті проведеного аналізу одним з основних хімічних стресорів війни, що порушує енантіостаз та гомеостаз гідроекосистем, є мідь та її сполуки. Адже мідь сама по собі не є вибуховою речовиною, але вона використовується в деяких типах військового обладнання або як компонент у виробництві підривних речовин. Сполуки міді використовуються в ракетних двигунах і артилерійських снарядах головним чином як стабілізатори або добавки до порохів та пального.

Для визначення пристосувальних механізмів *Planorbarius corneus* L. до токсичного впливу хімічних стресорів війни було досліджено компенсаторну реакцію організму молюска на

основі варіабельності кількості каротиноїдних пігментів та рівня білка в гемолімфі.

При впливі міді, як одного з основних стресорів війни, виявлена тенденція до збільшення каротиноїдних пігментів (β -каротину та ксантофілів) і загального білка в гемолімфі при концентраціях $1/8CL_{50}$ та $1/4CL_{50}$. Ймовірно, що таке зростання показників сприяє розвитку неспецифічної компенсаторної реакції, спрямованої на пристосування організму до дії досліджуваної речовини.

Доведено, що вплив металів визначається ураженням основних систем і органів. Біохімічно найчастіше відбувається зв'язування сульфгідрильних груп ферментів, що призводить до порушення дихання, транспорту, синтезу білка. При концентрації міді $1/2CL_{50}$ виявлено зниження вмісту обговорюваних показників у молюсків. Це зумовлено отруєнням тварин та пригнобленням білковоутворювальної функції.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гарасим А., Кельм Н. Крадена вода. Як окупанти почали постачати воду з Дніпра в Крим, і чому її надходить мало [Електронний ресурс]. URL: <https://texty.org.ua/articles/107417/kradena-voda-yak-okupanty-pochaly-postachaty-vodu-z-dnipra-v-krym-i-chomu-yiyi-nadhodyt-malo/>
2. Громадський простір. КримSOS. Екологію Криму не впізнати [Електронний ресурс]. URL: <https://www.prostir.ua/?news=ekolohiyu-krymu-ne-vpiznaty-krymsos-prezentuvav-2-chastynu-doslidzhennya>
3. Дослідження ЕПЛ впливу військових дій на довкілля на сході України. *Екологія. Право. Людина*. 2019. № 23–24(63–64).
4. Yorkina N.V. On the issue of integrated environmental monitoring of the Melitopol urban system / N.V. Yorkina : materials of the VIII International Scientific Conference "The Formation of Modern Science". Czech Republic, 2012. V. 15. P. 57–59.
5. Kirichuk G. Y., & Stadnichenko A. P. Effect of trematoda infestation and zinc ions of the aquatic medium on hemocytes and some hematological characteristics of *Planorbarius purpura* (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Bulinidae). *Hydrobiological Journal*. 2011. V. 47(1).
6. Романенко В.Д. Основи гідроекології. Київ : Обереги, 2001.
7. Stadnichenko A.P., Kirichuk G.E. The effect of ammonium nitrate on the residual nitrogen content in the hemolymph of the pulmonate snail *Planorbarius purpura* (Mollusca: Pulmonata: Bulinidae) normally and in trematode invasion. *Parazitologiya*. 2000. V. 34(5). P. 402–407.
8. Ukrainska Pravda. The Parliament adopted a law on the creation of a national register of harmful emissions. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2022/09/20/691679/> (electronic file).
9. Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. In 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers, 2022, November. № 1. P. 1–5.
10. Babych Yuliia et al. Effect of zinc ions on the lung and cutaneous diffusive respiration of the great ramshorn *Planorbarius corneus* allospecies (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Planorbidae) of the Ukrainian river network. *Folia Malacologica*. 2022. V. 30. № 3. P. 135–142.
11. Dudnik I.V., Evtushenko M.Yu. Hydrobiotoxicology: principal theoretical theses and their application. Kyiv : Ukrphytosociological centre, 2018. 297 p.
12. Brecher B. The new order of war. *Rodopi*, 2010. 258 p.
13. Falfushynska H.I., Gnatyshyna L.L., Stoliar O.B. Effect of in situ exposure history on the molecular responses of freshwater bivalve *Anodonta anatina* (Unionidae) to trace metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2013. V. 89. P. 73–83.

14. Ion Arch Malacea. Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol.* 2003. № 1(65). P. 79–92.
15. Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C. Data for the identification of 47 key phytoplankton pigments. *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods.* Paris., 2007.
16. Khylyk M.I. *Ekolohizatsiia polityky.* Kyiv : VADEKS, 2014. 344 p.
17. Matsui S. Movement of toxic substances through bioaccumulation. *Guidelines of lake management.* 2005. № 4. P. 27–41.
18. Oros A., Gomoiu M.-T. Comparative data on the accumulation of five heavy metals (cadmium, chromium, copper, nickel, lead) in some marine species (mollusks, fish) from the Romanian sector of the Black Sea. *Cercetari Marine.* 2010. Vol. 39. P. 89–108.
19. Rostern N.T. The effects of some metals in acidified waters on aquatic organisms. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal.* V. 20174. P. 555645.
20. Subbaiah M., Balaven Kata, Naidu K. Akhilender, Purushotham K.R., Ramamurthi R. Heavy metal toxicity to some freshwater organisms. *Geobios.* 2015. № 3(10). P. 130–132.

REFERENCES:

1. Garasym, A., Kelm, N. Stolen water. How the occupiers began to supply water from the Dnipro to Crimea, and why it is not enough. URL: <https://texty.org.ua/articles/107417/kradena-voda-yak-okupanty-pochaly-postachaty-vodu-z-dnipra-v-krym-i-chomu-yiyi-nadhodyt-malo/> (electronic file) [in Ukrainian].
2. Public space. CrimeaSOS. The ecology of Crimea is unrecognisable. Electronic resource. URL: <https://www.prostir.ua/?news=ekolohiyu-krymu-ne-vpiznaty-krymsos-prezentuvav-2-chastynu-doslidzhennya> (electronic file) [in Ukrainian].
3. EPL studium impulsu operationum militarium in ambitu in Ucraina orientali (2019). *Ecology. Right. Man,* 23–24(63–64), 22–24 [in Ukrainian].
4. Yorkina, N.V. (2012). On the issue of integrated environmental monitoring of the Melitopol urban system / N.V. Yorkina: materials of the VIII International Scientific Conference "The Formation of Modern Science". Czech Republic, 15, 57–59.
5. Kirichuk, G.Y., & Stadnichenko, A.P. (2011). Effect of trematode infestation and zinc ions of the aquatic medium on hemocytes and some hematological characteristics of *Planorbium purpurum* (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Bulinidae). *Hydrobiological Journal,* 47(1).
6. Romanenko, V.D. (2001). Fundamentals of hydroecology [Osnovy hidroekolohii] Kyiv: Oberegi [in Ukrainian].
7. Stadnichenko, A.P., & Kirichuk, G.E. (2000). The effect of ammonium nitrate on the residual nitrogen content in the hemolymph of the pulmonate snail *Planorbium purpurum* (Mollusca: Pulmonata: Bulinidae) normally and in trematode invasion. *Parazitologiya,* 34(5), 402–407.
8. Ukrainska Pravda. The Parliament adopted a law on the creation of a national register of harmful emissions. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2022/09/20/691679/> (electronic file) [in Ukrainian].
9. Alpatova, O., Maksymenko, I., Patseva, I., Khomiak, I., & Gandziura, V. (2022, November). Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. In 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers, 1, 1–5.
10. Babych, Yuliia, et al. (2022). Effect of zinc ions on the lung and cutaneous diffusive respiration of the great ramshorn *Planorbium corneum* allospecies (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Planorbidae) of the Ukrainian river network. *Folia Malacologica,* 30(3), 135–142.
11. Dudnik, I.V., Evtushenko, M.Yu. (2018). *Hydrobiotoxicology: principal theoretical theses and their application.* Kyiv: Ukrphytosociological centre, 297 p.
12. Brecher, B. The new order of war. *Rodopi,* 2010. 258 p.
13. Falfushynska, H.I., Gnatyshyna, L.L., Stoliar, O.B. (2013). Effect of in situ exposure history on the molecular responses of freshwater bivalve *Anodonta anatina* (Unionidae) to trace metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety,* 89, 73–83.
14. Ion Arch Malacea (2003). Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol,* 1(65), 79–92.
15. Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C. (2007). Data for the identification of 47 key phytoplankton pigments. *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods.* Paris.
16. Khylyk, M.I. (2014). *Ekolohizatsiia polityky.* Kyiv: VADEKS, 344 p.
17. Matsui, S. (2005). Movement of toxic substances through bioaccumulation. *Guidelines of lake management,* 4, 27–41.
18. Oros, A., Gomoiu, M.-T. (2010). Comparative data on the accumulation of five heavy metals (cadmium, chromium, copper, nickel, lead) in some marine species (mollusks, fish) from the Romanian sector of the Black Sea. *Cercetari Marine,* 39, 89–108.
19. Rostern, N.T. The effects of some metals in acidified waters on aquatic organisms. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal,* 20174, 555645.
20. Subbaiah, M., Balaven Kata, Naidu, K. Akhilender, Purushotham, K.R., Ramamurthi, R. (2015). Heavy metal toxicity to some freshwater organisms. *Geobios,* 3(10), 130–132.